



UNIVERSITÉ
LAVAL

Pluvi-Tech : Système automatisé de récupération d'eau de pluie pour utilisation domestique extérieure

Rapport de projet – version finale

présenté à

Robert Bergevin et Éric Poulin

par

Équipe 20 — Futur TECH

<i>matricule</i>	<i>nom</i>	<i>signature</i>
111 048 858	Bournival, Jean-Simon	
910 204 931	Coulombe, Maxime	
111 001 282	Drolet, Raphaël	
111 050 646	Marek, Yannik	
111 026 483	Marmen Harvey, Katrine-Ann	
111 015 144	Ngandjui Sindjui, Hermann A.	
111 021 532	Provencher, Isaac	

Université Laval

26 avril 2013

Historique des versions

<i>version</i>	<i>date</i>	<i>description</i>
	7 février 2013	Création du document
0	15 février 2013	Description du projet : Chapitres 1 et 2
1	1 mars 2013	Besoins, objectifs et cahier des charges : Chapitres 3 et 4
2	29 mars 2013	Conceptualisation et analyse de faisabilité : Chapitre 5
Finale	26 avril 2013	Étude préliminaire, concept retenu et conclusion : Chapitres 6, 7 et 8

Table des matières

Table des figures	v
Liste des tableaux	vi
1 Introduction	1
2 Description	2
3 Besoins et objectifs	3
3.1 Analyse des besoins	3
3.2 Analyse des objectifs	4
3.2.1 Assurer la gestion adéquate de l'eau de pluie	4
3.2.2 Faciliter l'automatisation des opérations	4
3.2.3 Optimiser l'entretien du système	5
3.2.4 Hiérarchisation des objectifs	6
4 Cahier des charges	7
4.1 Gestion de l'eau de pluie	9
4.1.1 Adapter la capacité de stockage	9
4.1.2 Limiter l'espace occupé par les installations	10
4.1.3 Contrôler l'accès au réservoir	10
4.1.4 Prévenir les débordements non contrôlés	10
4.1.5 Assurer une flexibilité d'utilisation	11
4.2 Automatisation	11
4.2.1 Faciliter l'utilisation de l'interface	11
4.2.2 Maximiser le temps d'autonomie du système	11
4.2.3 Faciliter la programmation logicielle	12
4.2.4 Maximiser la fiabilité du système	12
4.2.5 Conserver les données à long terme	12
4.2.6 Maximiser la sécurité du système	12
4.3 Entretien du système	13
4.3.1 Simplifier l'installation du système	13
4.3.2 Minimiser l'entretien	13

4.3.3	Privilégier les équipements discrets	13
4.3.4	Limiter le poids des pièces	13
4.3.5	Minimiser les coûts	14
4.3.6	Limiter les coûts de maintenance	14
4.3.7	Limiter le nombre de composants	14
4.3.8	Maison de la qualité	14
5	Conceptualisation et analyse de faisabilité	16
5.1	Diagramme fonctionnel	16
5.2	Élaboration des concepts de solution	17
5.2.1	Emmagasinage de l'eau	17
5.2.1.1	Citerne souple de 6 m ³	18
5.2.1.2	Entreposage aérien avec Murdeau et sondes de niveau LS2000	19
5.2.1.3	Citerne en polyéthylène Clean Flo et sondes de niveau LS2000	19
5.2.2	Pressurisation des sorties d'eau	20
5.2.2.1	Pompe immergée	21
5.2.2.2	Pompe de surface	21
5.2.2.3	Pompe avec surpresseur	21
5.2.3	Distribution de l'eau	22
5.2.3.1	Système d'arrosage automatique «Gardena» avec tuyau d'arrosage	23
5.2.3.2	Arrosoirs et tuyau d'arrosage	24
5.2.3.3	Tuyau percé avec système «Irrigatia» et tuyau d'arrosage	25
5.2.4	Traitement des commandes	25
5.2.4.1	PLC	26
5.2.4.2	Microcontrôleur	27
5.2.4.3	SoftPLC	28
5.2.5	Emmagasinage des données	28
5.2.5.1	Disque dur	29
5.2.5.2	Mémoire flash NAND	29
5.2.5.3	Le Nuage	30
5.2.6	Liaison à distance	30
5.2.6.1	Puce réseau type Leviton CTZUS-1US Z-Wave	31
5.2.6.2	Puce réseau type RN-42 Bluetooth	32
5.2.6.3	Puce réseau type Telegesis ZigBee	32
5.2.7	Interface	32
5.2.7.1	Interface en ligne de commande	33
5.2.7.2	Application graphique	33
5.2.7.3	Site Web avec PHP	34
5.2.8	Maintenance en cas de panne	34
5.2.8.1	Pile d'automobiles avec régulateur de tension et onduleur	35
5.2.8.2	Alimentation sans interruption avec régulateur de tension	35
5.2.8.3	Piles électriques rechargeables standards	36

5.2.9	Sécurisation d'accès informatique	37
5.2.9.1	Mot de passe	37
5.2.9.2	Mot de passe TLS	37
5.2.9.3	SSH	38
6	Étude préliminaire	39
6.1	Plan de développement	39
6.2	Élaboration et évaluation des concepts de solution	42
6.2.1	Concept 1 : Économique	42
6.2.1.1	Citerne souple	42
6.2.1.2	Pompe de surface	43
6.2.1.3	Arrosoirs et tuyau d'arrosage	43
6.2.1.4	Microcontrôleur	44
6.2.1.5	Mémoire flash NAND	45
6.2.1.6	Puce Z-Wave Leviton CTZUS-1US	46
6.2.1.7	Interface en ligne de commande	46
6.2.1.8	Piles électriques rechargeables standard	47
6.2.1.9	Mot de passe	47
6.2.2	Concept 2 : Performance	47
6.2.2.1	Citerne en polyéthylène	48
6.2.2.2	Pompe immergée	49
6.2.2.3	Gardena	49
6.2.2.4	PLC	50
6.2.2.5	Le nuage	50
6.2.2.6	Puce Bluetooth	51
6.2.2.7	Site Web avec PHP	51
6.2.2.8	Unité d'alimentation sans interruption	52
6.2.2.9	TLS	52
6.2.3	Concept 3 : Pratique	53
6.2.3.1	Murdeau et sonde	53
6.2.3.2	Pompe avec surpresseur	54
6.2.3.3	Tuyau perforé et Irrigatia	54
6.2.3.4	SoftPLC	55
6.2.3.5	Mémoire flash NAND	56
6.2.3.6	Puce ZigBee	56
6.2.3.7	Interface graphique	57
6.2.3.8	Unité d'alimentation sans interruption	57
6.2.3.9	SSH	57
6.3	Synthèse des résultats	57

7 Concept retenu	60
7.1 Matrice décisionnelle	60
7.2 Analyse de la matrice décisionnelle	61
7.3 Description du concept choisi	62
8 Conclusion	64
Annexe A	65
Annexe B	66
Annexe C	67
Bibliographie	69

Table des figures

3.1	Hiérarchisation des objectifs	6
4.1	Maison de la qualité	15
5.1	Diagramme fonctionnel	16
8.1	Diagramme physique	65

Liste des tableaux

4.1	Cahier des charges	8
5.1	Aspects à considérer pour l'emmagasinage de l'eau	18
5.2	Faisabilité des concepts d'emmagasinage de l'eau	20
5.3	Aspects à considérer pour la mise sous pression de l'eau	20
5.4	Faisabilité des concepts de la mise sous pression de l'eau	22
5.5	Aspects à considérer pour la distribution de l'eau	23
5.6	Faisabilité des concepts de distribution de l'eau	25
5.7	Aspects à considérer pour le traitement des commandes	26
5.8	Faisabilité des concepts de traitement des commandes	28
5.9	Aspects à considérer pour l'emmagasinage de données	29
5.10	Faisabilité des concepts d'emmagasinage des données	30
5.11	Aspects à considérer pour la liaison à distance	31
5.12	Faisabilité des concepts de la liaison à distance	32
5.13	Aspects à considérer pour l'interface	33
5.14	Faisabilité des concepts de l'interface	34
5.15	Aspects à considérer pour la maintenance en cas de panne	35
5.16	Faisabilité des concepts de la maintenance en cas de panne	36
5.17	Aspects à considérer pour la sécurité informatique	37
5.18	Faisabilité des concepts de sécurité informatique	38
6.1	Plan de développement concernant la gestion de l'eau de pluie	39
6.2	Plan de développement concernant l'automatisation des installations	40
6.3	Plan de développement concernant l'entretien du système	41
6.4	Résumé des concepts choisis pour le concept 1 : Économique	42
6.5	Résumé des concepts choisis pour le concept 2 : Performance	48
6.6	Résumé des concepts choisis pour le concept 3 : Pratique	53
6.7	Tableau synthèse des résultats	57
7.1	Matrice décisionnelle	60

Chapitre 1

Introduction

Parmi tous les secteurs reliés à nos vies qui font usage de l'eau potable, le secteur résidentiel est celui où l'utilisation de la ressource est la plus importante et, ironiquement, la moins optimisée. Actuellement, la quasi-totalité de l'eau résidentielle provient du réseau d'aqueducs ainsi que des rares systèmes de récupération d'eau de pluie qui répondent mal aux besoins spécifiques des usagers.

C'est dans l'intention d'améliorer cette situation que le groupe de génie-conseil Futur TECH a reçu le mandat d'effectuer la conception préliminaire d'un système domestique entièrement automatisé de récupération d'eau de pluie. Ce système, baptisé Pluvi-Tech, permettra d'améliorer grandement l'impact écologique des ménages québécois.

Le présent rapport présente les besoins et objectifs, le cahier des charges, la conceptualisation en lien avec l'analyse de faisabilité, l'étude préliminaire et le concept retenu afin d'exposer en détail les intérêts écologiques et financier du système Pluvi-Tech.

Chapitre 2

Description

L'eau de consommation domestique ou eau douce est une ressource qui se raréfie et la surconsommation actuelle pose le problème de la disponibilité de cette ressource pour les générations futures. Pour pallier ce problème, il faut impérativement éduquer les consommateurs sur le caractère précieux de cette ressource et développer de nouvelles méthodes permettant sa préservation et une utilisation avisée.

C'est dans cette optique que Futur TECH conceptualise le système de récupération d'eau de pluie automatisé nommé Pluvi-Tech pour une utilisation sur la période de l'année allant de mai en septembre dans la région de Québec. L'eau ainsi captée sera destinée à un usage domestique dans le cadre des activités ne nécessitant pas impérativement l'eau douce telle que l'arrosage régulier et les besoins ponctuels.

Le système Pluvi-Tech est muni d'un réservoir respectant la capacité établie suivant les critères demandés et récupère l'eau provenant des gouttières de la propriété. L'accent est mis sur le fait que l'opération de récupération et de distribution est automatisée ou manuelle compte tenu du bon vouloir de l'utilisateur. Pour ainsi dire, le dispositif doit pouvoir fonctionner avec un minimum d'interventions humaines. De plus, un archivage des données et la prise en compte des conditions météorologique permettent d'avoir une utilisation contrôlée et adéquate de l'eau recueillie par le système. Finalement, le système dispose également d'un approvisionnement d'appoint sur l'aqueduc municipal.

Chapitre 3

Besoins et objectifs

3.1 Analyse des besoins

Afin de mieux répondre au mandat confié à l'entreprise Futur TECH, une liste exhaustive des besoins du client a été dressée et découpée en 3 sections. Une première traite de la gestion de l'eau de pluie de la récupération à son utilisation [3.2.1](#) ; une deuxième section aborde l'automatisation des opérations [3.2.2](#) ; et la dernière s'occupe de l'entretien du système [3.2.3](#). Cette liste servira à évaluer, une fois les besoins traduits en objectifs [3.2](#), la marge entre la solution proposée et les attentes du client. Certains de ces besoins, qui offrent une piste de solution au problème présenté, sont considérés comme des demandes spécifiques du client.

1. Gestion de l'eau de pluie [3.2.1](#) ;
 - (a) un captage de l'eau de pluie à hauteur d'au moins 25% des précipitations mensuelles ;
 - (b) une capacité permettant l'arrosage pendant un mois sans le système d'appoint ;
 - (c) une réserve d'eau sécuritaire ;
 - (d) la possibilité d'un fonctionnement manuel pour combler des besoins ponctuels.
2. Automatisation des opérations [3.2.2](#) ;
 - (a) un arrosage régulier du terrain ;
 - (b) une interface de contrôle personne-machine ;
 - (c) un accès à distance au système ;
 - (d) la possibilité d'un accès provisoire pouvant être remis à une tierce personne ;
 - (e) un archivage de données sur une période minimale de 5 ans ;
 - (f) la production de rapports de consommation d'eau ;
 - (g) le maintien du système électronique pour au moins 20 minutes lors de pertes de courant ;
 - (h) un arrêt sécuritaire lors de pannes prolongées.
3. Entretien du système [3.2.3](#).

- (a) un système permettant l'entretien et l'installation facile ;
- (b) une garantie de résistance aux conditions extérieures (humidité, gel, etc.) ;
- (c) la manipulation aisée des pièces non enfouies par deux personnes ;
- (d) un système abordable ;
- (e) des composantes robustes et fiables.

3.2 Analyse des objectifs

Les objectifs du projet sont brièvement présentés puis détaillés en listes en fonction des besoins présentés précédemment. Ces listes sont regroupées dans un diagramme 3.2.4 afin de bien présenter leur hiérarchie.

3.2.1 Assurer la gestion adéquate de l'eau de pluie

Il est impératif de fournir au client un dispositif de captage efficace et un moyen adéquat d'entreposage à la fois discret et sécuritaire. Ceci afin que ce dernier puisse disposer à sa guise de l'eau de pluie recueillie pour le nettoyage et l'arrosage extérieur. Ceci implique que le système doit :

1. Adapter la capacité de stockage selon les besoins de l'utilisateur
2. Limiter l'espace occupé par les installations
3. Contrôler l'accès au réservoir
4. Prévenir les débordements non contrôlés
5. Assurer une flexibilité d'utilisation

3.2.2 Faciliter l'automatisation des opérations

Le client a également besoin d'un système automatisé facile d'utilisation, performant, sécuritaire et autonome en cas de panne pour réduire au maximum la nécessité des interventions ponctuelles. Une liaison à distance fiable permet d'accéder aux commandes de n'importe où et d'ajuster efficacement la fréquence d'arrosage selon des données extérieures. Aussi, le contrôle manuel, l'état du système et la production des rapports sont des fonctionnalités qui doivent toutes être rendues accessibles par une interface simple d'utilisation programmés adéquatement. Finalement, la possibilité d'archiver les données le plus longtemps possible est souhaitable pour une plus grande précision des rapports de consommation.

1. Faciliter l'utilisation de l'interface
2. Maximiser le temps d'autonomie en cas de panne
3. Faciliter la programmation
4. Maximiser la fiabilité du système
5. Conserver les données à long terme
6. Maximiser la sécurité du système

3.2.3 Optimiser l'entretien du système

D'emblée, le système se doit d'être facile d'installation et d'entretien. Ceci implique qu'il soit composé du moins de composants physiques différents possible. De plus, elles doivent être robustes pour limiter les coûts de maintenance et réparations et pouvoir être transportées facilement par 2 personnes. Tous ces objectifs contribuent à ce que le tout soit disponible dans un éventail de coûts réalisable ; un des éléments les plus importants à évaluer. La discrétion des installations est également importante, car Pluvi-Tech est destiné à un usage résidentiel.

1. Simplifier l'installation du système
2. Minimiser l'entretien
3. Privilégier les équipements discrets
4. Limiter le poids des pièces
5. Minimiser les coûts
6. Limiter les coûts de maintenance
7. Limiter le nombre de composants

3.2.4 Hiérarchisation des objectifs

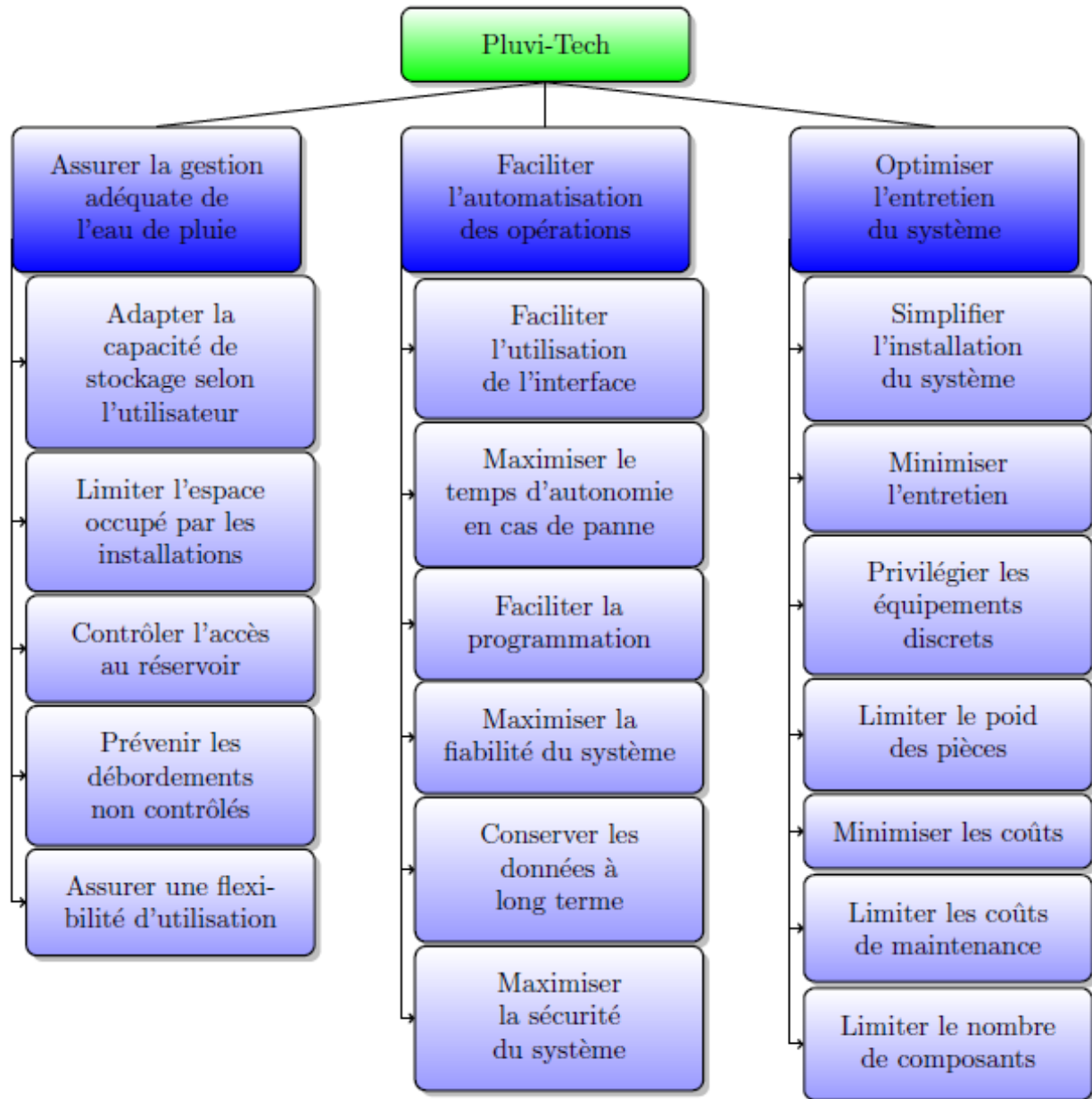


FIGURE 3.1 – Hiérarchisation des objectifs

Chapitre 4

Cahier des charges

Avant même d'envisager les solutions possibles, il est important d'établir une méthode rigoureuse selon différents critères afin d'évaluer chacun des concepts. La pondération suivante associée aux besoins facilitera la prise de décision :

- Gestion de l'eau de pluie (39%) ;
- Faciliter l'automatisation des installations (36%) ;
- Optimiser l'entretien du système (25%).

Le poids de ces critères a été établi selon leur contribution aux objectifs principaux du projet Pluvi-Tech. On liste donc les différents critères en leur attribuant un pourcentage relatif à l'importance qu'ils ont par rapport au système. La gestion de l'eau de pluie est à la base de tout le fonctionnement du système, ce qui justifie qu'elle reçoive la pondération la plus élevée, soit 39%. L'automatisation des installations n'arrive pas très loin. Malgré que le système puisse être utilisé en mode manuel, c'est la convivialité apportée par son automatisation qui différencie nettement Pluvi-Tech des autres produits disponibles. Pour cette raison, la pondération accordée à ce critère est de 36%. Finalement, l'entretien du système et de ses composantes reçoit quant à lui une pondération de 25%, puisque comme mentionné ci-haut, la convivialité est un aspect d'une grande importance et qu'un entretien facile y contribue assurément.

