

REPUBLIQUE DU BENIN

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

**INSTITUT DE FORMATION ET DE RECHERCHE
EN INFORMATIQUE**

Tel : +229 01 21 14 19 88 Site : <http://www.ifri-uac.net>

Email : contact@ifri.uac.bj

**Cahier des charges du projet de Mémoire pour l'obtention du
Diplôme de Licence en informatique**

Conception d'un Système de Toilettes Intelligentes.

Option : Système Embarqué et Internet des Objets.

Présenté par : Chesltine Gracia Mahugnon OGOUBIYI

Sous la supervision de :

Mr Johannès HOUNSINOUE , Père Eugène DIDIER et

Père Maurice Adebayo

Année Académique : 2024-2025

Sommaire

1. Introduction
2. Partie 1 : Analyse des besoins
 - 2.1. Contexte
 - 2.2. Objectifs et enjeux
 - 2.3. Analyse des besoins et contraintes
 - 2.4. Diagrammes
 - 2.5. Hiérarchisation des fonctions
3. Partie 2 : État de l'art
 - 3.1. État des lieux
 - 3.2. Solutions existantes
 - 3.3. Analyse critique et hypothèses pour le prototype STIA
 - 3.4. Description fonctionnelle de la solution retenue
 - 3.5. Critères de choix des composants et liste du matériel
 - 3.6. Matrice de décision et conclusion du choix de la solution
4. Partie 3 : Jalons des phases du projet
 - 4.1. Planning des phases
5. Conclusion générale
6. Bibliographie

1. Introduction

L'hygiène publique est un enjeu fondamental pour la santé des populations et la dignité humaine. Dans les espaces à forte fréquentation comme les marchés, les établissements scolaires, les centres de santé ou les gares, les infrastructures sanitaires jouent un rôle crucial dans la prévention des maladies hydriques et infectieuses. Pourtant, dans de nombreuses régions d'Afrique subsaharienne, et notamment au Bénin, les toilettes publiques sont souvent mal entretenues, peu fonctionnelles, et sources de désagréments pour les usagers.

Ce constat met en évidence la nécessité de concevoir des systèmes sanitaires innovants, accessibles et adaptés aux réalités locales. Le projet STIA (Système de Toilettes Intelligentes Automatisées) s'inscrit dans cette dynamique. Il a pour objectif de proposer une solution technologique simple, automatisée et peu coûteuse, visant à améliorer l'hygiène, optimiser l'usage de l'eau, et faciliter la maintenance des toilettes publiques à travers l'usage de capteurs, d'automatisation et d'une supervision à distance.

Ce cahier des charges (CDC) détaille l'analyse des besoins, l'état de l'art, et les jalons du projet pour garantir une solution eff

2. Partie 1 : Analyse des besoins

2.1. Contexte

Au Bénin, comme dans plusieurs pays en développement, de nombreux établissements publics disposent de toilettes rudimentaires, souvent en mauvais état, mal entretenues et inadaptées à une utilisation intensive. Le manque de chasse d'eau fonctionnelle, la détérioration rapide des équipements, les odeurs persistantes, l'absence de signalisation et de désinfection automatique constituent autant de freins à l'utilisation correcte des sanitaires.

Dans son **rapport 2024 sur le développement durable**, le gouvernement béninois souligne l'importance d'intégrer des approches technologiques adaptées pour moderniser les infrastructures de base tout en respectant les contraintes budgétaires. Il y est question notamment de solutions sobres, modulaires, et peu énergivores, pouvant être mises en œuvre sans transformation majeure des infrastructures existantes.

C'est précisément ce que vise le projet STIA : fournir un système automatisé de gestion des toilettes qui **réponde aux besoins essentiels d'hygiène et d'économie d'eau**, tout en s'intégrant facilement aux installations existantes. Le système est conçu pour être **simple, évolutif et autonome**, basé sur des composants électroniques abordables et faciles à maintenir, tout en apportant une valeur ajoutée significative en termes de propreté, de confort d'usage, et de durabilité.

2.2. Objectifs et enjeux

Objectifs principaux :

1. Réduire les risques sanitaires par une automatisation sans contact.
2. Optimiser la consommation d'eau pour une gestion durable des ressources.
3. Minimiser les pannes grâce à des capteurs et une supervision à distance.