Le tableau 4.1 résume le tout et apporte davantage de précisions sur les barèmes établis dans les sections subséquentes. Une maison de la qualité est présentée en 4.3.8 pour expliciter la corrélation entre tous les éléments.

TABLE 4.1 – Cahier des charges

<i>Critères d'évaluation</i>	<i>Pond.</i>	<i>Barème</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Gestion de l'eau de pluie	39%			
4.1.1 Adapter la capacité de stockage	12%	$Y = \frac{(v-2276)}{5724}$	5724 L	
4.1.2 Limiter l'espace occupé par les installations	8%	$Y = \frac{25-s}{25}$		
4.1.3 Contrôler l'accès au réservoir	6%	Barème qualitatif 4.1.3		
4.1.4 Prévenir les débordements non contrôlés	3%	Barème qualitatif 4.1.4		
4.1.5 Assurer une flexibilité d'utilisation	10%	Barème qualitatif 4.1.5		
Automatisation des installations	36%			
4.2.1 Faciliter l'utilisation de l'interface	5%	Barème qualitatif 4.2.1		
4.2.2 Maximiser le temps d'autonomie du système	7%	$Y = 0.047 \times \sqrt[3]{t - 20}$	20 min	
4.2.3 Faciliter la programmation logicielle	8%	Barème qualitatif 4.2.3		
4.2.4 Maximiser la fiabilité du système	6%	Barème qualitatif 4.2.4		
4.2.5 Conserver les données à long terme	6%	$Y = \frac{t-3}{5}$	5 ans	
4.2.6 Maximiser la sécurité du système	4%	Barème qualitatif 4.2.6		

<i>Critères d'évaluation</i>	<i>Pond.</i>	<i>Barème</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Entretien du système	25%			
4.3.1 Simplifier l'installation du système	4%	$Y = \frac{(3-Tj)}{2}$		
4.3.2 Minimiser l'entretien	2%	$Y = \frac{(4-Th)}{3}$		
4.3.3 Privilégier les équipements discrets	2%	$Y = \frac{85-B}{65}$		
4.3.4 Limiter le poids des pièces	5%	$Y = \frac{90-Pd}{90}$		90 Kg
4.3.5 Minimiser les coûts de production	6%	$Y = \frac{12000-Pc}{7000}$		
4.3.6 Limiter les coûts de maintenance	3%	$Y = \frac{150-p}{150}$		
4.3.7 Limiter le nombre de composants	3%	$Y = \frac{8-Nc}{4}$		

4.1 Gestion de l'eau de pluie

4.1.1 Adapter la capacité de stockage

Un objectif primordial est l'adaptation du réservoir aux besoins de l'utilisateur ce qui justifie sa pondération élevée de 12%. Pour évaluer cet objectif, la compagnie considère le besoin en eau pour un terrain moyen composé de 100 m² de végétation et que celle-ci consomme 3 L/m² par jour pour un besoin total de 8 400 litres d'eau par mois. De plus, on doit retirer la quantité de précipitations mensuelles selon une moyenne venant de Météo Média pour ajuster plus précisément la capacité. En multipliant ce chiffre par la superficie du toit de la propriété moyenne en banlieue (108 m²), on obtient 2276 litres d'eau. La dernière étape consiste à soustraire la quantité de précipitations au besoin en eau du terrain pour un total de 5 724 litres d'eau, ce qui correspond à la quantité minimale pour assurer l'autonomie durant 1 mois entier. Cette quantité est supérieure à 25% des précipitations moyennes mensuelles (2273 litres) donc les 2 contraintes du client sont respectées en considérant seulement la plus grande de ces 2 valeurs. Ce critère s'évalue sous la forme d'une équation linéaire où la capacité du bassin (v) suit la courbe désignée ci-bas.

$$Y = \frac{v - 2276}{5724}, v \in [2276, 8400]$$

Sommairement, si la capacité du réservoir est de 8 400 litres d'eau, on atteint la note de 1 et si jamais la capacité du bassin est de 5724 litres d'eau, le système obtiendra la note de 0. La note suit une droite quant à la distribution des notes entre 0 et 1.

4.1.2 Limiter l'espace occupé par les installations

L'espace est un élément qui est tout de même important, car les particuliers désirant un système comme Pluvi-Tech ne souhaitent pas réduire la superficie utilisable de leur terrain. Le pourcentage d'importance attribué à cet élément est donc de 8%. Évidemment, moins l'équipement occupe de l'espace visible sur la propriété du client, plus il obtiendra une note se rapprochant de 1. La formule suivante, où s est la superficie occupée par les équipements non enfouis, explique donc le raisonnement précédent avec un maximum acceptable de $25m^2$.

$$Y = \frac{25 - s}{25}, s \in [0, 25]$$

Cette formule illustre une droite de pente négative allant de 0 à 1 sur l'axe des ordonnées qui représente la cote obtenue par le système et de 0 à 25 sur l'axe des abscisses qui représente la superficie occupée par les équipements non enfouis.

4.1.3 Contrôler l'accès au réservoir

La sécurité du système est un aspect à ne pas négliger, ce qui justifie une pondération de 6%, car celui-ci est installé sur des terrains résidentiels et sera donc accessible à un certain nombre de personnes, dont des enfants. L'accès à la réserve d'eau doit en conséquence être limité. Si un moyen de protection ne permet que des ouvertures de dix centimètres de diamètre ou moins, cette protection est jugée adéquate selon la loi sur les ouvertures des clôtures autour des piscines au Québec et une note parfaite de 1 est attribuée. L'aspect sécuritaire est ainsi évalué qualitativement selon la difficulté à accéder au réservoir d'eau.

Accès difficile :	1 (Ouverture réglementaire et sécurisée)
Accès moyen :	0.5 (Ouverture réglementaire, mais ouverte)
Accès facile :	0 (Ouverture non réglementaire)

4.1.4 Prévenir les débordements non contrôlés

Un débordement de l'eau peut se produire si la quantité d'eau entrante dans le réservoir est trop grande. Il se doit donc d'avoir un dispositif de trop-plein¹ pour éviter ce genre de situation. Cependant, le débordement n'étant pas une situation critique, une pondération de 3% est attribuée à cet élément. Un barème qualitatif est donc utilisé ici afin de déterminer la note que ce dernier obtiendra. Si le réservoir est muni d'un dispositif de trop-plein, il obtient la note de 1. Autrement, c'est-à-dire que le réservoir ne peut évacuer l'eau avant un éventuel débordement, il obtient la note de 0, tel que décrit ci-bas.

Détection fiable :	1 (Présence d'un trop-plein)
Détection non fiable :	0 (Absence d'un trop-plein)

1. Dispositif mis en place pour évacuer un excès de liquide

4.1.5 Assurer une flexibilité d'utilisation

On définit la flexibilité d'utilisation selon le nombre de fonctionnalités d'arrosage offert à l'utilisateur. Idéalement, il doit être possible d'avoir des quantités et fréquences différentes pour le gazon, les besoins ponctuels, le potager et les plantes qui ont tous des besoins particuliers. Étant donné l'importance de garantir la bonne santé de la végétation à l'utilisateur qui opte pour Pluvi-Tech, cet objectif obtient un pourcentage de 10% de la charge totale. Un barème qualitatif explique bien l'attribution des notes de 0 à 1.

Bonne flexibilité :	1 (Des fréquences et quantités adaptées pour chaque plante)
Flexibilité moyenne :	0.5 (Des fréquences et quantités adaptés pour certaines plantes)
Aucune flexibilité :	0 (Des fréquences et quantités uniformes pour chaque plante)

4.2 Automatisation

4.2.1 Faciliter l'utilisation de l'interface

Sans être cruciale, la facilité d'utilisation du système à travers son interface est importante pour que le système agisse exactement comme l'utilisateur le souhaite, d'où la pondération de 5%. Il est difficile de quantifier la simplicité objectivement alors un barème qualitatif évaluant la simplicité d'utilisation semble indiqué. L'évaluation ce fait comme suit :

Utilisation aisée et facile :	1
Utilisation relativement facile :	0.5
Utilisation pénible et difficile :	0

4.2.2 Maximiser le temps d'autonomie du système

Les pannes d'électricité ne sont pas très courantes, mais se produisent tout de même quelques fois par année. Lors d'une panne électrique, le système doit pouvoir rester en fonction, puis initialiser un processus d'arrêt ou redémarrer selon la durée de la panne. Cet aspect du projet se voit attribuer une note de 7% due à son importance dans l'automatisation complète du système. La fonction suivante, qui situe le plancher acceptable à 20 minutes, permet d'évaluer la cote obtenue par rapport au temps d'autonomie du système. Un temps (t) maximal de 8 heures d'autonomie obtient la note de 1 considérant que peu de panne d'électricité excède cette durée.

$$Y = 0.047 \times \sqrt[2]{t - 20}, t \in [20, 480]$$

La fonction donne une croissance logarithmique qui commence à augmenter à partir de 20 minutes et vaut 1 à 480 minutes.

4.2.3 Faciliter la programmation logicielle

Le logiciel occupe un rôle plus qu'important dans l'automatisation du système, car c'est lui qui se charge de la prise de décisions selon les données reçues, d'où sa pondération relativement élevée de 8%. Également, un logiciel plus difficile de programmation augmentera significativement les coûts de conception. Il faut donc s'assurer que la production et les mises à jour de la partie logiciel soient le plus faciles possible tel que décrit dans le barème qualitatif suivant :

Programmation aisée et facile :	1
Programmation relativement facile :	0.5
Programmation pénible et difficile :	0

4.2.4 Maximiser la fiabilité du système

Le souci de l'entreprise pour le produit est de fournir un système fiable au client. Un pourcentage de 6% pour ce critère semble donc adéquat considérant que la fiabilité influence largement la satisfaction du client qui s'attend à un produit sans tracas. Ce critère est évalué selon un barème qualitatif qui prend en compte la garantie du fabricant étant donné que la fiabilité d'un système de cette envergure est difficilement évaluable aux étapes préliminaires. Cette décision suit le raisonnement qu'une garantie plus longue signifie un temps de défaillance et de réparation plus élevé avant la première occurrence de problèmes.

Aucune Garantie :	0
Garantie du fabricant allant inférieure à 1 an :	0.25
Garantie du fabricant allant de 1 an à 2 ans :	0.5
Garantie du fabricant allant de 2 ans à 3 ans :	0.75
Garantie du fabricant allant de 3 ans à 4 ans :	1

4.2.5 Conserver les données à long terme

Les données amassées par le système doivent être conservées au minimum durant 5 ans pour assurer entre autres la précision des rapports et l'ajustement de l'arrosage selon des moyennes des années précédentes. Cet objectif est donc pondéré à 6% puisqu'il influence la précision de la fréquence d'arrosage qui est un élément clé de Pluvi-Tech. Le barème suivant fixe le plafond à 8 ans comme valeur au-delà de laquelle la précision des moyennes est satisfaisante :

$$Y = \frac{t - 3}{5}, t \in [0, 8]$$

4.2.6 Maximiser la sécurité du système

Le système se doit d'être sécurisé pour empêcher les intrusions. On accorde une pondération de 4% à cet objectif, car un système non sécuritaire s'expose à de nombreux problèmes. Le tableau qualitatif suivant qui évalue la difficulté d'accès par un tiers sert donc de barème :

Accès long et pénible :	1
Accès relativement difficile :	0.5
Accès court et aisé :	0

4.3 Entretien du système

4.3.1 Simplifier l'installation du système

Le système devant être partiellement installé et désinstallé au rythme des saisons estivales, il est souhaitable que ces opérations soient aisées, mais surtout rapides. Ainsi, une pondération de 4% semble juste. Aussi, le temps d'installation complet reflète le temps partiel ce qui explique que le critère utilisé pour le barème est le temps en jours (T_j) sur une marche de 1 à 3 jours pour l'installation complète du système. Une journée est fixée à 8 heures de travail :

$$Y = \frac{3 - T_j}{2}, T_j \in [1, 3]$$

4.3.2 Minimiser l'entretien

Tout système nécessite un minimum d'entretien régulier pour assurer son bon fonctionnement à long terme. En règle générale, l'entretien inclut le remplacement des pièces mineures, le nettoyage, etc. On évalue cet objectif à une pondération de 2 %, car la sélection des matériaux et le nombre de pièces jouent déjà un rôle dans la durée et la nécessité d'entretien d'un système. Une marge allant de 1 h à 4 h/année se traduit dans l'équation qui suit.

$$Y = \frac{4 - Th}{3}, Th \in [1, 4]$$

4.3.3 Privilégier les équipements discrets

Dans un souci de confort d'utilisation pour un utilisateur et pour minimiser l'impact du système sur son voisinage, il est nécessaire de délimiter le bruit adéquat que doit faire le système. C'est objectif est pondéré à 2 % et estimé suivant le bruit (B) en décibel. Si l'on fixe que le niveau de bruit dégagé par les pompes ne doit pas dépasser le bruit produit par une tondeuse, on fixe donc le maximum de décibels à 85. Une valeur plancher de 20 dB jugée négligeable aboutit à l'équation :

$$Y = \frac{85 - B}{65}, B \in [20, 85]$$

4.3.4 Limiter le poids des pièces

L'une des contraintes imposées par le client dans le projet concerne la capacité à déplacer les pièces non enfouies par deux personnes. On attribue à cet objectif une valeur de 5% car l'hivernage, entre autres, amène à manipuler les composants régulièrement. Une étude canadienne qui estime que le poids que seraient capables de déplacer deux personnes en bonne

santé avec effort et à la main s'évalue à 141 kg environ et sert de référence pour le critère. Étant donné qu'on s'attend à manipuler assez aisément la pièce, la valeur révisée de 100 kg sert de plafond avec une valeur minimale réaliste visée de 50 kg.

$$Y = \frac{100 - Pd}{50}, Pd \in [50, 100]$$

4.3.5 Minimiser les coûts

Dans le cadre de notre projet, on s'attend à offrir au client le système de récupération d'eau de pluie et d'arrosage automatique le plus performant possible, mais en maintenant des coûts abordables. Cet objectif a été évalué à 6% de la note globale puisque le coût de maintenance traitée plus loin s'y ajoute pour refléter la vraie importance de ce critère globalement. En se basant sur les moyennes de prix de systèmes similaires, mais moins performants, le coût minimal se situe à 5000\$ pour l'ensemble. Un prix plafond de 12000\$ prend en compte la possibilité de travaux plus importants sur la résidence pour permettre l'installation. Cela se traduit ainsi par l'équation des coûts qui suit :

$$Y = \frac{12000 - Pc}{7000}, Pc \in [5000, 12000]$$

4.3.6 Limiter les coûts de maintenance

Avec le temps, tout système s'use dû aux conditions météorologiques, l'utilisation répétée ou encore la durée de vie prévue des pièces et composants. L'objectif de limiter l'usure des pièces est pondéré à 3%, car l'on doit assurer que le système résiste assez à l'usure pour maintenir des coûts totaux raisonnables. L'objectif est évalué en termes de coûts par année (p) en se fixant une valeur de 150\$ comme plafond, ce qui semble raisonnable selon le coût total anticipé :

$$Y = \frac{150 - p}{150}, p \in [0, 150]$$

4.3.7 Limiter le nombre de composants

Dans l'optique d'optimiser l'espace occupé et limiter l'entretien, il faut, dans la mesure du possible, réduire le nombre de composants physiques principaux séparés utilisés dans le système. Pour ces raisons une pondération de 3% est réservée à cet objectif. Les solutions possibles incluent remplacer la composante physique par du logiciel ou en combinant plusieurs composants en une seule qui est multifonctionnels. On évalue le tout selon le nombre de composants (Nc) nécessaires anticipés :

$$Y = \frac{8 - Nc}{4}, Nc \in [4, 8]$$

4.3.8 Maison de la qualité

Chapitre 5

Conceptualisation et analyse de faisabilité

5.1 Diagramme fonctionnel

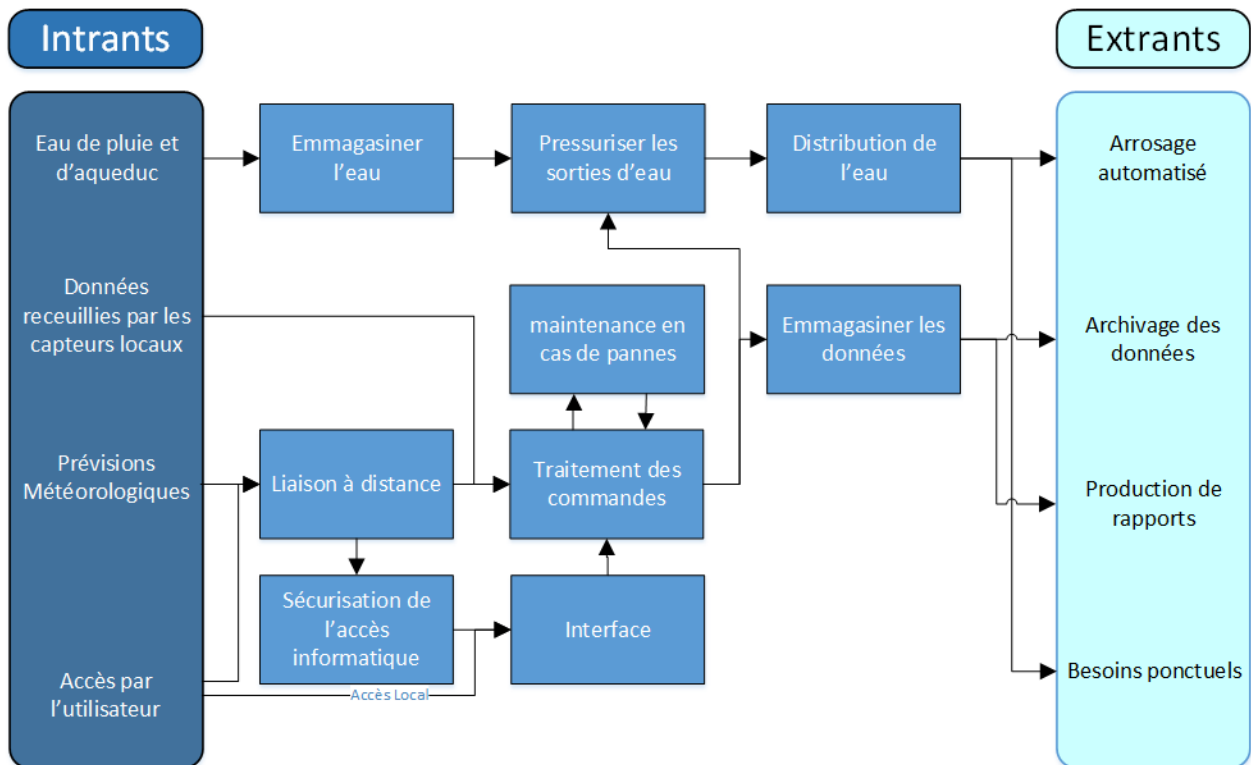


FIGURE 5.1 – Diagramme fonctionnel

Dans le but de répondre le plus conformément possible au client, les différentes fonctions que doit effectuer le système sont présentées dans le diagramme fonctionnel 5.1. Ce

diagramme comprend également les intrants et extrants du système afin de mieux illustrer l'interdépendance des fonctions à l'environnement extérieur.

Tout d'abord, la totalité de l'eau circulant dans le système se doit d'être emmagasinée. Cette fonction inclut également tous les dispositifs nécessaires à la récupération de l'eau. La fonction «Pressuriser les sorties d'eau» prend en charge tout l'aspect de la mise sous pression nécessaire à l'appareillage qui est connecté au système. La fonction «Distribution de l'eau» traite quant à elle de l'irrigation du terrain et des besoins particuliers.

Ensuite, les capteurs locaux et les données météorologiques fournissent des informations essentielles au bon fonctionnement du système. La fonction «Traitement des commandes» traite les diverses données reçues et prend les décisions selon la programmation du système. Cette fonction est la tête de toutes les opérations. La fonction «Maintenance en cas de pannes» assure une alimentation auxiliaire d'urgence afin que le système effectue certaines opérations avant le redémarrage ou la mise en arrêt sécuritaire selon le cas. Cette fonction doit assurer au minimum vingt minutes d'autonomie au système informatique en cas de panne électrique. De plus, chaque action prise par le système ainsi que chaque donnée recueillie doit être emmagasinée sur une période de cinq ans pour permettre la production de rapports de consommation sur demande. De cette fonction, nommée «Emmagasiner les données», découle directement les extrants «Production de rapports» ainsi qu'«Archivage des données».

Toutes ces fonctions sont automatisées, mais requièrent tout de même une configuration appropriée ainsi qu'une méthode d'accès pour l'utilisateur. Ces fonctionnalités sont traitées dans «Interface». Une liaison à distance permet la communication entre l'utilisateur et son système de manière directe ou par l'entremise d'un réseau Internet résidentiel en passant par la fonction «Sécurisation de l'accès informatique». Celle-ci contrôle l'accès aux commandes et aux paramètres préprogrammés.

5.2 Élaboration des concepts de solution

5.2.1 Emmagasiner de l'eau

Tel qu'établi dans le cahier des charges 4, le client requiert que 25% du volume total des précipitations mensuelles puisse être entreposé. Le concept doit également se fondre au décor, être abordable, être fiable et limiter l'espace occupé sur la propriété. Le client exige finalement que la manipulation des pièces non enfouies soit possible par deux personnes. Les aspects de l'analyse sont présentés dans le tableau 5.1. Différentes façons de procéder à l'entreposage de l'eau sont évaluées dans la prochaine section. Le résultat de l'analyse est résumé dans le tableau 5.2.

TABLE 5.1 – Aspects à considérer pour l’emmagasiner de l’eau

Aspects	Critères à considérer	Contraintes
Physiques	-Capacité d’entreposage adéquate -Poids des pièces non enfouies maximum -Espace occupé minime -Présence d’un trop-plein	-Capacité > 5 724 litres -Poid < 100 kg
	-Coûts de production modérés	
Économiques	-Coûts de maintenance modérés	
Temporels	-Temps d’installation minime -Temps d’entretien minime	
Environnementaux	-Présence de dispositifs de sécurité	

Certaines hypothèses et considérations générales sont faites ici sur l’ensemble des réservoirs afin d’alléger le texte des analyses. Il est considéré que l’eau provenant des gouttières est conduite aux réservoirs via des tuyaux en PVC¹ d’un diamètre de 152 mm. Un dispositif de filtrage, grille antimoustique avec maille de 1 mm, est placé juste après chaque gouttière. Les différents types de matériaux offerts pour les tuyaux ne présentant aucune différence significative, le choix du PVC ne nécessite aucune analyse particulière. Ces tuyaux conviennent à tout type de réservoir et répondent adéquatement à tous les besoins du système. Pour le concept avec MURDEAU et le concept de la citerne en polyéthylène, 5 sondes de niveaux à bas prix sont disposées dans le réservoir et servent de données sur l’état du système et ultimement pour évaluer si un seuil critique nécessite l’enclenchement de l’alimentation d’appoint.

5.2.1.1 Citerne souple de 6 m³

Description du concept : Ce type de réservoir est un récupérateur d’eau en citerne souple faite de polyester haute résistance. En se remplissant, la citerne prend de l’expansion jusqu’à sa capacité maximale. Lorsque la citerne souple est remplie, elle occupe une hauteur de 0.7 mètre avec des dimensions rectangulaires de 4.37 x 2.96 mètres. Un trop-plein de sécurité est fourni sans coûts supplémentaires. La citerne à vide a un poids de 25.4 kilogrammes, ce qui est en deçà des contraintes du client. Le coût estimé de ce concept s’élève à environ 650\$.

Décision et justification : La citerne souple est un concept très abordable, facile d’entretien et sécuritaire. Pour retenir cette citerne, il faut cependant prendre le concept de pompe de surface 5.2.2.2 ou surpresseur 5.2.2.3. La citerne s’insère facilement sous un patio ou dans un vide sanitaire. Malgré le fait que si la citerne est apparente, ce concept remplit

1. Polyvinyl chloride

toutes les contraintes et est très abordable. C'est pourquoi ce concept est retenu.

Référence : [1]

5.2.1.2 Entreposage aérien avec Murdeau et sondes de niveau LS2000

Description du concept : Murdeau est un ensemble de modules aériens extérieurs empilables et encastrables. On peut l'intégrer au décor grâce à ses insertions placées en avant du réservoir qui permettent un habillage de matériaux ou de végétation. Murdeau est composé de modules principaux, de réservoirs de 500 litres et de collecteurs de 100 litres. On peut ainsi empiler 3 réservoirs sur 1 collecteur et faire des colonnes de 1600 litres. Dans le cas présent, 4 colonnes sont requises pour un total de 6 400 litres. Les dimensions des réservoirs sont 1.33 x 1.21 x 0.41 mètre et leur poids individuel est de 45 kilogrammes. Les collecteurs ont une dimension de 0.235 x 1.21 x 0.41 mètre et un poids de 13 kilogrammes. Murdeau est fabriqué en polyéthylène haute-densité. Pour éviter les débordements non contrôlés, l'option du trop-plein s'ajoute au module. Ces modules sont durables dans le temps et sont aussi résistants au gel et à la chaleur. Les modules doivent être installés sur une dalle de béton. Pour l'ensemble, le coût est d'environ 6 856\$.

Décision et justification : Pour retenir cet élément de solution, il faut considérer prendre le concept de pompe de surface 5.2.2.2 ou surpresseur 5.2.2.3. Bien que le stockage aérien soit une très belle façon de gagner de l'espace, et ce sans gêner le décor avec des réservoirs apparents, ce concept est dispendieux, mais remplit toutes les contraintes et critères alors ce concept est retenu.

Référence : [2] [3] [4] [5] [112]

5.2.1.3 Citerne en polyéthylène Clean Flo et sondes de niveau LS2000

Description du concept : Cette cuve a une capacité de 5 682 litres et des dimensions de 3,38 x 1,40 x 1,78 mètre. Elle est également munie d'un trop-plein d'urgence pour éviter les inondations en amont. Le prix de la cuve est 3 000\$ et le prix de l'excavation est d'environ 1000\$. Le total est donc de 4000\$.

Décision et justification : La citerne en polyéthylène est très durable et résistante. Elle ne cause aucun souci au décor étant donné qu'elle est enfouie. Son prix est légèrement élevé, mais est justifiable par sa robustesse et sa durabilité. Ce concept est donc retenu.

Référence : [2] [6] [7] [95]

TABLE 5.2 – Faisabilité des concepts d’emmagasiner de l’eau

Solution	Faisabilité				Décision
	Physiques	Écono.	Temporels	Socio-env.	
Citerne souple	Oui, mais	Oui	Oui	Oui	Retenu, mais
Murdeau	Oui, mais	Oui	Oui	Oui	Retenu, mais
Citerne en polyéthylène	Oui	Oui	Oui	Oui	Retenu

5.2.2 Pressurisation des sorties d’eau

Dans le cadre du projet Pluvi-Tech, un élément essentiel est la méthode d’acheminement de l’eau de pluie récupérée. L’eau doit circuler dans le système selon les diverses instructions interprétées. C’est pourquoi des technologies différentes de mise sous pression de l’eau sont comparées selon les critères établis précédemment. Les pompes immergées 5.2.2.1, les pompes de surface 5.2.2.2 (multicellulaires ou monocellulaires) ainsi que les pompes avec surpresseur 5.2.2.3 représentent bien les différentes options qui offrent une solution au problème. Il est important de considérer la pression et le débit maximal de la pompe afin qu’elle puisse effectuer la tâche correctement. Le type de pompe devra être capable de fournir un minimum de 3000 litres par heure et une pression de 50 psi² (considérés comme des standards dans la mise sous pression des systèmes d’arrosage domestique). Étant donné que pour chaque technologie, une gamme de pompe répondant à la puissance minimale est disponible, l’évaluation de la puissance sera alors écartée de même que sa consommation électrique, celle-ci étant directement relié à la puissance. La sélection de la pompe sera faite sur les différents aspects physiques, économiques, temporels et environnementaux relatifs au type de la pompe.

TABLE 5.3 – Aspects à considérer pour la mise sous pression de l’eau

Aspects	Critère à considérer	Contraintes
Physiques	-Poids des pièces non enfouies minimal -Espace occupé minime	-Poids < 100 kg
Économiques	-Coûts d’installation modérés -Coûts de maintenance modérés	
Temporels	-N/A	
Environnementaux	-Discrétion du matériel	

2. Pounds per square inch

5.2.2.1 Pompe immergée

Description du concept : Les pompes immergées se résument à des dispositifs fixés à l'intérieur même de la source d'eau à distribuer. Il n'y a pas de tuyau d'aspiration, l'eau est tirée directement de la base de la pompe. Certaines particules peuvent passer à l'intérieur de la pompe selon le modèle. Le prix des pompes pour utilisation domestique varie entre environ 200\$ et 1000\$.

Décision et justification : Le concept est retenu. La pompe est faite de matériaux résistants à l'eau, donc s'avère plus chère que d'autres concepts. Le fait que la pompe soit immergée la rend très discrète au décor et au niveau du bruit. Un inconvénient qui semble majeur est l'accès à la pompe pour l'entretien, toutefois, les pompes immergées requièrent très peu d'entretien.

Référence : [8] [9]

5.2.2.2 Pompe de surface

Description du concept : Les pompes de surface puisent leur source à l'aide d'un tuyau muni d'un filtre et d'un clapet antiretour plongé à l'intérieur de la réserve d'eau. Un deuxième tuyau sert à fournir l'eau sous pression. Les pompes de surface sont les plus utilisées pour les installations domestiques. Un aspect de la pompe de surface est le nombre de turbines à l'intérieur, appelées cellules. Le choix entre la monocellulaire et la multicellulaire dépend des performances requises. La pompe multicellulaire offre quelques avantages, mais est plus dispendieuse ; elle offre un fonctionnement plus silencieux et est plus robuste. Il y a cependant un désavantage à la pompe de surface, c'est-à-dire qu'elle requiert un refroidissement et un espace minimum autour de la pompe est conseillé afin de procurer une bonne circulation d'air. Le prix des pompes varie entre 75\$ et 500\$ tout dépendant de leur puissance ainsi que du nombre de cellules.

Décision et justification : Le concept est retenu, mais les pompes de surface peuvent puiser de l'eau jusqu'à 8 mètres de profondeur. Les pompes de surface ont un poids maximal approximatif de 10kg et doivent être installées dans un endroit protégé. Les pompes de surface produisent un bruit entre 50 et 70 décibels lorsqu'elles sont en fonction. Les pompes en surface sont abordables et il est facile d'accéder aux pièces, la maintenance est relative à la qualité du modèle et son prix.

Référence : [10] [11]

5.2.2.3 Pompe avec surpresseur

Description du concept : L'eau est d'abord pompée dans un module situé à l'intérieur même de la pompe avec surpresseur, appelé vessie. La vessie est en fait un ballon en caoutchouc rempli d'air servant à pressuriser la sortie de l'eau. Lorsque la pression de la vessie baisse, soit lorsque la sortie d'eau est utilisée, la pompe se remet en marche pour garder la vessie pressurisée. Les surpresseurs sont utilisés dans des systèmes similaires et peuvent

fournir une puissance qui répond aux besoins domestiques. Le prix des surpresseurs varie entre 150\$ et 400\$.

Décision et justification : Le concept est retenu, car les surpresseurs sont abordables et offrent une bonne solution au problème initial. Le poids d'un surpresseur peut atteindre 30kg, en relation avec la puissance maximale fournie. Un inconvénient de la pompe avec surpresseur est le bruit lors de son fonctionnement qui peut atteindre jusqu'à 80 dB³. L'équipement est peu discret. Les surpresseurs sont en général peu dispendieux, les pièces sont disponibles partout et il est facile d'effectuer des réparations.

Référence : [8] [12]

TABLE 5.4 – Faisabilité des concepts de la mise sous pression de l'eau

Solution	Faisabilité				Décision
	Physiques	Écono.	Temporels	Socio-env.	
Pompe immergée	Oui	Oui	N/A	Oui	Retenu
Pompe de surface	Oui, mais	Oui	N/A	Oui	Retenu, mais
Pompe avec surpresseur	Oui	Oui	N/A	Oui	Retenu

5.2.3 Distribution de l'eau

Dans le cadre du projet Pluvi-Tech, la distribution de l'eau est un aspect considérable. En regard aux critères précédemment établis, trois concepts technologiques sont mis de l'avant afin d'évaluer leur importance face au système. Les aspects évalués sont les paragraphes de description du problème par rapport au projet. Ces concepts sont : le système automatique «Gardena» conjointement à un tuyau d'irrigation (5.2.3.1), les arrosoirs avec un tuyau d'arrosage (5.2.3.2) et un long tuyau perforé de concert avec le système «Irrigatia» et un tuyau d'arrosage (5.2.3.3).

3. décibel

TABLE 5.5 – Aspects à considérer pour la distribution de l'eau

Aspects	Critères à considérer	Contraintes
Physiques	-Espace occupé minime -Limiter le poids des pièces -Bonne flexibilité d'utilisation -Équipement discret	
Économiques	-Coûts de maintenance limités -Coûts de production	
Temporels	-Temps d'entretien faible -Temps d'installation minime	
Environnementaux	-N/A	

Également, les tuyaux reliant la sortie d'eau aux dispositifs de distribution occupent une partie non négligeable du projet. Cependant, ils ne sont pas évalués ici, car d'abord, les systèmes d'arrosage «Gardena» et «Irrigatia» fournissent les tuyaux nécessaires à leur utilisation et finalement, les tuyaux qui sont nécessaires à l'autre concept sont accessibles dans toutes quincailleries et sont abordables. Ces tuyaux sont en fait des tuyaux de caoutchouc couramment utilisés pour des usages domestiques. Ils ne sont pas évalués puisque, peu importe le modèle de tuyau, les caractéristiques ne permettent pas de les distinguer les uns des autres. Ils ont donc tous la même importance dans le projet Pluvi-Tech et n'admettent pas de concept préférable à un autre.

5.2.3.1 Système d'arrosage automatique «Gardena» avec tuyau d'arrosage

Description du concept : Un système automatique d'arrosage est composé de plusieurs petits dispositifs souterrains qui ont une partie escamotable et ajustable afin d'assurer un arrosage de la végétation uniforme. Ce système d'arroseurs fait par la compagnie «Gardena» permet de réduire l'excès d'eau et d'arrosage par un utilisateur ce qui permet donc de ne pas laisser sécher la végétation ni de la noyer avec un arrosage excessif. De plus, plusieurs dispositifs d'arrosage différents sont disponibles selon les besoins du client. Étant donné la possibilité de son automatisation complète, ce système fait gagner du temps au particulier. Il peut se déclencher automatiquement et l'utilisateur n'a pas à s'en préoccuper. Il est sans danger pour le sol et sans danger pour l'environnement. Finalement, son installation est si simple que l'utilisateur peut l'installer seul et en peu de temps. Il peut également consulter un entrepreneur pour faire installer son système à un coût raisonnable avec une garantie à long terme. Au total, on s'attend à un coût aux alentours de 700\$ pour un terrain moyen. Ce prix comprend le système d'irrigation ainsi qu'un boyau d'arrosage afin de combler les besoins ponctuels de l'utilisateur. Il a été décidé de jumeler les deux systèmes ensemble pour que le particulier puisse arroser autre que la végétation, par exemple son véhicule, sa maison ou autre. Finalement, étant donné que la plus grande partie du système est sous terre, le

concept est très discret et peu dérangent.

Décision et justification : Retenu, car le système d'irrigation automatique en soi regroupe plusieurs besoins du client. Il est possible d'automatiser l'arrosage de la végétation et donc d'assurer une fréquence d'arrosage idéale en plus de tenir compte des prévisions météorologiques. Aussi, on considère que le système apporte une bonne flexibilité d'utilisation, car il permet des fréquences et des quantités d'arrosage adaptées pour toutes sortes de végétation. Le client peut aussi choisir la manière dont il subviendra aux besoins occasionnels. Ces deux systèmes comportent plus de pièces et demandent un minimum d'entretien. Ensemble, ces deux concepts ont fait leurs preuves au fil des années et sont appréciés par les consommateurs. Ils sont efficaces, fiables et robustes et permettent du même coup une grande flexibilité d'utilisation. Il est discret, bon pour l'environnement et possède une bonne durée de vie. C'est pour toutes ces raisons et aussi parce que le système est facile à installer que le concept est retenu.

Référence : [13] [14] [15] [16] [23] [24]

5.2.3.2 Arrosoirs et tuyau d'arrosage

Description du concept : Les arrosoirs sont des dispositifs de distribution semi-automatisés. Ici, on retrouve deux types d'arrosoirs, les arrosoirs oscillants et les arrosoirs à pulsations. Dans les deux cas, ces dispositifs se connectent à un tuyau d'arrosage et se placent sur la végétation. Ils redistribuent de façon uniforme l'eau du tuyau sur une portion de la végétation. Pour bien subvenir au besoin de la végétation en eau, certains de ces dispositifs sont munis d'une minuterie. L'inconvénient est que l'utilisateur doit déplacer le dispositif d'arrosage de sorte que toute la superficie de végétation soit arrosée. Également, ces dispositifs sont moins discrets, mais sans danger pour l'environnement et comportent très peu de pièces tout en étant peu coûteux. On parle ici d'une fourchette de prix environnant les 85\$ sur un terrain de banlieue pour les deux concepts ensemble soient le boyau d'arrosage et l'arrosoir automatique. L'arrosoir peut s'enlever facilement de l'embout du tuyau d'arrosage. Toutefois, même si l'utilisateur peut en faire à sa guise et autant arroser la végétation que de subvenir à ses propres besoins ponctuels, il est limité, car ces deux actions ne peuvent se faire simultanément et n'apportent pas une quantité d'eau adaptée à n'importe quel type de végétation. Le particulier doit impérativement attendre qu'une des tâches soit terminée pour en commencer une autre. L'installation de ce concept est très rapide, demande peu de manipulation et les pièces sont très légères. Les consommateurs l'apprécient et le concept possède une garantie solide selon les fabricants.

Décision et justification : Retenu car ce système peut aussi subvenir à tous les besoins du particulier. Il lui permet d'accomplir d'autres manipulations sans constamment surveiller l'arrosage de son terrain même si ce système lui demande plus de manipulations. Malgré que ce système apporte une flexibilité limitée d'utilisation et qu'il soit visible, il ne comporte que peu de pièces légères, est donc très facile à installer et fait du bruit à peine audible. C'est aussi parce qu'il comporte également une bonne garantie qu'il est peu coûteux et est apprécié

par les consommateurs que le concept est retenu.

Référence : [17] [18] [23] [24]

5.2.3.3 Tuyau percé avec système «Irrigatia» et tuyau d'arrosage

Description du concept : Le tuyau d'arrosage percé est un long tuyau sous-terrain qui quadrille la sous-surface du terrain. L'eau est ensuite acheminée dans le sol par les petits trous placés partout sur le tuyau. Une gaine de cuivre est placée autour du tuyau afin de le protéger contre les racines qui pourraient percer le caoutchouc. Cette forme d'arrosage est plus que discrète. La distribution de l'eau est uniforme et automatique pour bien subvenir au besoin en humidité de la pelouse. Quant au système d'arrosage «Irrigatia», il sert à fournir un apport d'eau aux endroits plus restreints. Il est automatisé et se déclenche à l'aide d'une pompe solaire fournie par le fabricant. Le client peut donc adapter son système à sa végétation, et ce, très facilement. Ce système est légèrement plus coûteux que les arrosoirs, mais est plus automatisé et procure légèrement plus de flexibilité concernant l'utilisation de l'eau que peuvent le permettre les arrosoirs. On fixe ici un prix de 286\$ pour un terrain moyen et pour le concept total comprenant les trois composants. Il comporte plus de pièces que les simples arrosoirs, mais beaucoup moins que le système d'arrosage automatique. Les trois systèmes que constituent le tuyau percé, le système «Irrigatia» et le tuyau d'arrosage procurent une grande flexibilité d'utilisation, car le client peut effectuer d'autres tâches en même temps tout en comblant chaque besoin de chaque type de végétation. Le prix total de ce concept est abordable, malgré que légèrement plus dispendieux que les autres.

Décision et justification : Retenu car ce système répond aux critères d'évaluation. Il est abordable et discret, comporte un nombre raisonnable de pièces, est automatisé et il est efficace. Il ne demande pas de surveillance et ne restreint pas le consommateur dans les tâches à accomplir simultanément. C'est aussi parce que le système est facile d'installation et qu'il apporte une grande flexibilité d'utilisation que le concept est retenu.

Référence : [19] [20] [21] [22] [23] [24]

TABLE 5.6 – Faisabilité des concepts de distribution de l'eau

Solution	Faisabilité				Décision
	Physiques	Écono.	Temporels	Socio-env.	
Concept Gardena	Oui	Oui	Oui	Oui	Retenu
Arrosoirs et tuyau	Oui	Oui	Oui	Oui	Retenu
Concept Irrigatia	Oui	Oui	Oui	Oui	Retenu

5.2.4 Traitement des commandes

L'une des lacunes majeures que présentent les méthodes actuelles de récupération et de gestion d'eau de pluie est le manque d'automatisation des processus. En effet les systèmes

actuels ne se basent pas assez sur les éléments externes pour favoriser une meilleure gestion de l'eau emmagasinée et une minimisation de l'intervention humaine. Les méthodes de traitement de commandes comparées sont les micro automates programmables (PLC⁴) 5.2.4.1, les microcontrôleurs 5.2.4.2 et les SoftPLC 5.2.4.3.