4. Proposer une solution à faible coût, accessible aux établissements publics béninois.

Objectifs secondaires :

1. Collecter des données d'utilisation pour améliorer la gestion des infrastructures.
2. Développer une interface web simple pour la surveillance à distance.

Enjeux :

- Contribuer à l'ODD 6 en améliorant l'accès à l'assainissement.
- Répondre aux contraintes budgétaires des institutions publiques béninoises.
- Assurer la robustesse et l'adaptabilité dans un environnement sujet à l'humidité, aux coupures de courant et au vandalisme.

2.3. Analyse des besoins et contraintes

Besoin fondamental :

Permettre à tout utilisateur d'utiliser des toilettes publiques de manière hygiénique, confortable et sécurisée, tout en garantissant une gestion efficace de l'eau et une maintenance proactive.

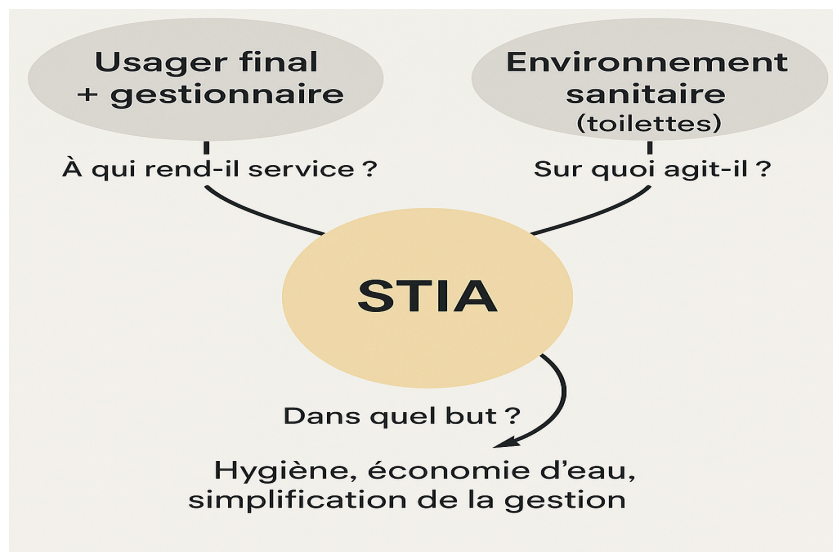
Contraintes :

1. Technique : Réponse en moins de 5 secondes, autonomie énergétique (batterie + solaire), utilisation de composants open-source.
2. Financière : Budget total < 100 € pour garantir l'accessibilité.
3. Environnementale : Résistance à l'humidité, aux variations de température et au vandalisme.
4. Légale : Conformité aux normes d'hygiène (désinfection non nocive, sans contact).
5. Sociale : Simplicité d'utilisation et accessibilité pour tous, y compris les personnes handicapées.

2.4. Diagrammes

Diagramme Bête à cornes

- Qui : Utilisateurs des toilettes publiques (écoles, hôpitaux, marchés, gares).
- Quoi : Système de toilettes intelligentes automatisées.
- Sur quoi : Toilettes existantes dans les infrastructures publiques.
- Pour quoi : Assurer hygiène, confort, économie d'eau et maintenance proactive.
- Comment : Automatisation via capteurs, servomoteurs, et interface de supervision.



2.5. Hiérarchisation des fonctions

Fonction principale (FP) :

- FP1 : Assurer une gestion automatisée, hygiénique et intelligente de l'usage des toilettes.

Fonctions contraintes (FC) :

- FC1 : Budget < 100 €.
- FC2 : Résistance à l'humidité, températures élevées et vandalisme.
- FC3 : Simplicité et accessibilité pour tous, y compris personnes handicapées.
- FC4 : Conformité aux normes d'hygiène.
- FC5 : Alimentation autonome (batterie + panneau solaire).

Fonctions techniques (FT) :

- FT1 : Détecter l'approche d'un utilisateur (capteur PIR).
- FT2 : Vérifier le niveau d'eau dans le réservoir (capteur ultrason).
- FT3 : Ouvrir/fermer automatiquement la lunette (servomoteur).
- FT4 : Détecter l'assise et le départ de l'utilisateur (capteurs de poids).
- FT5 : Déclencher une chasse d'eau (servomoteur).
- FT6 : Mesurer l'eau écoulée et limiter à 4,5 L (capteur de débit + électrovanne).
- FT7 : Désinfecter automatiquement la cuvette (UV-C).
- FT8 : Indiquer l'état du système (LED, buzzer).
- FT9 : Transmettre données et alertes à distance (Wi-Fi/MQTT).
- FT10 : Fonctionner en autonomie (batterie + panneau solaire).