TABLE 5.7 – Aspects à considérer pour le traitement des commandes

Aspects	Critères à considérer	Contraintes
Physiques	-Espace occupé minime -Programmation logicielle facile -Poids des pièces non enfouies limité	-Poid < 100 kg
Économiques	-Coûts d'installation minime -Coûts de maintenance minimales	
Temporels	-Temps d'installation minime -Temps d'entretien minime -Fiabilité du système maximal	
Environnementaux	-N/A	

Chacun des concepts suivants implique une portion logicielle qui, bien que programmée différemment pour chacun, accomplit le même rôle de régulation des opérations selon les données reçues. Les différents capteurs sont considérés dans les sections appropriées et commandent les décisions du système de commandes. Également, la routine de régulation se retrouve dans la partie logicielle qui est traitée seulement en surface lors de l'analyse de faisabilité.

5.2.4.1 PLC

Description du concept : Les automates programmables sont des systèmes régulateurs de types séquentiels largement répandus dans le domaine de l'industrie à programmation littérale ou graphique (GRAFCET, LADDER, etc.). Les PLC disposent d'une grande adaptabilité et leurs entrées et sorties de types analogiques et numériques les rendent compatibles avec divers capteurs (température, humidité, pression, etc.) pour la prise en compte des éléments externes. Ils intègrent également les connexions nécessaires à l'ajout d'une interface personne-machine (IPM⁵) pour une facilité d'interaction accrue. De plus, la vitesse d'exécution pour les commandes est de l'ordre des microsecondes. Ils peuvent être mis en réseau pour recevoir des informations d'autres PLC ou pour un accès à distance. On s'intéresse ici au micro automate, car leur volume est assez compact pour une utilisation adaptée au secteur

4. PLC : Automate programmable industriel

5. IPM : Interface personne-machine

résidentiel. On bénéficie ainsi d'un système complet, mais sans la contrainte d'encombrement que comporte un automate implanté en industrie. Ces automates programmables se situent généralement dans une marge de 200 à 700 dollars. On s'intéresse par exemple au visual KV de la société Keyence.

Décision et justification : Retenu, car les PLC sont un concept de solution qui répond adéquatement aux besoins du client. En effet, ils sont déjà largement utilisés de par leur efficacité et leur longévité. La facilité de programmation par le LADDER ou le GRAFCET, la connexion à distance et leurs capacités d'adaptabilité les rendent compatibles avec de nombreuses tâches. Il faut néanmoins faire un choix judicieux lors de son achat pour amortir les coûts de logiciels et d'IHM si non fournis. Dépendamment d'une installation extérieure ou intérieure, il faut également assurer l'étanchéité du système. Considérant tous ces critères par rapport au cahier des charges, le concept est retenu.

Référence : [25] [26] [27] [28]

5.2.4.2 Microcontrôleur

Description du concept : Le microcontrôleur est un circuit intégré offrant des possibilités d'automatisation dans des domaines nombreux et variés. Il est largement utilisé dans les systèmes embarqués (téléphonie, automobiles, jouets, etc.) grâce à sa capacité de personnalisation et son coût relativement bas avec une fourchette de prix variant typiquement d'une dizaine à une cinquantaine de dollars carte mère incluse. Il a la particularité de pouvoir être programmé par des langages de haut niveau tel que le C/C++ ce qui facilite son utilisation. Le défi que pose le microcontrôleur réside dans le fait qu'à lui tout seul il est obsolète. Pour pouvoir l'utiliser adéquatement pour l'automatisation, divers matériaux et équipements sont nécessaires ; on parle de modules d'extensions prenant pour des capteurs pour la considération des éléments externes, pour des IHM ou encore de réseautage. Néanmoins le fait d'acheter ces différents modules de manière séparée est un autre facteur de minimisation des coûts car à l'inverse d'un système complet qui vient avec des composantes pouvant être non utiles ou trop évolués par rapport à notre utilisation, les modules sont choisis et adaptés spécifiquement à l'usage dans le cadre du projet. Le microcontrôleur choisi est le AT32UC3A3128 d'Atmel.

Décision et justification : Retenu, le microcontrôleur offre une solution personnalisable à moindre coût. On peut en principe rajouter autant de modules d'extensions que l'on désire lors de la conception finale de notre projet. Cette possibilité implique néanmoins l'achat d'un boîtier d'automatisation pour protéger la carte mère et le microcontrôleur. L'interchangeabilité des pièces est accrue, car en cas de défectuosité d'un module ou d'un capteur, on le déconnecte juste de la carte mère et on intègre remplacement ce qui diminue les coûts de maintenance. Sur la base de ces informations, on retient le concept.

Référence : [29] [30] [31]

5.2.4.3 SoftPLC

Description du concept : Le SoftPLC est un logiciel permettant d'utiliser un ordinateur (en général un PC⁶) comme un automate programmable. Il utilise les langages propres à l'automatisation (LADDER, GRAFCET, etc.) et ne nécessite donc pas de connaissances approfondies en programmation. Le logiciel automate fonctionne en fond tâche sur l'ordinateur et l'interface d'utilisation est affichée pour contrôler l'exécution et les paramètres. Par contre les ordinateurs ne possèdent pas de mémoire de stockage rapide non volatile ce qui peut potentiellement engendrer des pertes de données d'où l'importance d'un système auxiliaire d'urgence. La protection contre les virus et les intrusions est moins problématique, car l'ordinateur étant installé localement, un bon antivirus et pare-feu sont suffisant pour sécuriser les opérations. Les cartes d'extension très répandues pour ordinateur font en sorte que le SoftPLC peut prendre en charge les éléments externes à travers les capteurs ou les données météorologiques.

Décision et justification : Retenu, l'intérêt du SoftPLC est la possibilité d'utilisation de matériel déjà à la disposition du client (PC) pour réduire encore plus les coûts ; mais aussi le fait que la grande majorité est déjà familière avec l'utilisation d'un ordinateur que ce soit au travail ou dans la vie personnelle. Par contre, un ordinateur a un temps de redémarrage plus long par rapport au PLC ou au DCS, mais la différence étant de l'ordre de minutes, elle est négligeable dans le cadre de notre utilisation. Il faut également prendre en considération que la durée de vie d'un PC fonctionnant 24h/24 peut se trouver diminuée dans une marge de 3 à 6 ans. Sur la base de ces informations, le concept est donc retenu.

Référence : [32] [33]

TABLE 5.8 – Faisabilité des concepts de traitement des commandes

Solution	Faisabilité				Décision
	Physiques	Écono.	Temporels	Socio-env.	
Microcontrôleur	Oui	Oui	Oui	N/A	Retenu
DCS	Oui	Oui	Oui, mais	N/A	Retenu, mais
SoftPLC	Oui	Oui	Oui	N/A	Retenu

5.2.5 Emmagasinement des données

Le système doit conserver les données météorologiques et environnementales ainsi qu'un rapport de ses activités. Cela signifie qu'il doit y avoir un moyen pour que le système enregistre les données. Voici une comparaison des méthodes d'entreposage de données les plus utilisées qui pourraient être utilisés dans le système.

6. PC : Ordinateur de maison ou bureau

TABLE 5.9 – Aspects à considérer pour l’emmagasiner de données

Aspects	Critères à considérer	Contraintes
Physiques	-Temps de garanti élevé -Quantité de pièces limitée	
Économiques	-Coûts de production minimales -Coûts d’entretien minimale	
Temporels	-Durée de conservation des données élevée	-Durée > 5 ans
	des données élevée	
Environnementaux	-N/A	

5.2.5.1 Disque dur

Description du concept : Les disques durs sont des dispositifs utilisés pour entreposer des données sur des disques métalliques en modifiant le champ magnétique de sections microscopiques du disque. Ils sont le meilleur moyen d’entreposer de grandes quantités de données. L’inconvénient des disques durs est que puisqu’ils sont en partie mécaniques, ils ont un taux d’échec élevé lors de l’exécution pendant de longues périodes de temps. Si ce taux d’échec est un problème, de nombreux disques durs et un principe de redondance sont utilisés pour atténuer ce problème. Les disques durs sont plutôt énergivores par rapport à d’autres méthodes d’entreposage de données en raison de leur nature mécanique. Les disques durs risquent également de perdre des données si une section n’est pas utilisée pour de longues périodes de temps en raison de la démagnétisation du plateau.

Décision et justification : Ce concept est rejeté, car les disques durs ont un taux de défaillance élevé à long terme.

Référence : [34]

5.2.5.2 Mémoire flash NAND

Description du concept : La mémoire flash NAND⁷ est un type de mémoire flash. C’est le genre le plus populaire et est utilisé dans tout, des clés USB⁸ et les téléphones intelligents aux SSD⁹. La mémoire NAND est fiable, car elle ne contient pas de pièces mécaniques. Le seul problème avec la mémoire NAND est qu’il y a un nombre limité de fois d’écriture par bloc, habituellement dans l’intervalle de 10 000 à 100 000. Cela rend cette solution moins attrayante quand une grande quantité d’écritures est requise. Pour l’entreposage de données à long terme, la mémoire NAND est parfaite parce qu’elle ne perd pas de données au fil du temps. Elle est plus chère par octet que autres solutions de stockage, mais elle est beaucoup

7. Porte NON-ET

8. Universal Serial Bus

9. Solid State Drive

utilisée en raison de sa fiabilité et sa rapidité.

Décision et justification : Retenue, car cette solution est fiable dans les applications qui nécessitent peu d'écritures par bloc et qu'elle est relativement peu dispendieuse en raison de la faible quantité d'espace mémoire nécessaire au projet Pluvi-Tech.

Référence : [35]

5.2.5.3 Le Nuage

Description du concept : Le Nuage est le terme donné à une solution d'entreposage de données qui consiste placer celles-ci dans un centre de données géré par quelqu'un d'autre. Cela signifie qu'un particulier ou une entreprise s'occupe des données et fait en sorte qu'elles soient toujours disponibles pour l'utilisateur. Le principal avantage de cette solution est que l'utilisateur n'a pas à s'inquiéter pour la sauvegarde de ses données, car celles-ci sont conservées en toute sécurité par des professionnels. L'un des inconvénients est qu'un accès à Internet constant est requis par le système pour écrire les données sur le serveur. Un autre inconvénient, bien que peu probable, est que le centre de données perde accidentellement les données comme conséquence à un problème logiciel ou une défaillance matérielle. Ceci peut être résolu par la redondance ou l'entreposage de données à plusieurs endroits.

Décision et justification : Concept retenu, mais nécessite une connection Internet.

Référence : [36]

TABLE 5.10 – Faisabilité des concepts d'emmagasinement des données

Solution	Faisabilité				Décision
	Physiques	Écono.	Temporels	Socio-env.	
Disque dur	Oui	Oui	Non	N/A	Rejeté
Mémoire Flash NAND	Oui	Oui	Oui	N/A	Retenu
Le Nuage	Oui, mais	Oui	Oui	N/A	Retenu, mais

5.2.6 Liaison à distance

La liaison à distance est primordiale pour assurer la plupart des fonctionnalités automatiques du système. C'est la possibilité de prendre des décisions selon les données envoyées et reçues qui justifie l'attrait du Pluvi-Tech et donc l'importance d'une liaison fiable et accessible partout. Un autre aspect important est le coût de cette liaison puisque celui-ci est en lien direct avec le coût d'entretien du système qui se doit d'être minime. La petite quantité de données à manipuler justifie que le coût prime sur d'autres considérations telles le débit et la rapidité. Finalement, la liaison doit être la plus fiable et sécuritaire possible.

TABLE 5.11 – Aspects à considérer pour la liaison à distance

Aspects	Critères à considérer	Contraintes
Physiques	-Accessibilité aux données du système sécurisé -Quantité de composantes faible -Temps de garantie élevé	
Économiques	-Coûts de production faibles	
Temporels	-Coûts de maintenance faibles	
Environnementaux	-N/A	

On peut d’ores et déjà conclure que les concepts qui répondent le mieux à ces critères sont des WPAN¹⁰ entre le système de traitement des commandes et la connexion Internet résidentielle. Avec plus de 96% de la population du Québec qui utilise Internet régulièrement, les nombreux avantages à utiliser la connexion disponible surpassent de loin la contrainte supplémentaire d’exiger un accès à Internet pour garantir toutes les fonctionnalités à l’utilisateur. Également, l’absence d’une connexion résidentielle ne fait que réduire la portée du système à la portée maximale de la puce intégrée au système de commande. Une dernière considération est que plusieurs systèmes de traitement de commandes possèdent déjà un réseau intégré alors les solutions ci-dessous sont conditionnelles au système de commande choisi. Le choix revient donc à identifier le type de WPAN entre Z-Wave 5.2.6.1, Bluetooth 5.2.6.2 ou 5.2.6.3 qui correspond davantage aux besoins de Pluvi-Tech.

5.2.6.1 Puce réseau type Leviton CTZUS-1US Z-Wave

Description du concept : La technologie Z-Wave est relativement récente et n’a été rendue accessible qu’aux alentours de 2010. Les clés telles Aeon Labs permettent le contrôle à distance de différentes applications résidentielles par le transfert bidirectionnel de petites quantités de données pour un coût énergétique minime. Ses principaux avantages sont qu’aucun câblage supplémentaire n’est nécessaire, que la fréquence utilisée n’interfère pas avec d’autres applications, que la portée satisfait les exigences du projet et que de bonnes protections à la fois d’exécution et d’intrusion sont fournies.

Décision et justification : Le concept est retenu pour son faible coût (aux alentours de 50\$) et sa facilité d’installation. Le seul inconvénient est qu’en tant que technologie récente et moins connue il peut être plus difficile d’obtenir du support ou du matériel lors de l’entretien par l’utilisateur.

Référence : [40] [41]

10. Wireless personal area network - Réseau personnel sans fil

5.2.6.2 Puce réseau type RN-42 Bluetooth

Description du concept : La technologie Bluetooth est plus solidement établie et offre des performances en terme de rapidité supérieures aux autres. Tout comme les autres concepts analysés, aucun coût mensuel n'est à prévoir, car ces technologies opèrent sur des fréquences non licenciées qui peuvent être utilisées sans enregistrement auprès d'une compagnie de distribution.

Décision et justification : Le concept est retenu, car le faible coût initial, la facilité d'installation et la fiabilité établie de la technologie correspondent tous aux besoins du système. La faible portée du Bluetooth lui-même peut cependant poser problème si le routeur résidentiel se trouve à plus de 20m de la puce Bluetooth du système apportant un embarras supplémentaire, mais aisément contournable.

Référence [45]

5.2.6.3 Puce réseau type Telegesis ZigBee

Description du concept : La dernière technologie de protocole sans fil pour assurer le transfert de données est le ZigBee. En plus d'offrir tous les avantages du Bluetooth, ZigBee est offert à moindres coûts (environ 40\$), requiert moins de mémoire pour opérer, offre une portée plus grande et consomme moins d'énergie. On fait toutefois de nouveau face au problème d'une technologie moins connue et donc une difficulté pour l'utilisateur à obtenir un support rapide et efficace en cas de problèmes.

Décision et justification : Le concept de ZigBee est retenu. Ces caractéristiques satisfont l'ensemble des aspects traités et promettent plusieurs avantages alors qu'une maintenance légèrement plus ardue n'interfère avec aucune contrainte du client.

Référence : [51] [50]

TABLE 5.12 – Faisabilité des concepts de la liaison à distance

Solution	Faisabilité				Décision
	Physiques	Écono.	Temporels	Socio-env.	
Z-Wave	Oui, mais	Oui	Oui	N/A	Retenu, mais
Bluetooth	Oui, mais	Oui, mais	Oui	N/A	Retenu, mais
ZigBee	Oui, mais	Oui	Oui	N/A	Retenu, mais

5.2.7 Interface

L'interface de l'utilisateur est un élément clé qui s'inscrit dans la gestion du système Pluvi-Tech. Celle-ci doit être simple d'utilisation et facile à configurer afin que le système agisse exactement comme l'utilisateur le souhaite. Il y a plusieurs façons d'arriver à cet objectif, en

tenant compte de la variété des produits technologiques offerts sur le marché. On trouve par exemple les interfaces en ligne de commande et graphique ainsi que les sites Web.

TABLE 5.13 – Aspects à considérer pour l’interface

Aspects	Critères à considérer	Contraintes
Physiques	-N/A	
Économiques	-Coût de production faible	
Temporels	-Simplicité d’utilisation de l’interface	
Environnementaux	-N/A	

5.2.7.1 Interface en ligne de commande

Description du concept : Une interface en ligne de commande est une interface personne-machine dans laquelle seul le texte est utilisé ; du texte est entré au clavier afin de former une ligne de commande qui prend la forme d’une série d’instructions que le logiciel interprète. Le programme communique ensuite avec le système, et des caractères correspondant au résultat de l’exécution sont ensuite affichés à l’écran afin que l’utilisateur puisse valider le résultat. Les interfaces en ligne de commande permettent à un utilisateur expérimenté de configurer un logiciel en un minimum de temps.

Décision et justification : Retenu, car ce type d’interface est très efficace et permet de configurer un logiciel en peu de temps. L’affichage de données et de statistiques à l’écran est également possible. Cependant, son usage n’est pas intuitif et l’utilisation de ce type d’interface peut être complexe pour un utilisateur occasionnel.

Référence : [54]

5.2.7.2 Application graphique

Description du concept : Une application graphique est une application comportant de nombreux aspects visuels. De nombreux boutons, onglets et menus déroulants peuvent être employés afin de permettre à l’utilisateur de modifier facilement les différents paramètres. En général, il est possible d’utiliser le plein potentiel de l’application en ne faisant usage que de la souris. En modifiant un paramètre à l’écran, l’utilisateur envoie des instructions au programme, qui les interprète et transmet ensuite une autre série d’instructions aux automates programmables. Les applications graphiques sont par exemple utilisées avec des appareils tactiles, et leur utilisation est souvent moins efficace en terme de temps.

Décision et justification : Retenu, car une interface graphique est facile d’utilisation et convient bien à un utilisateur peu expérimenté. Elle permet d’afficher très clairement des données et des statistiques. Toutefois, son coût de production peut être élevé dans le cas d’un programme d’envergure.

Référence : [55][56]

5.2.7.3 Site Web avec PHP ¹¹

Description du concept : Un site Web est un ensemble de pages Web hyperliées entre elles et accessible grâce à une adresse Web. De l'information sous format texte est transmise par un serveur grâce au protocole HTTP ¹² et est lue avec un fureteur ou navigateur. Un site Web communique avec les automates programmables de façon très efficace selon les besoins de l'utilisateur. Il présente généralement une interface graphique et sa polyvalence permet de modifier les paramètres du système à partir de presque toutes les machines capables de se connecter à Internet.

Décision et justification : Retenu, car une page Web peut être lue sur la plupart des systèmes intelligents et est donc extrêmement polyvalente. L'affichage de données et de statistiques à l'écran peut être fait de façon claire, et son usage est simple et relativement intuitif, même pour un utilisateur ayant peu d'expérience.

Référence : [57]

TABLE 5.14 – Faisabilité des concepts de l'interface

Solution	Faisabilité				Décision
	Physiques	Écono.	Temporels	Socio-env.	
Interface en ligne de commande	Oui	Oui	Oui,mais	N/A	Retenu, mais
Application graphique	Oui	Oui,mais	Oui	N/A	Retenu, mais
Site Web	Oui	Oui	Oui	N/A	Retenu

5.2.8 Maintenance en cas de panne

La gestion du système Pluvi-Tech étant faite un engin électronique, une alimentation électrique continue est nécessaire afin d'assurer un contrôle ininterrompu et fiable des ressources en eau du client. En cas de panne électrique, le système de commande du Pluvi-Tech doit pouvoir compter sur une alimentation électrique extérieure suffisante pour assurer son bon fonctionnement. Une panne électrique causera l'arrêt des systèmes extérieurs, rompant ainsi la communication avec le programme central du Pluvi-Tech. Si cette communication est toujours rompue 20 minutes plus tard, le système enclenchera le processus de fermeture normale. Afin d'assurer une alimentation constante pour le système de commande du Pluvi-Tech, l'utilisation d'une pile d'automobiles (5.2.8.1), d'un système d'alimentation sans interruption (ASI) (5.2.8.2) ou d'un ensemble de piles électriques rechargeables standards (5.2.8.3) peut être considérée.

11. PHP : Hypertext Preprocessor

12. Hypertext Transfer Protocol

TABLE 5.15 – Aspects à considérer pour la maintenance en cas de panne

Aspects	Critères à considérer	Contraintes
Physiques	-Espace occupé minime	
Économiques	-Coûts de production minimales -Coûts de maintenance minimales	
Temporels	-Temps d'autonomie en cas de panne	-Temps > 20 minutes
Environnementaux	-N/A	

5.2.8.1 Pile d'automobiles avec régulateur de tension et onduleur

Description du concept : Une pile d'automobiles est un type de pile rechargeable utilisé pour fournir l'énergie électrique dont les automobiles ont besoin. Ce terme réfère généralement aux batteries au plomb, qui sont composées d'accumulateurs au plomb-acide raccordés en série afin de produire une tension de 12 volts. Un régulateur de tension assure à l'ensemble une alimentation continue et la polyvalence nécessaire pour fournir aux automates programmables le voltage et la puissance dont ils ont besoin. Une pile d'automobiles standard (60-120\$) peut être suffisante pour alimenter un automate programmable pendant au moins 20 minutes, selon la taille de celui-ci. Afin de garder la pile chargée en tout temps, un onduleur connecte la pile au réseau électrique de la maison et transforme le courant alternatif en courant continu.

Décision et justification : Rejeté, car bien qu'il soit possible de se procurer une pile d'automobiles à un prix abordable, le matériel nécessaire à son utilisation est coûteux et requiert beaucoup d'espace. De plus, son installation est complexe et le nombre élevé de composantes peu nécessiter un entretien régulier. La durée de vie de ce type de pile étant généralement de quatre à cinq ans, cette solution est peu fiable à long terme. Bien que ce type de pile soit couramment utilisé conjointement à des panneaux solaires pour alimenter électriquement des électroménagers, leur utilisation est complexe et ne convient pas à des utilisateurs peu expérimentés.

Référence : [58][59]

5.2.8.2 Alimentation sans interruption avec régulateur de tension

Description du concept : Une alimentation sans interruption (ASI) est un appareil qui permet de fournir à un système électrique ou électronique une alimentation électrique stable même en cas de panne de courant sur le réseau électrique principal. Ce genre d'engin est souvent utilisé pour protéger des ordinateurs et de l'équipement de télécommunication en cas de coupure de courant inusitée afin d'éviter des pertes de données ou d'autres conséquences graves pouvant découler d'une telle panne. Ce type d'appareil varie grandement en taille, et peut être utilisé pour fournir de l'électricité à un seul ordinateur ou à des édifices entiers.

Une ASI capable de fournir du courant à un automate programmable pendant 20 minutes (40-50\$) requiert peu d'espace et est généralement discrète. Un régulateur de tension peut être nécessaire si l'automate programmable requiert un voltage différent de 120 volts.

Décision et justification : Retenu, parce qu'une ASI est conçue spécifiquement pour fournir du courant à des appareils électriques lors d'une panne de courant. Le temps d'installation est presque nul et l'appareil ne requiert pas d'entretien.

Référence : [60]

5.2.8.3 Piles électriques rechargeables standards

Description du concept : Une pile électrique est un dispositif électrochimique qui transforme l'énergie d'une réaction chimique en énergie électrique. Une réaction d'oxydoréduction entre deux substances, dont l'une cède facilement des électrons et l'autre les absorbe, provoque une différence de tension en l'anode (pôle négatif) et la cathode (pôle positif) de la pile. Lorsque la pile est reliée à un consommateur électrique, la circulation de charges (électrons, ions) est provoquée; la pile fournit ainsi du courant continu. Il est possible de connecter plusieurs piles en série ou en parallèle afin d'augmenter la différence de tension et l'intensité. Ces piles prennent très peu d'espace, peuvent garder leur charge jusqu'à un an lorsqu'elles ne sont pas utilisées et peuvent être rechargées des centaines de fois. De plus, les coûts d'entretien et d'installation sont presque nuls. Un boîtier de quelques dollars est requis pour connecter "proprement" plusieurs piles ensemble entre l'automate et son cordon de raccordement de façon à fournir une alimentation électrique continue en cas de panne de courant. Ce type de pile se vend typiquement à quatre dollars l'unité.

Décision et justification : Retenu, car cette solution est peu coûteuse et ne requiert presque pas d'entretien. Les piles sont facilement disponibles dans la plupart des magasins grandes surfaces et peuvent garder leur charge jusqu'à 365 jours lorsqu'elles ne sont pas utilisées. Elles sont fiables et leur fonctionnement correct est souvent garanti par la compagnie manufacturière.

Référence : [61]

TABLE 5.16 – Faisabilité des concepts de la maintenance en cas de panne

Solution	Faisabilité				Décision
	Physiques	Écono.	Temporels	Socio-env.	
Pile d'automobile	Non	Non	Oui	Oui	Rejeté
Alimentation sans interruption	Oui	Oui	Oui	Oui	Retenu
Piles électriques rechargeables standards	Oui	Oui	Oui	Oui	Retenu

5.2.9 Sécurisation d'accès informatique

L'utilisateur désire être le seul à avoir accès à son système sauf lors d'une absence prolongée où le contrôle peut être remis à une tierce personne. Par conséquent, les solutions les plus courantes de contrôle d'accès sur des réseaux seront analysées.

TABLE 5.17 – Aspects à considérer pour la sécurité informatique

Aspects	Critère à considérer	Contraintes
Physiques	-Accessibilité aux données difficile	
Économiques	-Coûts d'installation minime -Coûts d'entretien minime	
Temporels	-Temps d'installation minime	
Environnementaux	-N/A	

5.2.9.1 Mot de passe

Description du concept : Un mot de passe simple peut être utilisé pour sécuriser l'accès contre les intrus. Cela signifie que le dispositif ne donne accès à quelqu'un que si une phrase déterminée à l'avance lui est envoyée par l'intermédiaire de l'interface utilisateur. Cette solution est mise en oeuvre par de nombreux sites Web sur l'Internet parce qu'elle est facile à utiliser et à mettre en oeuvre. Le seul problème avec cette solution est qu'elle n'offre pas de sécurité contre l'espionnage. Autrement dit, elle n'offre aucune sécurité si l'attaquant parvient de lire les paquets allant vers et de l'appareil.

Décision et justification : Ce concept est retenu, car il est simple à utiliser, gratuit, simple à implanter et offre une sécurité adéquate. La possibilité de générer un mot de passe secondaire qui donne accès à des fonctionnalités réduites du système répond bien aux besoins particuliers du concept.

Référence : [62][63]

5.2.9.2 Mot de passe avec TLS¹³

Description du concept : Cette solution est similaire à la solution précédente, mais implantée au-dessus de TLS. TLS est le principal moyen de crypter le trafic sur Internet. Il est utilisé dans le protocole HTTPS¹⁴ qui est tout simplement le fonctionnement du protocole HTTP sur le dessus de TLS. Il s'agit d'un protocole qui utilise une combinaison de chiffrement symétrique et asymétrique pour maintenir les communications entre deux parties privées. Avant qu'une connexion TLS soit établie, le serveur envoie sa clé publique à l'aide d'un certificat. Ce certificat doit être signé par une tierce partie de sorte que le client puisse être

13. Transport Layer Security

14. Hypertext Transfer Protocol Secure

sûr qu'il vient du serveur et non d'un pirate informatique. Obtenir un bon certificat coûte des centaines de dollars par année, mais un certificat autosigné gratuit est une bonne alternative compte tenu des besoins de Pluvi-Tech.

Décision et justification : Ce concept est retenu, car il est simple à utiliser et offre beaucoup de sécurité malgré une implémentation légèrement compliquée.

Référence : [64][65]

5.2.9.3 SSH¹⁵

Description du concept : SSH est un protocole qui est principalement utilisé pour accéder aux systèmes informatiques sur un réseau, mais peut également être utilisé pour contrôler le transfert de données entre deux ordinateurs. L'implémentation la plus populaire, OpenSSH, est libre et sous licence BSD¹⁶ ce qui la rend parfaite pour l'utilisation dans le système. Il utilise du chiffrement asymétrique pour établir une connexion et envoyer la clé utilisée pour le chiffrement symétrique. La solution est d'utiliser à cet effet OpenSSH pour établir un tunnel entre le système et le périphérique de gestion des commandes. SSH offre de nombreuses méthodes d'authentification qui comprennent des mots de passe et les fichiers de clés, ce qui le rend parfait pour sécuriser l'accès tout en offrant une flexibilité pour un accès réduit ou provisoire.

Décision et justification : Ce concept est également retenu pour sa simplicité d'utilisation, pour sa sécurité éprouvée et sa flexibilité de configuration.

Référence : [67]

TABLE 5.18 – Faisabilité des concepts de sécurité informatique

Solution	Faisabilité				Décision
	Physiques	Écono.	Temporels	Socio-env.	
Mot de passe	Oui	Oui	Oui	N/A	Retenu
Mot de Passe avec TLS	Oui	Oui	Oui	N/A	Retenu
SSH	Oui	Oui	Oui	N/A	Retenu

15. Secure Shell

16. Berkely Software Distribution

Chapitre 6

Étude préliminaire

D'après l'analyse de faisabilité présentée à la section 5, trois solutions sont présentées dans le présent chapitre. Les critères du cahier des charges 4.1 évalués d'après le plan de développement servent à faire ressortir les avantages et lacunes de chacune d'elles. Pour terminer, les conclusions de l'évaluation objective se retrouvent dans la synthèse des résultats 6.3 afin de bien visualiser les résultats de l'analyse.

6.1 Plan de développement

Le plan de développement sert à cibler la procédure qui sera employée pour évaluer chacun des critères portants sur les concepts de solutions. Des hypothèses documentées permettent d'assurer une rigueur et de simplifier l'évaluation sans compromettre sa qualité.

TABLE 6.1 – Plan de développement concernant la gestion de l'eau de pluie

4.1.1 Adapter la capacité de stockage	
Procédure	Évaluer quantitativement le volume de la citerne.
Hypothèse	Les données fournies par le fabricant sont vraies.
Références	[1] [3] [6]
4.1.2 Limiter l'espace occupé par les installations	
Procédure	Faire la somme de la surface occupée par les composants principaux. Une aire inférieure à 0.1m ² est considérée négligeable.
Hypothèse	Les données fournies par le fabricant sont vraies.
Références	[1] [3] [6] [8] [9] [10]
4.1.3 Contrôler l'accès au réservoir	
Procédure	Évaluer qualitativement la facilité d'accès au réservoir.
Hypothèse	La facilité d'accès est évaluée selon la loi sur les ouvertures autour des piscines au Québec. Les données fournies par le fabricant sont vraies.
Références	[129] [1] [3] [6]
4.1.4 Prévenir les débordements non contrôlés	

Procédure	Déterminer si le réservoir possède un dispositif de débordement.
Hypothèse	Les données fournies par le fabricant sont vraies.
Références	[1] [3] [6]
4.1.5 Assurer une flexibilité d'utilisation	
Procédure	Déterminer le nombre de variétés de sorties d'eau possibles.
Hypothèse	Les données fournies par le fabricant sont vraies.
Références	[13] [17] [19]

TABLE 6.2 – Plan de développement concernant l'automatisation des installations

4.2.1 Facilité l'utilisation de l'interface	
Procédure	Évaluer qualitativement la facilité de l'utilisation de l'interface.
Hypothèse	Non-applicable.
Références	[139] [134]
4.2.2 Maximiser le temps d'autonomie du système	
Procédure	Calculer le temps opérationnel du système lors d'une panne. La durée de vie de la source de courant auxiliaire est calculée grâce à la capacité de la batterie et la consommation de courant du système de commande.
Hypothèse	Les données fournies par le fabricant sont vraies.
Références	[131] [130] [96] [143] [141] [140]
4.2.3 Faciliter la programmation logicielle	
Procédure	Évaluer qualitativement la facilité de programmation du logiciel d'utilisation.
Hypothèse	Un langage de programmation plus répandu est plus aisé à utiliser.
Références	[68] [69]
4.2.4 Maximiser la fiabilité du système	
Procédure	Évaluer quantitativement la garantie du fabricant la plus basse des pièces électroniques.
Hypothèse	Les données fournies par le fabricant sont vraies.
Références	[53] [49] [42] [104]
4.2.5 Conserver les données à long terme	
Procédure	Évaluer quantitativement le nombre d'années que les données sont conservées.
Hypothèse	Les données fournies par le fabricant sont vraies.
Références	[35] [38]
4.2.6 Maximiser la sécurité du système	

Procédure	Évaluer qualitativement la difficulté et le temps d'accès au système grâce à la moyenne des concepts concernés.
Hypothèse	La documentation portant sur la sécurité du chiffrement servira de référence.
Références	[43] [46] [52] [62] [65] [67]

TABLE 6.3 – Plan de développement concernant l'entretien du système

4.3.1 Simplifier l'installation du système	
Procédure	Évaluer quantitativement le temps en jour de l'installation le plus long dans l'ensemble des composants.
Hypothèse	L'installation des composants est simultanée.
Références	[72] [73] [93] [92] [114] [122]
4.3.2 Minimiser l'entretien	
Procédure	Estimer le nombre d'heures d'entretien par année.
Hypothèse	Le temps d'entretien est estimé selon des tâches sur des appareils similaires.
Références	[74] [75] [71] [83] [103] [105] [3] [115] [122] [121]
4.3.3 Privilégier les équipements discrets	
Procédure	Évaluer le bruit occasionné par la composante la plus bruyante.
Hypothèse	Les données fournies par le fabricant sont vraies.
Références	[89] [87] [107] [126] [87]
4.3.4 Limiter le poids des pièces	
Procédure	Évaluer quantitativement le poids des pièces non enfouies. Le poids de la pièce la plus lourde sera utilisé pour évaluer ce critère.
Hypothèse	Les données fournies par le fabricant sont vraies. Un poids inférieur à 2 kg est jugé négligeable.
Références	[1] [88] [106] [85] [3] [127] [85]
4.3.5 Minimiser les coûts	
Procédure	Additionner le coût d'achat pour chaque concept de solution.
Hypothèse	Une marge de 15% sera ajoutée au coût total d'achat selon un approximatif de la méthode d'estimation en trois points afin d'inclure les pièces secondaires non considérées dans le calcul. Les données fournies par le fabricant sont vraies.
Références	[132] [1] [91] [18] [78] [41] [137][63] [6] [95] [109] [99] [39] [45] [144] [66] [112] [127] [118] [37] [51] [145] [140] [67]
4.3.6 Limiter les coûts de maintenance	
Procédure	Diviser le coût total par la durée de vie en année de chaque composant.
Hypothèse	Aucun coût de maintenance n'est considéré pour une durée de vie supérieure à 15 ans. Les données fournies par le fabricant sont vraies.
Références	[72] [133][42] [111] [110] [100] [101] [140] [113]

4.3.7 Limiter le nombre de composants	
Procédure	Évaluer quantitativement le nombre de composants du système.
Hypothèse	Les systèmes intégrés ou virtuels ne sont pas comptabilisés.
Références	[135]

6.2 Élaboration et évaluation des concepts de solution

6.2.1 Concept 1 : Économique

Le concept économique présente des solutions plus abordables, mais qui se conforment aux exigences minimales du client. Puisque les besoins en performance de Pluvi-Tech sont relativement faibles, une solution de remplacement moins onéreuse ne signifie pas nécessairement une baisse importante de qualité dans l'ensemble. Le résumé des concepts économiques est présenté dans le tableau 6.4 ci-dessous.

TABLE 6.4 – Résumé des concepts choisis pour le concept 1 : Économique

Fonctionnalités	Concepts choisis
5.2.1.3 Emmagasiner de l'eau	Citerne souple
5.2.2.3 Mise sous pression des sorties d'eau	Pompe de surface
5.2.3.3 Distribution de l'eau	Arrosoirs et tuyau d'arrosage
5.2.4.3 Traitement des commandes	Microcontrôleur
5.2.5.3 Emmagasiner des données	Mémoire flash NAND
5.2.6.3 Liaison à distance	Puce Z-Wave
5.2.7.3 Interface	en ligne de commande
5.2.8.3 Maintenance en cas de panne	Pile électrique
5.2.9.3 Sécurisation d'accès informatique	Mot de passe

6.2.1.1 Citerne souple

Il existe plusieurs façons d'emmagasiner l'eau. Certaines sont plus dispendieuses, plus efficaces, moins encombrantes, plus sécuritaires, etc. Parmi celles choisies pour faire notre projet, celle qui reflète le concept économique est la citerne souple, étant donné son très faible coût.

Capacité d'entreposage La citerne souple peut contenir 6000 litres d'eau [1].

Poids des pièces non enfouies La citerne étant hors du sol, nous devons considérer son poids. Elle pèse à vide 25.4 kg [1].

Espace occupé Cette citerne s'entrepouse bien sous un patio ou un vide sanitaire, mais nous devons considérer l'espace occupé quand même. Son aire est de 12.9 m² [1].

Présence de dispositifs de trop-plein Elle possède un trop-plein de sécurité de 25 mm de diamètres [1]. La détection du niveau de l'eau est fiable.

Coûts de production Le prix de ce réservoir est de 650\$ [1].

Coûts de maintenance La durée de vie maximale est d'environ 10 ans. Si on considère devoir racheter une nouvelle citerne souple tous les 10 ans, ce changement coûtera donc 65 \$ par année [72].

Temps d'installation La citerne souple ne requiert pas d'installation particulière [72]. Il faut qu'elle soit évidemment installée sur un sol plane. Le temps d'installation du réservoir et de l'alimentation en l'eau est de 4 heures, soit une demi-journée de travail [73].

Temps d'entretien La citerne est conçue pour résister aux températures de -30 à 70 degrés Celsius. Même en saison froide, aucune vidange n'est nécessaire [74]. Il faut cependant avant l'hiver enlever les vannes et vidanger les tuyaux [75] pour les protégés du gel [71]. On considère 1 heure de maintenance par année.

Dispositifs de sécurité Nous avons accès à l'intérieur par 3 embouchures. Ces 3 embouchures sont très petites et recouvertes d'un dispositif [1]. On considère alors l'accès difficile.

6.2.1.2 Pompe de surface

Les pompes de surfaces sont très abordables, ces pompes sont aussi faciles d'accès en cas de bris et se trouvent dans toute quincaillerie. Faciles à installer ou déplacer, elles constituent un élément de solution idéal à intégrer dans un concept économique. La pompe prise comme référence est le modèle 1/2 hp de Wayne.

Poid des pièces Le poids de la pompe varie d'une compagnie à une autre, mais toujours autour des mêmes valeurs. La pompe de surface de la compagnie Wayne a donc servi de valeur de référence pour le poids, qui est de 10.8 kg [88].

Espace occupé Un des éléments du concept requérant un espace non négligeable est la pompe. Pour le modèle de référence, l'espace occupé est de 0.381 m^2 [88]

Coûts d'installation Le prix d'achat représente le prix total d'installation. Pour la pompe de référence, le prix de base est de 130 \$ [91].

Coûts de maintenance La durée de vie maximale est d'environ 10 ans. Considérons alors un nouvel achat tous les dix ans, nous obtenons donc un prix de maintenance de 13 \$ [128] par année.

Discrétion du matériel Le bruit en décibel est relativement similaire pour chaque pompe de surface. Il est nécessaire d'effectuer des tests de bruit pour savoir avec exactitude le bruit émis par la pompe, car cela dépend des installations autour ainsi que des vibrations. Pour valeur de référence, nous utilisons donc le bruit d'une pompe de piscine, qui produit environ 65 dB [89].

6.2.1.3 Arrosoirs et tuyau d'arrosage

Dans l'optique d'un concept économique, l'arroseur automatique choisi sera le modèle aquazoom de la compagnie Gardena. Aussi, le tuyau d'arrosage sera le modèle pour arrosage

léger de la compagnie Facto jumelé à un pistolet d'arrosage de la marque Uberhaus.

Coûts de production Les coûts reliés à la production sont minimes. On prévoit un boyau d'arrosage, un pistolet d'arrosage ainsi qu'un arroseur automatique pour un total d'environ 85\$ [18] [23] [24].

Coûts de maintenance Les éléments utilisés engendrent une dépense par année environnant les 10.75\$. Ce coût est établi selon le coût initial des éléments en fonction des durées de vie des composants. [110] [111]

Temps d'entretien Ces éléments ne demandent aucun entretien à moins d'un bris. Cependant, ces dispositifs sont munis d'une très bonne résistance [83].

Temps d'installation L'installation exige de raccorder le tuyau d'arrosage à la sortie d'eau de la maison pour ensuite alterner entre le pistolet d'arrosage ou l'arroseur automatique selon les besoins. Dans les deux cas, l'installation est minime.

Espace occupé Ces composantes occupent un espace négligeable. La seule composante à ne pas négliger est le boyau d'arrosage, il occupe un volume de 0.2 m² selon les boîtes de rangement disponibles sur le marché. [84]

Poids des pièces Le poids des pièces non enfouies est grandement en dessous de 100 kg. On parle ici de 13.6 kg pour le boyau. [85] Le poids des deux autres composantes est négligeable puisque leur poids est inférieur à 2 kg de la contrainte du client de 100 kg. [86]

Équipement discret Selon l'échelle des décibels, il est possible de situer l'arroseur automatique aux environs de 30 dB [87]. Ce qui est amplement inférieur à la valeur requise par la loi exprimée dans le cahier des charges.