3. Partie 2 : État de l'art

3.1. État des lieux

Une observation de terrain dans plusieurs établissements publics béninois (écoles, hôpitaux, gares, marchés) révèle des **carences fonctionnelles importantes** dans les toilettes installées. Il s'agit bien souvent de latrines ou de sanitaires classiques non automatisés, mal entretenus, et dépourvus de dispositifs de gestion efficace de l'eau ou de désinfection.

Les principales défaillances constatées sont les suivantes :

- **Absence de chasse d'eau fonctionnelle** : Dans de nombreux cas, les cuvettes sont remplies manuellement avec des seaux, ou alors les réservoirs sont inutilisables (détérioration, absence d'eau, fuite).
- **Présence de mauvaises odeurs et absence d'entretien** : L'accumulation de matières non évacuées, l'absence de désinfection et la mauvaise ventilation rendent l'environnement insalubre.
- **Défaut d'information ou de signalisation** : Aucune indication sur l'état de fonctionnement des toilettes, ce qui engendre des utilisations inappropriées ou un rejet complet de l'usage par les usagers.
- **Fuites fréquentes** : Des raccords défectueux ou cassés laissent l'eau s'écouler en continu, aggravant le gaspillage.
- **Aucune supervision technique** : Les anomalies ne sont détectées que tardivement, faute de système d'alerte ou de diagnostic à distance.
- **Vandalisme ou détournement d'usage** : Certains usagers montent sur les cuvettes, bouchent volontairement les installations ou dégradent les équipements.

D'après le **rapport sur le développement durable au Bénin (2024)**, seulement **45,9 %** de la population a accès à des installations sanitaires améliorées, et l'accès aux services d'assainissement sécurisés demeure une priorité nationale. Ces constats confirment la **nécessité d'une solution technique** simple, automatisée, à faible coût, pouvant être **intégrée aux installations existantes** sans transformations lourdes, pour améliorer durablement l'état des toilettes publiques.

Le marché international propose plusieurs modèles de toilettes intelligentes haut de gamme, notamment développés par des marques comme **TOTO** et **KOHLER**. Ces dispositifs, principalement conçus pour des environnements résidentiels ou hôteliers de pays développés, intègrent des technologies avancées visant à améliorer le confort et l'hygiène de l'utilisateur.

Parmi les références notables, le **TOTO Neorest NX2** (environ 6 800 €) propose des fonctions telles que :

- une pulvérisation automatique de la cuvette avant utilisation (technologie PREMIST),
- une chasse d'eau à haute performance TORNADO FLUSH,
- une désinfection par lumière UV (ACTILIGHT),
- un siège chauffant avec ouverture/fermeture automatique,
- une télécommande multifonction et la mémorisation de profils d'utilisateurs,
- une double chasse économique (3,8 L / 3,0 L).

Le **KOHLER Veil** (environ 5 300 €), quant à lui, se distingue par :

- un bidet intégré avec réglage du jet, de la température et de la position,
- un système de double chasse (0,8 ou 1,28 gallons soit environ 3 L / 4,8 L),
- une désodorisation automatique,
- un éclairage LED servant de veilleuse,
- une fonction de chasse d'eau d'urgence en cas de panne de courant.

3.3. Analyse critique et hypothèses pour le prototype STIA

Malgré leurs performances avancées, les toilettes intelligentes proposées par les grandes marques internationales présentent un certain nombre de limitations structurelles lorsqu'on les confronte aux réalités du terrain au Bénin. Ces limites, à la fois techniques, économiques et contextuelles, rendent leur déploiement difficile, voire irréaliste, dans les infrastructures publiques locales.

Principales limites identifiées :

- **Coût prohibitif**
Les modèles commercialisés se situent dans une fourchette de 5 000 à 7 000 euros, un investissement hors de portée pour la majorité des établissements publics, notamment les écoles, les centres de santé ou les gares.
- **Complexité d'installation**
Ces équipements nécessitent des raccordements électriques, hydrauliques et de communication avancés, incompatibles avec les installations sanitaires standard présentes sur le territoire.
- **Consommation énergétique élevée**
Les fonctions telles que le chauffage de siège, le séchage à air chaud

ou la désinfection par UV exigent une puissance électrique supérieure à 50 W, difficilement soutenable dans un contexte de réseau instable ou absent.

- **Maintenance spécialisée**

La plupart des systèmes utilisent des composants propriétaires, ce qui rend leur entretien coûteux, long et dépendant du fabricant. L'absence de pièces détachées sur le marché local aggrave cette dépendance.

- **Manque d'adaptabilité au contexte local**

Ces systèmes sont conçus pour des environnements contrôlés. Ils ne tiennent pas compte des risques fréquents de coupures de courant, d'humidité excessive, de vandalisme, ou du niveau de sensibilisation technologique des utilisateurs.

- **Verrouillage technologique**

Les modèles commerciaux sont en général peu évolutifs : leur architecture fermée ne permet pas l'ajout ou la modification de modules (absence d'API ouverte, impossibilité de mise à jour locale, etc.).

Hypothèses pour le STIA :

Face aux limitations techniques, économiques et contextuelles des solutions commerciales analysées, le projet STIA (Système de Toilettes Intelligentes Automatisées) propose une approche alternative pensée pour s'adapter aux réalités des infrastructures sanitaires publiques au Bénin.

Le développement du prototype repose sur les hypothèses suivantes :

- **Coût maîtrisé**

Le système doit rester low-cost, avec un budget cible inférieur à 100 €, afin d'être accessible aux établissements publics et aux collectivités locales.

- Compatibilité avec les installations existantes

Le dispositif doit pouvoir s'adapter sans modification lourde aux toilettes déjà en place (pas de transformation de plomberie ni d'infrastructure électrique complexe).
- Utilisation de composants open-source

Les éléments électroniques (microcontrôleur, capteurs, modules d'actionnement) doivent être open-source, standards et remplaçables localement, facilitant la maintenance et les réparations.
- Robustesse et modularité



Le système doit être résistant à l'humidité, à la chaleur et au vandalisme, et sa conception doit permettre l'ajout ou le retrait de modules (ex. désinfection, mesure d'usage, alerte) selon les besoins.
- Autonomie énergétique

L'ensemble doit pouvoir fonctionner hors réseau, grâce à une alimentation hybride combinant batterie rechargeable et éventuellement panneau solaire.
- Évolutivité et supervision

Le système devra permettre la collecte de données (usage, anomalies), et leur transmission via Wi-Fi/MQTT à une interface d'administration pour assurer un suivi à distance.

3.4. Description fonctionnelle de la solution retenue

Lorsqu'un utilisateur entre dans la cabine, sa présence est détectée par un capteur PIR. Cette détection déclenche immédiatement un contrôle du niveau d'eau dans le réservoir.

-  Si le niveau d'eau est suffisant (≥ 4 L) :
 - La LED verte s'allume pour signaler que le système est prêt.
 - La lunette s'ouvre automatiquement grâce à un servomoteur.
 - Lorsque l'utilisateur s'assoit, les capteurs de poids activent le calcul d'usage.
 - À la fin de l'utilisation (l'utilisateur se lève), la baisse de poids est interprétée comme un signal de fin de session.
 - Le système :
 - Active une chasse d'eau de 4,5L au lieu de déverser tous les 6L ou 9L contenus dans les réservoirs classiques .
 - Referme automatiquement la lunette
 - Lance un cycle de désinfection UV
 - Déclenche le remplissage du réservoir pour la prochaine utilisation
-  Si le niveau d'eau est insuffisant (< 4 L) :
 - La LED rouge s'allume
 - Le buzzer émet un signal sonore strident pendant 15 secondes afin d'avertir l'utilisateur .

- Le système refuse l'ouverture de la lunette
- Une alerte est envoyée automatiquement via l'interface de supervision (dashboard MQTT)

De plus, le système est capable de détecter une fuite d'eau via capteurs ou mesure anormale de consommation, et envoie alors une alerte instantanée à distance à l'administrateur.(perspective)

3.5. Critères de choix des composants et liste du matériel

Critères de sélection :

- Fiabilité (pondération x4) : Durabilité dans le temps.
- Consommation énergétique (x3) : Faible consommation pour l'autonomie.
- Facilité d'intégration (x2) : Compatibilité avec les infrastructures existantes.
- Prix (x5) : Budget < 100 €.