Flexibilité d'utilisation Cette combinaison de solution permet mal à l'utilisateur de combler ses besoins ponctuels ainsi que les besoins de la végétation. Étant donné la disponibilité d'un seul tuyau d'arrosage, il ne peut subvenir à ses propres besoins d'arrosage et arroser tout type de végétation en même temps en fournissant une quantité d'eau et une fréquence adéquate.

6.2.1.4 Microcontrôleur

Il existe une multitude de microcontrôleurs sur le marché. Ceux-ci sont largement utilisés dus à leur facilité de programmation, l'ajout de modules d'extension et surtout le coût avantageux. Dans le cadre de notre projet, on a choisi le microcontrôleur AT32UC3A3128 de la société Atmel.

Programmation logicielle L'intervention humaine sur AT32UC3A3128 se résume à la programmation. Le langage de programmation utilisé est le C [77] qui est le langage le plus répandu vu sa portabilité. La majorité des programmeurs sont donc en mesure de modifier le programme. Pour ces raisons, le microcontrôleur correspond au critère programmation aisée et facile.

Poids des pièces Les microcontrôleurs sont des composants assez légers de l'ordre de quelques grammes. Notre microcontrôleur pèse 110g [78].

Coûts d'installation Pour les besoins de notre projet, on utilise le kit Atmel UC3-A3 Xplained qui inclut la carte mère et le microcontrôleur. Le kit est intéressant puisqu'il offre de la mémoire supplémentaire (64 Mbit SDRAM), un port USB pour la programmation, la compatibilité avec les cartes Sd et bien d'autres. Le prix est de 29 \$ [78]. Le logiciel de programmation Atmel Studio est disponible gratuitement [79]. Un boîtier en aluminium coûte environ 10 \$. [80]

Coûts d'entretien Le coût d'entretien en fonction de la durée de vie moyenne d'un microcontrôleur qui s'élève à trois ans [133]. En considérant le coût d'installation, on obtient donc un coût d'entretien de 13 \$.

Temps d'installation du système La carte mère et le microcontrôleur sont des circuits non protégés. Il faut donc prévoir un boîtier pour les mettre à l'intérieur et les protéger. Le boîtier peut alors être fixé au mur ou placé dans un endroit adéquat en considérant les caractéristiques de fonctionnement optimal du microcontrôleur (température d'opération entre -40 et 85 degrés Celsius) [81]. Il faut compter 30 min pour l'installation.

Temps d'entretien du système Le nettoyage et le dépoussiérage de la carte mère et du microcontrôleur prennent environ 1 heure vu le caractère sensible du circuit.

Fiabilité du système Le microcontrôleur AT32UC3A3128 et la carte mère UC3-A3 Xplained sont soumis à la garantie de 1 an du fabricant pour tout défaut non induit par l'utilisateur. [82]

6.2.1.5 Mémoire flash NAND

La NAND est utilisée dans de nombreux dispositifs de stockage. Parce que nous n'avons besoin que de petites quantités de stockage, une clé USB 2 Gigaoctets serait une bonne solution économique.

Conserver les données La mémoire NAND peut stocker des données pendant de très longues périodes de temps. Elle peut conserver les données pendant de nombreuses années si elle n'est pas alimentée et beaucoup plus si elle est maintenue sous tension (plus de 8 ans), comme elle sera utilisée dans cette solution. [35]

Minimiser les coûts Considérant la petite quantité d'espace nécessaire à l'entreposage des données, les coûts de la mémoire flash NAND sont assez faibles. Le prix de la mémoire flash NAND est inférieur à 1 \$ par Gigaoctet, ce qui est minime par rapport au prix des autres composants de ce projet. Les clés USB pouvant conserver 2 Gigaoctets de données ne coûtent pas cher et peuvent être trouvées pour moins de 5 \$ presque partout. [37]

Maximiser la fiabilité Le désavantage de la mémoire flash NAND est que l'on ne peut écrire qu'un nombre limité de fois. Son utilisation dans le projet ne nécessite qu'une écriture sur le même secteur qu'environ tous les 5 ans, ce qui rend ce concept parfait. [35]

6.2.1.6 Puce Z-Wave Leviton CTZUS-1US

Les puces réseau de type Z-Wave comme la Leviton CTZUS-1US offrent un débit et une portée légèrement inférieurs aux autres options évaluées, mais sont offertes à un prix qui justifie le compromis d'autant plus que le transfert de données de Pluvi-Tech est minime. De là vient sa place dans le concept de solution économique. À noter qu'une légère adaptation du circuit est nécessaire pour la rendre la communication compatible avec le microcontrôleur AT32UC3A3128.

Accessibilité aux données du système Chaque réseau WPAN Z-Wave possède son propre numéro d'identification complètement imperméable aux intrusions qui est nécessaire pour communiquer avec les autres appareils identifiés au même numéro [43]. L'accès par une personne non autorisée sera donc très long et pénible, voir impossible.

Quantité de composants Bien qu'il soit possible de protéger une pièce de cette dimension facilement, l'impossibilité de l'intégrer entièrement au microcontrôleur et l'ajout de circuits électriques pour la compatibilité force à considérer la puce comme une composante physique supplémentaire.

Garantie du fabricant La garantie du fabricant de la puce est de seulement 1[42] an et l'impossibilité de l'intégrer totalement au système la rend plus vulnérable aux conditions ambiantes et aux bris.

Coûts de production Le prix listé du fabricant est de 40.67\$ [41]. Les frais de transports et autres pièces requises pour l'installation seront inclus dans la marge de 15% tel que mentionné dans l'hypothèse pour l'évaluation du coût total du système.

Coûts de maintenance Tel que mentionné plus haut, la durée de vie plus faible de cette puce comparée aux autres force à considérer les coûts de remplacement dans la maintenance. La durée de vie totale estimée selon une modélisation de garantie vs durée de vie [42] est de 5 ans pour la puce ce qui donne un coût projeté de 8.13\$ en maintenance par année.

6.2.1.7 Interface en ligne de commande

Ce concept utilise un logiciel avec interface en ligne de commande qui s'installe sur la plupart des systèmes intelligents et qui communique avec l'automate programmable par le biais d'Internet.

Coûts de production La création d'une application en ligne de commande prend peu de temps et son implémentation est très rapide, ce qui ne nécessite qu'un coût relativement modeste. Un coût de 370\$, correspondant à 74\$/h pendant cinq heures [145] est considéré comme raisonnable concernant le développement d'une telle application.

Simplicité d'utilisation de l'interface Une interface en ligne de commande est peu intuitive et l'usage de ce type d'interface peu s'avérer difficile pour un utilisateur peu expérimenté. Ainsi, l'utilisation est considérée comme étant pénible et difficile.[134].

6.2.1.8 Piles électriques rechargeables standard

Les piles électriques rechargeables de type AA sont très abordables et disponibles dans la plupart des magasins grande surface, ce qui en font un élément de solution idéale pour un concept économique. Leur installation est simple et presque aucun entretien n'est requis.

Coûts de production Les piles AA rechargeables de la compagnie Duracell sont disponibles au prix de 16.79\$ pour quatre [137].

Coûts de maintenance Puisqu'il est souvent nécessaire de remplacer des piles rechargeables annuellement, le coût de maintenance est de 16.79\$ par année.

Temps d'autonomie Un microcontrôleur de type Atmega 32 [138] fonctionne typiquement avec un courant de (4.5-5.5) volts et 1.1 milliampère. Quatre batteries rechargeables de type AA placées en série suffisent pour alimenter ce microcontrôleur pendant 77 jours [143].

6.2.1.9 Mot de passe

Un mot de passe est envoyé sous format texte avec l'interface utilisateur. Une solution simple et économique.

Maximiser la sécurité Un mot de passe envoyé sous format texte peut être lu par quiconque est en mesure d'espionner la connexion et de lire les paquets contenant le mot de passe. Il est sécuritaire tant et aussi longtemps que personne ne découvre le mot de passe. Ainsi, l'accès est relativement difficile.[62]

Faciliter l'utilisation de l'interface Un mot de passe est très facile à utiliser et à mettre en oeuvre, ce qui explique pourquoi de nombreux sites Web sur Internet l'utilisent. Donc l'utilisation est aisée et facile.[63]

Minimiser les coûts les coûts sont nuls parce que sa mise en oeuvre n'augmente pas le coût de l'interface.[63]

6.2.2 Concept 2 : Performance

Le second concept de solution réunit les composantes compatibles qui sont susceptibles d'être les plus efficaces dans leurs tâches respectives au sein du système. Le résultat sera assurément plus efficace, mais également plus coûteux à l'achat et à entretenir que les autres solutions analysées. Le résumé des composantes choisies pour ce concept est présenté dans le tableau 6.5 ci-dessous.

TABLE 6.5 – Résumé des concepts choisis pour le concept 2 : Performance

Functionalités	Concepts choisis
5.2.1.3 Emmagasiner de l'eau	Citerne en polyéthylène et sonde
5.2.2.3 Mise sous pression des sorties d'eau	Pompe immergée
5.2.3.3 Distribution de l'eau	Gardena
5.2.4.3 Traitement des commandes	PLC
5.2.5.3 Emmagasiner des données	Le nuage
5.2.6.3 Liaison à distance	Puce Bluetooth
5.2.7.3 Interface	Site Web avec PHP
5.2.8.3 Maintenance en cas de panne	Alimentation sans interruption
5.2.9.3 Sécurisation d'accès informatique	TLS

6.2.2.1 Citerne en polyéthylène

Pour le concept de performance, la citerne en polyéthylène est le meilleur choix parmi les concepts étudiés précédemment. Cette citerne est très robuste et aucunement encombrante, car elle est enfouie et a une longue durée de vie. Son prix reste cependant coûteux.

Capacité d'entreposage La citerne en polyéthylène peut contenir 5682 litres d'eau [6].

Poids des pièces non enfouies Étant enfouie, on ne considère pas le poids occupé du réservoir.

Espace occupé Ce réservoir est conçu pour être enfoui. Étant enfouie, elle ne prendra aucun espace [6].

Présence de dispositifs d'un trop-plein Elle ne possède pas de trop-plein de sécurité [94]. On considère la détection non fiable du niveau de l'eau.

Coûts de production Le prix de ce réservoir est de 2931\$ [6] sans les coûts d'excavation [95] de 1000\$. Le total étant de 3931 \$.

Coûts de maintenance La durée de vie est de minimum 25 ans [93]. On ne considère aucun coût de maintenance.

Temps d'installation Le réservoir doit être enfoui. Le temps d'excavation et de manutention est approximativement de 12h, soit 1.5 jour[93].

Temps d'entretien La cuve n'a pas besoin d'être vidée avant l'hiver étant donné qu'elle est enfouie. Cependant les tuyaux doivent être vidés [75]. Ces travaux d'entretien prennent environ 1/2 heures.

Dispositifs de sécurité On a accès à l'intérieur de du réservoir par deux ouvertures de 50.8 cm. Ces deux ouvertures sont munies de 2 couvercles d'étanchéité avec des vis en acier inoxydable [94]. L'accès est donc difficile.

6.2.2.2 Pompe immergée

La pompe immergée est une pompe qui présente plusieurs avantages intéressants incluant le prix, la discrétion et la robustesse. Cette pompe a donc été incluse comme élément du concept performant. La pompe de référence est la Red Lion Sump Pump 1/2 hp.

Poids des pièces Le poids de la pompe, bien qu'elle doit être amovible à l'intérieur de la réserve d'eau, est de 13.6 kg [106].

Espace occupé L'espace occupé par la pompe est nul, car il est inclus dans l'espace occupé par la réserve d'eau.

Coûts d'installation Le coût se ramène seulement au prix à l'achat. Le prix de la pompe de référence est de 200\$, donc 20\$ par année[109].

Coûts de maintenance La durée de vie est de minimum 10 ans[128] , nous considérons alors un nouvel achat tous les dix ans.

Discrétion du matériel Étant complètement immergée donc isolée, la pompe ne produit aucun bruit. [107]

6.2.2.3 Gardena

En optant pour le concept performant, la compagnie se doit de mettre des pièces d'une grande efficacité. Il est donc question ici du système d'arrosage automatique de la compagnie Gardena utilisé conjointement avec un tuyau d'arrosage pour utilisation légère de la marque Facto et le pistolet d'arrosage de la marque Uberhaus.

Coûts de production Le coût de production peut grandement varier selon le type de terrain du particulier. Le système d'arrosage automatique de la compagnie Gardena s'adapte au terrain de façon unique. Cependant on évalue ici le coût pour un terrain moyen en banlieue et on obtient une estimation de 700\$ comprenant le tuyau d'arrosage et le pistolet d'arrosage. [16] [23] [24]

Coûts de maintenance Les pièces d'arrosage de la marque Gardena ont une durée de vie d'environ dix ans. [111] Si on divise le prix initial par la durée de vie de 10 ans, on obtient un coût de maintenance de 70\$ par année. [110]

Temps d'entretien Le système demande très peu d'entretien puisque tout est automatisé. La mise en veille pour le gel du sol est d'autant plus courte avec les vannes de vidange de l'eau automatiques. On estime donc le temps d'entretien à 30 minutes. [105]

Temps d'installation L'installation estimée pour le système d'arrosage automatique correspond à une demi-journée. [92]

Espace occupé L'espace occupé est seulement celui occupé par le boyau d'arrosage, soit 0.2m² selon les boîtes de rangement disponibles sur le marché. [84] Le système Gardena n'occupe pas d'espace puisqu'il est sous terrain.

Poids des pièces Le poids des pièces environne 13.6 kg. [85] Ce nombre correspond au poids du tuyau d'arrosage et étant donné que c'est le seul dispositif non enfoui, on considère seulement son poids et non celui du système d'arrosage Gardena.

Équipement discret Le bruit dégagé par le système d'arrosage se situe autour des 40 dB selon l'échelle du bruit. [87] Il est donc conforme à la réglementation municipale de 55 dB citée dans le cahier des charges.

Flexibilité d'utilisation Cette partie du concept permet au particulier de subvenir à tous ses besoins simultanément en plus de combler seulement grossièrement les besoins de la végétation. Il économise donc du temps et a du même coup moins de soucis.

6.2.2.4 PLC

Les PLC sont des automates très performants, car ils couvrent un large éventail de fonction et sont principalement utilisés en industrie pour leur fiabilité et robustesse. On a choisi le micro PLC Visual KV-3000 de la société Keyence Canada.

Programmation logique Le langage utilisé pour la programmation du PLC est le LADDER [97], il est plus répandu dans le secteur industriel, mais pas facilement compréhensible pour un programmeur n'ayant pas une réelle expérience ou spécialisation dans la programmation d'automates. On a donc plus de chances de se tromper en programmant. Il correspond donc à une programmation relativement facile.

Poids des pièces le poids du Visual KV, de son kit de montage et des câbles requis est d'environ 280 g. [98]

Coûts d'installation Le coût du Visual KV s'élève à environ 500 \$ dépendamment du nombre d'entrées et sorties. [99]

Coûts d'entretien Le Visual KV possède une résistance aux chocs d'environ $150 m/s^2$, aux vibrations situées entre 10 et 55 Hz [100] ce qui en fait un système largement robuste pour l'utilisation résidentielle. On évalue la durée de vie de l'automate à 15 ans en ce basant sur un produit similaire de la société Saia Burgess [101]. Selon l'hypothèse nous évaluons alors le coût de l'entretien à 0\$.

Temps d'installation du système Le Visual KV peut s'installer de différentes manières. Soit par l'utilisation d'un rail DIN ou par fixation sur un panneau [102], de plus il ne mesure que (55 x 90 x 43mm) ce qui limite l'espace qu'il occupe. On parle d'une installation d'environ 1 heure, en considérant que la programmation a été faite en avance.

Temps d'entretien du système L'entretien de l'automate consiste de manière générale au dépoussiérage, à la vérification des connexions et de l'état des câbles d'alimentations [103]. Ces opérations prennent en moyenne 30 minutes.

Fiabilité du système Le Visual KV - 3000 est fourni avec une garantie de 1 an du fabricant pour toute défectuosité non induite par l'utilisateur. [104]

6.2.2.5 Le nuage

Google Drive est un service de stockage en nuage créé par Google. C'est un service de stockage très performant en nuage gratuit typique comme beaucoup d'autres sociétés fournissent.

Conserver les données Google Drive est fiable et a très peu de temps d'arrêt et dans le cas peu probable où Google Drive fermerait ses portes, il ya beaucoup d'autres solutions de stockage en nuage gratuites où les données pourraient être déplacés. Nous considérons alors ceci supérieur a 8 ans[38]

Minimiser les coûts Google Drive offre 5 Go de stockage gratuit ce qui est suffisant.[39]

Maximiser la fiabilité Les données sont stockées sur les ordinateurs gérés par des professionnels. Étant donné la fiabilité assurée par Google, cet élément de solution ne sera pas évalué selon notre barème et se verra attribuer la note maximale.[39]

6.2.2.6 Puce Bluetooth

Les modules avec technologie Bluetooth telle la RN-42 de Parallax inc. [45] sont légèrement plus onéreux que les autres options possibles pour fournir un accès à distance au système de commandes, mais offrent plusieurs autres avantages en contrepartie ce qui explique sa place dans le concept le plus performant.

Accessibilité aux données du système Les appareils qui utilisent la technologie Bluetooth possèdent de nombreuses options de sécurité au niveau du service et des dispositifs. Il est entre autres possible à l'utilisateur d'autoriser le transfert de données de seulement un petit nombre de sources et de rendre la puce imperméable à toute autre tentative de communication sans l'autorisation de la part de l'utilisateur [46]. Les failles connues comme le "Bluebugging" [47] font cependant baisser la cote à 0.5, car les intrusions vers le réseau résidentiel sont possibles.

Quantité de composants Le module vient sous forme d'une puce unique d'au plus 6cm de longueur [48] complètement intégrée au PLC et n'est donc pas considérée comme une composante physique supplémentaire.

Garantie du fabricant La puce offre une durée de vie supérieure a 15 ans si bien entretenue avec une grande résistance à la température et à l'humidité [49] en plus de posséder une protection supplémentaire du fait qu'elle est complètement intégrée. Sa garantie dépasse de loin le minimum requis selon le cahier des charges 4 pour recevoir la note de 1.

Coûts de production Le prix listé du fabricant est de 49.99\$ [45]. Les frais de transports et autres pièces requises pour l'installation seront inclus dans la marge de 15% tel que mentionné dans l'hypothèse pour l'évaluation du coût total du système.

Coûts de maintenance Tel que mentionné plus haut, la durée de vie et la résistance toutes deux très élevés de la puce garantissent des coûts de maintenance liés à l'usure naturelle virtuellement nuls. Aucun prix ne sera donc estimé pour ajouter au total des coûts de maintenance.

6.2.2.7 Site Web avec PHP

Pour ce concept, l'interface utilisée est un site web hébergé sur l'automate programmable et accessible à partir de n'importe quel appareil capable de naviguer sur Internet.

Coût de production On peut considérer que la production d'un site web fonctionnel de base présentant les caractéristiques nécessaires au projet Pluvi-Tech peut être donnée comme contrat à un spécialiste moyennant une somme d'environ 275\$ [144].

Simplicité de l'utilisation de l'interface Le Canada comptait près de 27 millions d'utilisateurs d'Internet en 2009 [139], ce qui laisse croire qu'une grande majorité de la population est à l'aise avec les sites Internet. Un site web bien conçu est très facile à utiliser. Ce concept obtient donc la note parfaite de 1, qui correspond à une utilisation aisée et facile, au barème qualitatif.

6.2.2.8 Unité d'alimentation sans interruption

Cette solution consiste à utiliser une unité d'alimentation sans interruption afin de fournir de l'électricité au PLC. Le modèle choisi est le CS385B de la compagnie OPTI-UPS, disponible au coût de 39.99\$ [140] et compatible avec du courant alternatif de 100-200 volts d'une fréquence de 50/60 hertz et offrant une protection en cas de court-circuit [141].

Espace occupé L'unité d'alimentation sans interruption OPTI-UPS CS385B requiert peu d'espace, ses dimensions étant de 95 x 95 x 158 mm [141]. L'espace occupé par cet appareil est ainsi négligeable du a l'hypothèse du plan de développement

Coûts de production Le coût d'achat de cette ASI est de 39.99\$ [140].

Coûts de maintenance L'appareil a une durée de vie de trois ans, il faut donc considérer un nouvel achat après ce délai. [140]. Le coût de maintenance est ainsi de $39.99/3 = 13.33\$$ par année.