3.6. Matrice de décision et conclusion du choix de la solution

Matrice de décision :

Composant	Option	Fiabilité	Conso	Intégration	Prix	Score totale	Choix retenu
Capteur de présence	PIR HC-SR501	20	15	10	25	70	✓
	Ultrason SR04	12	9	6	15	42	
	IR Sharp	16	12	6	10	44	
Servomoteur lunette	SG90	8	15	10	25	58	✓
	MG996R	16	9	8	20	53	
	JX PDI	20	9	8	15	52	
Capteur de niveau	HC-SR04	16	12	8	25	61	✓
	Flotteur mécanique	12	15	10	20	57	
	Capteur pression	20	9	6	10	45	
Désinfection UV	LED UV 275nm	16	15	10	25	66	✓
	Lampe tube UV	20	6	4	15	45	
Déclenchement chasse	Servomoteur bouton	16	12	8	20	56	✓
	Solénoïde poussoir	12	9	6	15	42	
	Bouton manuel	4	15	10	25	54	
Capteur de débit	YF-S201	20	12	8	25	65	✓
	FS300A	16	12	6	20	54	

Conclusion de la matrice de décision :

Liste du matériel :

- ESP32-WROOM : utilisé comme contrôleur principal du système.
- Capteur PIR HC-SR501 : permet de détecter la présence de l'utilisateur.
- 4 cellules de charge + module HX711 : servent à détecter l'assise et mesurer le poids approximatif.
- Servomoteur MG996R : commande l'ouverture et la fermeture automatique de la lunette.
- Électrovanne proportionnelle : gère intelligemment l'écoulement de l'eau pour la chasse.
- Capteur ultrason HC-SR04 : mesure le niveau d'eau disponible dans le réservoir.
- Module UV-C 275nm : assure la désinfection de la cuvette après chaque usage.
- LED RGB WS2812 + buzzer : fournissent une signalisation visuelle (état du système) et sonore (alerte, erreur).
- Batterie 12V Li-ion : permet d'alimenter le système en cas de coupure électrique.
- Capteur de débit (type YF-S201) : mesure la quantité d'eau écoulee dans la cuvette pour garantir un dosage fixe (ex. 4,5 L).

La solution STIA, basée sur des composants open-source à faible coût (total 77 €), répond aux besoins d'hygiène, d'économie d'eau et de maintenance proactive tout en respectant les contraintes du contexte béninois. Elle est robuste, modulaire, et adaptable aux infrastructures existantes.

4.Partie 3 : Jalons des phases du projet

4.1 Planning des phases

Plusieurs phases sont à suivre pour arriver à bout de ce projet .

Phase	Durée	Description
Rédaction du cahier de charge	5 jours	-Analyse des besoins, - état de l'art, -choix des composants, - rédaction finale.
Conception	1,5 semaines	-Schéma électronique, -programmation, -intégration des composants
Prototypage et test	2 semaines	-Fabrication du prototype, -tests accélérés sur un site choisi (à la maison), - ajustements.
Validation et déploiement	1 semaine	-Installation dans un site pilote (ex. : école locale du crec), -validation des performances.
Finalisation du rapport final	3 jours	-Analyse des résultats, - rédaction du rapport final du projet(mémoire) et rapport de stage , recommandations.

5. Conclusion générale

Le projet **STIA** répond aux défis d'hygiène et de gestion de l'eau dans les toilettes publiques au Bénin, en s'appuyant sur une solution automatisée à faible coût . Aligné sur l'**ODD 6** et le *Rapport sur le Développement Durable pour le Bénin 2024*, il utilise des composants open-source (ESP32, capteurs PIR, électrovannes) pour assurer une chasse d'eau optimisée (4,5 L), une désinfection UV-C et une supervision à distance des fuites . Réalisable en 6 semaines, de la conception au déploiement pilote, le STIA est robuste, adaptable et facile à maintenir, offrant une solution concrète pour moderniser les infrastructures sanitaires publiques.

6. Bibliographie