Temps d'autonomie Un PLC de type Visual KV-3000 peut fonctionner avec du courant alternatif entre 100 et 240 volts [96]. Cela le rend compatible avec une alimentation sans interruption abordable telle que la OPTI-UPS CS385B [141], qui suffit pour alimenter ce PLC peu énergivore pendant 120 minutes [143].

6.2.2.9 TLS

TLS est très performant comme le prouve son utilisation à grande échelle.[65]

Maximiser la sécurité TLS offre une très bonne sécurité contre des personnes qui espionnerait la connexion. Il n'y a aucune lacune connue, ce qui signifie qu'il est presque impossible à briser la protection. Le maillon le plus faible lors de l'utilisation de TLS est le mot de passe qui sera utilisé pour accéder à l'interface qui doit être difficile à deviner.[65]

Facilité d'utilisation de l'interface TLS qui est utilisé dans le protocole HTTPS est utilisé partout sur l'Internet. Chaque navigateur populaire d'Internet par exemple met en oeuvre ce qui rend l'accès à l'interface qui pour cette solution est un site très facile.[65]

Minimiser les coûts La bonne façon de mettre en ½uvre de TLS utilise un certificat signé par un tiers. Le prix de ce qui peut aller de la gratuité à 100 \$ par année avec des prix plus élevés corrélant généralement avec des certificats plus sécurisés. Dans cette solution, un certificat de 10\$ par ans de *Namecheap* [66] sera utilisé.

6.2.3 Concept 3 : Pratique

Le concept pratique comprend les dispositifs qui, sans se démarquer dans un aspect particulier, possèdent un équilibre mieux réparti entre l'ensemble des objectifs visés par Pluvi-Tech. Une solution mieux balancée l'emportera souvent sur d'autres, car au-delà d'un certain point une performance accrue n'offre pas d'avantages significatifs alors que l'absence de lacune est à coup sûr un atout. Le résumé des concepts choisis est présenté dans le tableau 6.6 ci-dessous.

TABLE 6.6 – Résumé des concepts choisis pour le concept 3 : Pratique

Fonctionnalités	Concepts choisis
5.2.1.3 Emmagasiner de l'eau	Murdeau et sonde
5.2.2.3 Mise sous pression des sorties d'eau	Surpresseur
5.2.3.3 Distribution de l'eau	Tuyau perforé et Irrigatia
5.2.4.3 Traitement des commandes	SoftPLC
5.2.5.3 Emmagasiner des données	Mémoire flash NAND
5.2.6.3 Liaison à distance	Puce ZigBee
5.2.7.3 Interface	Interface graphique
5.2.8.3 Maintenance en cas de panne	Alimentation sans interruption
5.2.9.3 Sécurisation d'accès informatique	SSH

6.2.3.1 Murdeau et sonde

Pour ce troisième concept, l'emmagasinage de l'eau avec module hors sol empilable est bien qualifiable de pratique. Ne demandant aucune pose spéciale et des composants durables, ce type de concept est un juste milieu.

Capacité d'entreposage Avec les 4 colonnes empilables, la capacité totale est de 6400 litres [3].

Poids des pièces non enfouies Les collecteurs pèsent chacun 13 kg et les réservoirs pèsent chacun 45 kg [3]. Étant donné que chaque composant peut être pris séparément, on considère les plus lourds des deux pour l'évaluation, soit 45 kg.

Espace occupé En considérant les 4 colonnes, l'aire occupée par les réservoirs est de 1.98 m² [3].

Présence de dispositifs de trop-plein Murdeau possède un trop-plein de sécurité [4]. La détection du niveau de l'eau est donc fiable.

Coûts de production Le prix de ce type de réservoir est de 5 120\$ [1]. Il faut que les modules soient installés sur une dalle de béton évaluée à 100\$ [112]. Le total est de 5 220\$.

Coûts de maintenance La durée de vie moyenne est d'environ 30 ans [113]. On ne considère pas de coût de maintenance.

Temps d'installation Il faut raccorder les tuyaux d'alimentation et couler la dalle de béton [114]. Si on ne considère pas le temps de séchage, le temps d'installation totale est de 8h, soit 1 journée.

Temps d'entretien Murdeau nécessite peu d'entretien [3]. Lorsque l'automne est arrivé, il suffit d'enlever le bouchon de vidange pour que le système complet se vide [115]. Le temps d'entretien est 0.5h.

Dispositifs de sécurité Toutes les ouvertures de Murdeau sont couvertes d'un dispositif [3]. L'accès est donc difficile.

6.2.3.2 Pompe avec surpresseur

Le modèle utilisé comme référence est le JETINOX 102M

Poids des pièces Le modèle de référence pèse environ 9.6kg [127]. Il est à noter que nous pouvons inclure de plus grandes vessies sous forme de bombonnes de pression, ce qui augmenterait le poids et réduirait la fréquence d'utilisation de la pompe.

Espace occupé Pour la pompe de références, l'espace occupé est de 0.11 m^2 , soit $0.47 \text{ m} \times 0.24\text{m}$ [127].

Coûts d'installation Le coût d'achat représente la majorité du prix total soit 375\$ [127], car les seules manoeuvres d'entretien faites sont par le propriétaire et cela inclus seulement le nettoyage. Les bris peuvent entraîner une augmentation des coûts, mais ne sont pas prévisibles.

Coûts de maintenance Le coût de maintenance de la pompe est évalué à son prix d'achat une fois aux dix ans, soit 37.5\$[128]

Discrétion du matériel La pompe à surpresseur est la plus bruyante des éléments de solution avec un bruit émis d'environ 70 décibels [126]. Il est à noter que le bruit vient du compresseur et donc sera comparé au bruit fait par un compresseur seul.

6.2.3.3 Tuyau perforé et Irrigatia

Pour un concept pratique, il fût décidé de mettre un tuyau perforé de marque RainBird et le modèle choisi est le XFS Surface DripLine. Pour subvenir aux besoins des plantes, le système Irrigatia est installé avec le modèle Sol-K12; "Solar Automatic Watering System". Et finalement, pour pouvoir combler les exigences ponctuelles du client, un tuyau d'arrosage pour usage léger de la marque Facto avec un pistolet d'arrosage de la marque Uberhaus.

Coûts de production On fixe ici un prix approximatif de 286\$ pour la mise en place du système. [21] [22] [23] [24] Ce prix comprend bien sûr le tuyau percé, le système automatique Irrigatia, le tuyau d'arrosage ainsi que le pistolet d'arrosage.

Coûts de maintenance Les trois éléments utilisés occasionnent une dépense par année environnant les 16\$. Ce coût est établi selon le coût initial des éléments en fonction des durées de vie des éléments. [110] [111]

Temps d'entretien La totalité de cette solution demande un certain temps d'entretien.

Le tuyau percé enfoui dans le sol est très résistant et est facile d'utilisation pour la mise en arrêt et la mise en marche à la fin et au début de la saison. [122] Quant au système automatique Irrigatia, la membrane des tuyaux utilisés est très résistante aux conditions extérieures et donc, demande peu d'entretien. On considère donc que 90 minutes sont suffisantes pour le temps d'entretien.

Temps d'installation Pour l'installation du tuyau perforé, il faut estimer le temps à une journée afin d'installer le réseau de tuyaux. [123] En ce qui concerne le système automatique Irrigatia, on parle de quelques heures seulement d'installations selon la grandeur des platebandes. [124] Enfin, le temps d'installation pour le tuyau d'arrosage est négligeable dans ce cas-ci. Au total, on juge une journée suffisante pour installer la totalité de la solution.

Espace occupé Le système comprenant le tuyau perforé n'est pas visible, il n'est donc pas considéré dans l'espace occupé. Pour le système Irrigatia, la partie visible du système est la pompe solaire qui occupe environ 5 cm² ce qui est négligeable par rapport à l'hypothèse du plan de développement. Il reste donc la superficie de 0.2m² du boyau d'arrosage. [84]

Poids des pièces Le poids des pièces évalué est uniquement celui du boyau d'arrosage qui est de 13.6 kg. [85] C'est la seule composante non enfouie pouvant être déplacée.

Équipement discret Le tuyau n'émet aucun bruit. Selon l'échelle du bruit, on peut évaluer la bruit total aux alentours de 20 décibels. [87]

Flexibilité d'utilisation La solution proposée ici permet une très grande flexibilité d'utilisation au client. De plus, chaque type de végétation sera comblé d'un arrosage adapté selon les besoins en eau particuliers. Le client peut donc aisément arroser ses plantes, sa pelouse et effectuer d'autres manipulations.

6.2.3.4 SoftPLC

Le SoftPLC s'adapte à la catégorie pratique, car selon une étude statistique Canada environ 71 % [116] des Canadiens possèdent un ordinateur de bureau. L'ordinateur est donc un outil familier pour les utilisateurs qui offrent d'énormes capacités. On a choisi le SoftPLC S5-943 de la société IBHsoftec.

Programmation logicielle Le SoftPLC se programme également en LADDER tout comme le PLC[117]. il correspond donc à une programmation relativement facile.

Poids des pièces Le poids du SoftPLC est négligé également.

Coûts d'installation Le prix du SoftPLC s'élève à 467 \$ [118]. On considère néanmoins le prix moyen d'un ordinateur de bureau (489 \$) [119] qui est optionnel suivant que l'utilisateur possède déjà un ordinateur ou non.

Coûts d'entretien Les coûts d'entretien du SoftPLC sont négligés, car il a une durée de vie illimitée dans le temps grâce aux mises à jour. []

Temps d'installation du système Le programme est très facile d'installation, il suffit d'exécuter le programme sur un ordinateur, de spécifier l'emplacement d'installation et l'ordinateur prend en charge le reste de l'opération [120]. Il nous faut alors une dizaine de minutes pour lancer l'installation et elle se terminera toute seule.

Temps d'entretien du système L'entretien du SoftPLC se résume à l'entretien de l'ordinateur. On parle ici d'opérations basiques tel que le dépoussiérage, vérification de l'état des câbles [121]. On estime à 1 heure le temps nécessaire.

Fiabilité du système Les logiciels ne sont pas des composantes physiques, elle ne comporte donc pas de garantie liée au défaut de fabrication. Par contre avec le SoftPLC on a accès à des mises à jour régulières pour améliorer le logiciel et le faire évoluer avec le temps. Un logiciel bien conçu offre donc une fiabilité optimale.

6.2.3.5 Mémoire flash NAND

Cette solution est étudiée avec le concept économique dans la section Mémoire flash NAND 6.2.1.5. Tous les critères à évaluer ainsi que les informations nécessaires sont dans cette section.

6.2.3.6 Puce ZigBee

La puce ETRX3 Telegesis avec la technologie ZigBee [51] offre un prix avantageux tout en étant performante et simple à utiliser. Son emplacement dans le concept pratique s'explique également par la compatibilité avec le système de commandes utilisé pour cette solution.

Accessibilité aux données du système La technologie ZigBee utilise un mode de chiffrement symétrique pour établir un réseau entre les dispositifs pouvant communiquer entre eux [52]. Les protections sont suffisantes pour rendre une intrusion difficile.

Quantité de composants Malgré la petite taille et le fait que le dispositif soit quasi invisible placé derrière le SoftPLC, le fait qu'il ne soit pas totalement intégré nous force à le considérer comme un composant physique supplémentaire.

Garantie du fabricant La garantie du fabricant n'étant pas disponible, celle d'un produit similaire sera utilisée en considérant également que les conditions ambiantes d'une résidence unifamiliale tel celle visée par Pluvi-Tech sont idéales pour maximiser la durée de vie du matériel. La garantie de vie est de 10 ans [53].

Coûts de production Le prix listé du fabricant est de 40,42\$ [51]. Ce prix aurait pu lui valoir la place dans la solution économique, mais le choix a également pris en compte la compatibilité avec le système de commandes. Les frais de transports et autres pièces requises pour l'installation seront inclus dans la marge de 15% tel que mentionné dans l'hypothèse pour l'évaluation du coût total du système.

Coûts de maintenance La durée de vie est supérieure à 15 ans, donc considérant l'hypothèse du plan de développement, le coût de maintenance est de 0\$.

6.2.3.7 Interface graphique

Ce concept utilise un logiciel avec interface graphique qui s’installe sur la plupart des systèmes intelligents et qui communique avec l’automate programmable par le biais d’internet.

Coûts de production On peut considérer que la production d’un logiciel de base avec interface graphique présentant les caractéristiques nécessaire au projet Pluvi-Tech peut être donnée comme contrat à un spécialiste moyennant une somme d’environ 370\$, ou 5 heures rémunérées à 74\$/h [145].

Simplicité de l’utilisation de l’interface Presque tous les logiciels utilisés actuellement à la fois par le grand public et les compagnies sont des logiciels avec interface graphique. L’utilisation d’une telle interface dans le cadre du projet Pluvi-Tech place donc l’utilisateur en territoire familier [139]. L’utilisation d’un logiciel par le biais d’une interface graphique est facile, intuitive et même compatible avec le concept de plus en plus populaire des écrans tactiles. Ce concept obtient donc la note parfaite de 1, qui correspond à une utilisation aisée et facile, au barème qualitatif.

6.2.3.8 Unité d’alimentation sans interruption

Cette solution est étudiée avec le concept *Performance* dans la section Unité d’alimentation sans interruption 6.2.2.8. Tous les critères à évaluer ainsi que les informations nécessaires sont dans cette section.

6.2.3.9 SSH

OpenSSH, l’implémentation de SSH choisie est facile à utiliser, performante et très configurable.[67]

Maximiser la sécurité Le protocole SSH offre une très bonne sécurité contre des personnes qui espionnerait la connexion. SSH est presque impossible à briser et peut être configuré pour utiliser des clés pré générées qui sont seulement connues des périphériques utilisés pour accéder à l’interface, de façon à résoudre le problème des mots de passe faibles.[67]

Faciliter l’utilisation de l’interface OpenSSH peut être configurée de manière que l’utilisateur ne se rend pas compte qu’il est là. Donc la faciliter d’utilisation est très grande.[67]

Minimiser les coûts OpenSSH est libre et gratuit. [67]

6.3 Synthèse des résultats

Le tableau 6.3 présente les valeurs obtenues pour chaque critère à évaluer.

TABLE 6.7 – Tableau synthèse des résultats

<i>Critères d'évaluation</i>	<i>Concept 1</i> 6.2.1	<i>Concept 2</i> 6.2.2	<i>Concept 3</i> 6.2.3
Gestion de l'eau de pluie			
4.1.1 Adapter la capacité de stockage [litres]	6000	5682	6400
4.1.2 Limiter l'espace occupé par les installations [m ²]	13.481	0.2	2.0
4.1.3 Contrôler l'accès au réservoir	accès difficile	accès difficile	accès difficile
4.1.4 Prévenir les débordements non contrôlés	détection fiable	détection non fiable	détection fiable
4.1.5 Assurer une flexibilité d'utilisation	Aucune flexibilité	Flexibilité moyenne	Bonne flexibilité
Automatisation des installations			
4.2.1 Facilité l'utilisation de l'interface	Pénible et difficile	Aisée et facile	aisée et facile
4.2.2 Maximiser le temps d'autonomie du système [min]	>480	120	120
4.2.3 Faciliter la programmation logicielle	Aisée et facile	Relativement facile	Relativement facile
4.2.4 Maximiser la fiabilité du système	Garantie du fabricant allant de 1 an à 2 ans	Garantie du fabricant allant de 1 an à 2 ans	Résultat maximale
4.2.5 Conserver les données à long terme [ans]	>8	>8	>8
4.2.6 Maximiser la sécurité du système [moy]	0.75	0.75	1
Entretien du système			
4.3.1 Simplifier l'installation du système [jours]	0.5	1.5	1
4.3.2 Minimiser l'entretien [heures]	2	1.5	2.5
4.3.3 Privilégier les équipements discrets [dB]	65	40	70
4.3.4 Limiter le poids des pièces [kg]	25.4	13.6	45
4.3.5 Minimiser les coûts [\$]	1340.05	6 349.15	7 410.06
4.3.6 Limiter les coûts de maintenance [\$]	113.62	88.10	70.91
4.3.7 Limiter le nombre de composants	6	5	6

Les détails des calculs des résultats obtenues dans le tableau synthèse des résultats [6.3](#)

ci-haut sont contenu dans l'annexe C 8.

Chapitre 7

Concept retenu

La matrice décisionnelle nous permet d'évaluer efficacement et objectivement chaque critère selon les informations regroupées en 6.3. Les calculs se font à partir des équations retrouvées dans le tableau du cahier des charges 4.1. L'ensemble, grâce à une meilleure perspective des concepts les uns par rapport aux autres, est analysé à la section suivante 7.3. Le tout permet de prendre une décision selon les pondérations sur le concept choisi qui est décrit en détail à la fin du chapitre.

7.1 Matrice décisionnelle

La matrice de décision 7.1 nous présente les pondérations de chacun de critères d'évaluation et leurs taux de satisfaction. Son analyse a pour but de permettre le choix du concept global le plus satisfaisant pour le client en quantifiant la performance de chacun des concepts. La pondération des différents critères est obtenue à partir des données contenues dans le tableau synthèse 6.3 du chapitre précédent.

TABLE 7.1 – Matrice décisionnelle

<i>Critères d'évaluation</i>	<i>Pond.</i>	<i>Concept 1</i> 6.2.1	<i>Concept 2</i> 6.2.2	<i>Concept 3</i> 6.2.3
Gestion de l'eau de pluie	39%	20.5	31.0	34.9
4.1.1 Adapter la capacité de stockage	12%	7.8	7.1	8.6
4.1.2 Limiter l'espace occupé par les installations	8%	3.7	7.9	7.4
4.1.3 Contrôler l'accès au réservoir	6%	6	6	6
4.1.4 Prévenir les débordements non contrôlés	3%	3	0	3
4.1.5 Assurer une flexibilité d'utilisation	10%	0	5	10

Automatisation des installations	36%	27	24.3	28,3
4.2.1 Facilité l'utilisation de l'interface	5%	0	5	5
4.2.2 Maximiser le temps d'autonomie du système	7%	7	3.3	3.3
4.2.3 Facilité la programmation logicielle	8%	8	4	4
4.2.4 Maximiser la fiabilité du système	6%	3	3	6
4.2.5 Conserver les données à long terme	6%	6	6	6
4.2.6 Maximiser la sécurité du système	4%	3	3	4
Entretien du système	25%	17.8	20	15.6
4.3.1 Simplifier l'installation du système	4%	4	3	4
4.3.2 Minimiser l'entretien	2%	1.3	1.7	1
4.3.3 Privilégier les équipements discrets	2%	0.6	1.4	0.5
4.3.4 Limiter le poids des pièces	5%	3.7	4.8	3.1
4.3.5 Minimiser les coûts	6%	6	4.8	3.9
4.3.6 Limiter les coûts de maintenance	3%	0.7	1.4	1.6
4.3.7 Limiter le nombre de composants	3%	1.5	2.3	1.5
Total	100%	65.3	69.7	78.9

7.2 Analyse de la matrice décisionnelle

La matrice de décision porte le choix sur le concept 3 *Pratique*. En effet ce concept aboutit à une différence de pourcentage de 9.6 % avec le concept 2 *Performance* et de 14.2 % avec le concept 1 *Économique*. Il est tout de même important de procéder à l'analyse des critères principaux et des sous-critères pour valider le choix illustré par la matrice de décision.

Pour la gestion de l'eau pluie, le concept *Pratique* se démarque de ses concurrents par sa grande capacité de stockage. En effet en plus de remplir les contraintes en termes de quantité d'eau de pluie stockée, il offre une capacité de stockage beaucoup plus élevée que le concept *Performance* pour un espace occupé sensiblement égal. De plus il prévient adéquatement les débordements non contrôlés en comparaison au concept *Performance* et a une meilleure flexibilité d'utilisation que le concept *Économique*.

En ce qui concerne l'automatisation des installations, le concept *Pratique* présente la même pondération que le concept *Performance* mis à part la fiabilité et la sécurité du système qui donne avantage à celui-ci. En effet le concept *Pratique* obtient la note maximale en termes de fiabilité et de sécurité. Par contre l'autonomie du système de l'ordre de quelques heures

est moins avantageuse et la programmation est moins aisée qu'au concept *Économique* dû à au langage de programmation LADDER moins répandu.

L'entretien du système du concept *Pratique* obtient une pondération inférieure au concept *Économique* et *Performance*. La matrice décisionnelle montre que sur plusieurs points tels que l'entretien, la discrétion des équipements et les coûts, le concept *Pratique* se montre moins attractif que les deux autres concepts. Il est important de souligner que le coût élevé du système est lié au stockage avec Murdeau qui offre une excellente flexibilité à l'utilisateur, car il peut adapter la capacité de stockage en ajoutant ou en enlevant des colonnes. Le remplacement par une option de stockage compatible, de même volume, mais de prix plus bas permettrait donc de réduire le coût du concept, mais on perd cette liberté qu'offre le Murdeau. De plus le concept *Pratique* est facile d'installation, camouflable donc esthétique et nécessite moins de composants.

En définitive, le concept *Pratique* se démarque davantage que les deux autres concepts de par ses performances, la sécurité et la fiabilité générale du système. On choisit donc le concept 3 *Pratique*, car il remplit adéquatement tous les besoins énoncés par PluviTech.

7.3 Description du concept choisi

Un des éléments essentiels du concept *Pratique* est sans doute le réservoir utilisé pour emmagasiner l'eau. Le Murdeau est le mieux adapté en ce qui touche à l'adaptation de la capacité de stockage de l'eau de pluie. Il procure donc une plus grande autonomie en cas de sécheresse et, du fait qu'il s'assemble par blocs, il convient certainement mieux à chaque type de propriétés. L'accès au réservoir est quant à lui sécurisé et un dispositif de prévention des débordements est présent. Cette partie du système est résistante aux conditions extérieures et nécessite peu d'entretien. Finalement, la capacité du réservoir respecte amplement la demande du client puisqu'elle peut contenir 6 400 L d'eau, soit beaucoup plus de 25% des précipitations tombées dans un mois.

L'interface graphique est simple à utiliser, car connue de la majorité de la population, le site web avec PHP est plus que convivial. De plus, la puce avec la technologie ZigBee qui permet un réseau de communication entre les dispositifs automatisés avec son chiffrement symétrique rend les intrusions informatiques plus ardues. Les données s'en trouvent donc protégées, mais facilement accessibles pour le client. Les données conservées par la mémoire flash NAND sont stockées pendant de nombreuses années ce qui dépasse largement l'exigence du client. De plus, afin d'ajouter une protection informatique, on implante l'OpenSSH qui assure un très bon mode de protection.

Afin que les données prises en compte soient transmises et déclenchent une suite de commandes, il faut un système qui lie les éléments entre eux. Le SoftPLC permet donc à l'utilisateur de communiquer avec son système ou encore, il permet aux manipulations nécessaires de s'enclencher automatiquement. Cette composante est très fiable et est relativement facile à programmer avec son langage LADDER. En cas de panne électrique, il est impératif que ce composant reste actif. Pour ce faire, on installe une alimentation sans interruption de la compagnie OPTI-UPS et de cette manière, le système respecte le besoin du client d'une

autonomie en cas de panne d'au moins 20 minutes.

Après que les données soient assimilées et traduites par le SoftPLC, les systèmes d'arrosage automatique peuvent s'enclencher. D'abord, le système d'irrigation de la compagnie Rain Bird consistant à enfouir un tuyau sous terre pour combler les besoins en eau de la pelouse est sans doute le système le plus fiable. En plus de demander très peu de manipulations et d'entretien, les besoins en eau de la pelouse sont adaptés et celle-ci reçoit la bonne quantité d'eau à la bonne fréquence. En ajoutant le système Irrigatia, pour les plantes et les potagers, on permet aussi un type d'arrosage adéquat. En somme, en ajoutant un tuyau d'arrosage avec un pistolet, on permet ainsi à l'utilisateur de subvenir à tous ses besoins.

Malgré que le système *Pratique* soit le plus cher, on considère qu'il est plus adapté à la clientèle ciblée soit la population. Que le client se trouve en banlieue ou non, le système de récupération de l'eau de pluie Pluvi-Tech est discret et très écologique. Il convient à tous types de besoins et est plus pratique sur l'ensemble des concepts. Le concept *Pratique* procure donc un meilleur fonctionnement global à court terme ainsi qu'à long terme.

Chapitre 8

Conclusion

En conclusion, l'étude préliminaire effectuée par la firme de génie-conseil Futur-TECH permet de proposer une solution optimisée en accord avec les demandes du client et qui excède de loin les exigences minimales. Durant le processus de conception, les différentes parties du rapport ont permis de cibler adéquatement, grâce à des objectifs précis, les concepts qui étaient les plus susceptibles de répondre à ceux-ci selon une liste de critères objectifs. Ce processus se conclut ultimement par le choix du concept *pratique* pour ses avantages tant sur les plans logiciel que matériel qui font de lui le meilleur choix pour un système automatisé de récupération d'eau de pluie pour l'utilisation domestique extérieure.

Annexe A

Diagramme physique

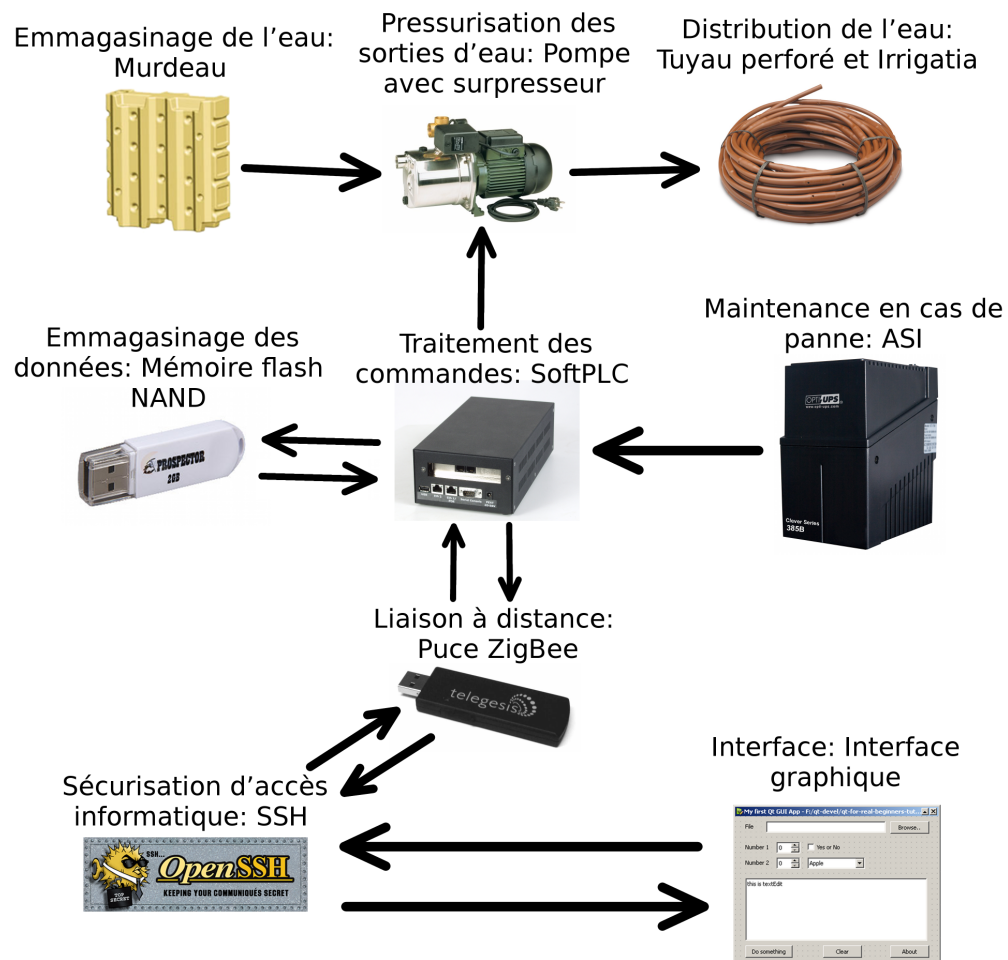


FIGURE 8.1 – Diagramme physique

Annexe B

Liste des sigles et des acronymes

BSD	Berkely Software Distribution
dB	décibel
DCS	Système de contrôle distribué
IHM	Interface homme-machine
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
NAND	Porte NON-ET
PC	Ordinateur de maison ou bureau
PHP	Hypertext Preprocessor
PLC	Automate programmable industriel
PSI	Pounds per square inch
PVC	Polyvinyl chloride
SSD	Solid State Drive
SSH	Secure Shell
TLS	Transport Layer Security
USB	Universal serial bus
WPAN	Wireless personal area network - Réseau personnel sans fil

Annexe C

Calculs pour trouver les résultats du tableau synthèse des résultats **6.3**

4.1.2 Limiter l'espace occupé par les installations [m²] : Faire la somme de la surface occupée par les composants principaux. Une aire inférieure à 0.1m² est considérée négligeable.

Concept 1 Calcul : $12.9 + 0.381 + 0.2 = 13.481 \text{ m}^2$

Concept 2 Calcul : 0.2 m^2

Concept 3 Calcul : $1.98 + 0.11 + 0.2 = 2.19 \text{ m}^2$

4.2.4 Maximiser la fiabilité du système : Évaluer quantitativement la garantie du fabricant la plus basse des pièces électroniques.

Concept 1 Minimum : 1 ans

Concept 2 Minimum : 1 ans

Concept 3 logiciel, donc infaillible

4.2.6 Maximiser la sécurité du système : Évaluer qualitativement la difficultés et le temps d'accès au système grâce à la moyenne des concepts concernés.

Concept 1 Cotes : moy $1, 0.5 = 0.75$

Concept 2 Cotes : moy $0.5, 1 = 0.75$

Concept 3 Cotes : moy $1, 1 = 1$

4.3.1 Simplifier l'installation du système [jours] : Évaluer quantitativement le temps en jour de l'installation le plus long dans l'ensemble des composants.

Concept 1 Maximum : $4\text{h} = 0.5 \text{ jour}$

Concept 2 Maximum : $12\text{h} = 1.5 \text{ jour}$

Concept 3 Maximum : $8\text{h} = 1 \text{ jour}$

4.3.2 Minimiser l'entretien [heures] : Estimer le nombre d'heure d'entretien par année.

Concept 1 Calcul : $1 + 1 = 2\text{h}$

Concept 2 Calcul : $0.5 + 0.5 + 0.5 = 1.5h$

Concept 3 Calcul : $0.5 + 1 + 1 = 2.5h$

4.3.4 Limiter le poids des pièces [kg] : Évaluer quantitativement le poids des pièces non-enfouies. Le poids de la pièce la plus lourde sera utilisé pour évaluer ce critère.

Concept 1 Maximum : 25.4 kg

Concept 2 Maximum : 13.6 kg

Concept 3 Maximum : 45 kg

4.3.5 Minimiser les coûts [\$] : Additionner le coût d'achat pour chaque concept de solution.

Concept 1 Calcul : $650 + 130 + 85 + 39 + 5 + 40.67 + 16 = 1065.67\$ \times 15\% = 1340.05\$$

Concept 2 Calcul : $3931 + 200 + 700 + 500 + 0 + 49.99 + 39.99 = 5\ 521\$ \times 15\% = 6\ 349.15\$$

Concept 3 Calcul : $5220 + 100 + 286 + 467 + 5 + 40.42 + 39.99 = 6\ 444\$ \times 15\% = 7\ 410.06\$$

4.3.6 Limiter les coûts de maintenance [\$] : Diviser le coût total par la durée de vie en année de chaque composant.

Concept 1 Calcul : $65 + 10.75 + 13 + 8.13 + 16.79 = 113.62\$$

Concept 2 Calcul : $10.75 + 34 + 13.33 + 10 + 20 = 88.05\$$

Concept 3 Calcul : $37.5 + 16 + 4.04 + 13.33 = 70.9\$$

4.3.7 Limiter le nombre de composants : Évaluer quantitativement le nombre de composants du système.

Concept 1 Calcul : $1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 6$ composants

Concept 2 Calcul : $1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 5$ composants

Concept 3 Calcul : $1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 6$ composants

Bibliographie

- [1] La cité Verte, *Citerne Verte 6 m³ standard* [En ligne].
<http://www.la-citerne-verte.com/30-gamme-moyenno-citerne-verte-6-m-standard.html> (Page consultée le 23 mars 2013).
- [2] Babbitt international, *LS 2000 Low cost sensor*, [En ligne].
<http://www.babbittlevel.com/ls2000.html> (Page consultée le 23 mars 2013).
- [3] CIRCEO, *Récupérateur d'eau de pluie MURDEAU*, [En ligne].
<http://www.recuperation-eau-pluviale.fr//recuperateur-eau-de-pluie-MURDEAU.php> (Page consultée le 23 mars 2013).
- [4] mon-viti, *Un récupérateur d'eau végétalisable*, [En ligne].
<http://www.mon-viti.com/content/info-produit-un-recuperateur-deau-vegetalisable> (Page consultée le 23 mars 2013).
- [5] 3p Technik UK, *Wall Tank*, [En ligne].
<http://www.3ptechnikuk.com/garden/tanks/wall-tank/> (Page consultée le 23 mars 2013).
- [6] Clean Flo, *Citerne en polyéthylène*, [En ligne].
http://www.harvestingrainwater.ca/Bruiser--Below-Ground-Holding--Poly-Cistern-or-Septic_p_93.html (Page consultée le 25 mars 2013).
- [7] Multitanks International, *Citerne en polyéthylène*, [En ligne].
<http://www.multitanks.com/fr/cuves-de-regulation-en-polyethylene/474-cuve-de-regulation-polyethylene-7000-litres.html> (Page consultée le 25 mars 2013).
- [8] Loisir-jardin.fr, *Différents types de pompes*, [En ligne].
http://www.loisir-jardin.fr/comment_choisir_pompe_jardin.php (Page consultée le 23 mars 2013).
- [9] Comprendre choisir.com, *Fonctionnement de la pompe immergé*, [En ligne].
<http://forage.comprendrechoisir.com/comprendre/pompe-immergee> (Page consultée le 23 mars 2013).
- [10] DécoTravaux, *Fonctionnement de la pompe de surface*, [En ligne].
<http://www.deco-travaux.com/arrosage-automatique-jardin/pompe-surface-arrosage-jardin.html> (Page consultée le 23 mars 2013).
- [11] Pompe direct, *Prix de pompe*, [En ligne].

- <http://www.pompes-direct.com/pompage/pompe-electrique/surface/index.html>
(Page consultée le 23 mars 2013).
- [12] Surpresseur d'eau, *Fonctionnement des pompes à surpression*, [En ligne].
<http://www.surpresseurdeau.com/> (Page consultée le 23 mars 2013).
- [13] Système d'irrigation, *Système d'irrigation et installation*, [En ligne].
http://www.ms-irrigation.qc.ca/Service_Garantie.html (Page consultée le 24 mars 2013).
- [14] Home dépôt, *Arrosage sous-terrain*, [En ligne].
<http://www.homedepot.ca/wcsstore/HomeDepotCanada/pdf/HDBuyingGuides/orbit/orbit-underground-irrigation-guide-fr.pdf> (Page consultée le 24 mars 2013).
- [15] Gardena, *Systèmes d'arroseurs*, [En ligne].
<http://www.gardena.com/ca/fr/water-management/sprinkler-systems/> (Page consultée le 26 mars 2013).
- [16] Le Guide, *Système micro drip Gardena*, [En ligne].
http://www.leguide.com/sb/leguide/recherche/str_MotCle/Systeme+micro+drip+gardena/org/3/t/1/p/3/5070302.htm (Page consultée le 20 avril 2013).
- [17] Les beaux jardins, *Les outils d'arrosage*, [En ligne].
<http://lesbeauxjardins.com/jardinons/gazon/girrigation.htm> (Page consultée le 24 mars 2013).
- [18] Rona, *Prix et commentaires*, [En ligne].
<http://www.rona.ca/fr/arroseur-oscillant-et-minuterie> (Page consultée le 24 mars 2013).
- [19] Irrigatia, *Système solaire d'arrosage automatique*, [En ligne].
<http://irrigatia.com/fr> (Page consultée le 26 mars 2013).
- [20] Rain Bird, *XFS Subsurface Dripline*, [En ligne].
<http://www.rainbird.com/landscape/products/dripline/XFS.htm> (Page consultée le 27 mars 2013).
- [21] Ebay, *Irrigatia Solar automatic*, [En ligne].
<http://cgi.ebay.fr/Irrigatia-solar-automatic-watering-system-30m-TUBE-24-DRIPPERS-conserves-water-/230949517368> (Page consultée le 20 avril 2013).
- [22] Rain Bird, *Products*, [En ligne].
http://store.rainbird.com/custom/product_results.aspx?keyword=dripline
(Page consultée le 20 avril 2013).
- [23] Rona, *Boyau d'arrosage*, [En ligne].
<http://www.rona.ca/fr/boyau-darrosage-pour-usage-leger-86585023--2> (Page consultée le 20 avril 2013).
- [24] Rona, *Prix Pistolet*, [En ligne].
<http://www.rona.ca/RonaAjaxCatalogSearchView?storeId=10151&catalogId=10051&langId=-2&offset=4¤tPageNumber=1&resultCatEntryType=>

- [2&searchKey=RonaFR&content=All&keywords=pistolet+arrosage](#) (Page consultée le 20 avril 2013).
- [25] Kuphaldt, Tony R. *Programmable Logic Controllers*, All about circuits, [En ligne]. http://www.allaboutcircuits.com/vol_4/chpt_6/6.html (Page consulté le 2 mars 2013).
- [26] Exemple PLC avec IHM intégré, *PL Systems France - Vision V350*, [En ligne]. <http://www.zoneindustrie.com/Entreprises/PL-Systems-France/Automate-tactile-couleur-9959.html> (Page consulté le 3 mars 2013).
- [27] Mr Pgilippe LE BRUN, *Automates programmables industriels*, [PDF]. http://www.larmand.fr/fichiers/Ancien_site/enseigne/ressources/techno/bourse%20cours/COURS/automate%20programmable%20industriel.pdf (Page consulté le 2 mars 2013).
- [28] *Microcontrôleur*, Techno Science, [En ligne]. <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=6737> (Page consulté le 3 mars 2013).
- [29] *Ismart*, Technic achat, [En ligne]. http://www.technic-achat.com/automate-ismart-avec-ecran-et-touche-imo,fr,4,SMT_EX_XX.cfm#SMT_ED_R12 (Page consulté le 3 mars 2013).
- [30] École Polytechnique, *Les microcontrôleurs*, [PDF]. http://iusti.polytech.univ-mrs.fr/~vicente/supportcours/cours_microcontrol_2005.pdf (Page consulté le 3 mars 2013).
- [31] Carte Arduino, *RobotShop*, [En ligne]. <http://www.robotshop.com/ca/modules-microcontrolleur-arduino.html> (Page consulté le 13 Avril 2013).
- [32] *The PLC vs the PC*, Industry Trends, the free encyclopedia [En ligne]. <http://www.cse.com.au/IndTrends.html> (Page consulté le 3 mars 2013).
- [33] Arsoft, *VisualPLC*, Logiciel, [En ligne]. <http://www.arsoft-int.com/vplc.php> (Page consulté le 3 mars 2013).
- [34] Scheier, Robert L. , *Study : Hard Drive Failure Rates Much Higher Than Makers Estimate*, PCWorld [En ligne]. <https://www.pcworld.com/article/129558/article.html> (Page consultée le 22 mars 2013).
- [35] Jonathan Thatcher, Fusion-io ; Tom Coughlin, Coughlin Associates ; Jim Handy, Objective-Analysis ; Neal Ekker , *NAND Flash Solid State Storage for the Enterprise, An In-depth Look at Reliability*, Solid State Storage Initiative (SSSI) of the Storage Network Industry Association (SNIA). [PDF]. http://www.snia.org/sites/default/files/SSSI_NAND_Reliability_White_Paper_0.pdf (Consultée le 22 mars 2013).

- [36] AWS, *What is Cloud Computing ?*, amazon web services [En ligne].
<http://aws.amazon.com/what-is-cloud-computing/> (Page consultée le 22 mars 2013).
- [37] Newegg, *Mushkin Enhanced Prospector 2GB USB 2.0 Flash Drive Model MKNUF DPR2GB*, Newegg [En ligne].
<http://www.newegg.ca/Product/Product.aspx?Item=N82E16820226213> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [38] Royal Pingdom, *Cloud storage shoot-out : Google Drive vs. Dropbox vs. SkyDrive vs. Box*, Royal Pingdom blog [En ligne].
<http://royal.pingdom.com/2012/06/21/cloud-storage-shoot-out-google-drive-vs-dropbox-vs-skydrive-vs-box-com/> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [39] Google, *Google Drive*, Google [En ligne].
https://www.google.com/intl/en_GB/drive/start/index.html (Page consultée le 19 avril 2013).
- [40] Smarthomeusa, *Z-Wave Information*, [En ligne].
<http://www.smarthomeusa.com/info/Z-Wave> (Page consultée le 23 mars 2013).
- [41] Smarthomeusa, *Z-Wave Puce*, [En ligne].
<http://www.smarthome.com/86552/Leviton-CTZUS-1US-ControlThink-ThinkStick-Z-Wave-USB-Adapter/p.aspx> (Page consultée le 23 mars 2013).
- [42] old house web, *Life expectancy*, [En ligne].
<http://www.oldhouseweb.com/how-to-advice/life-expectancy.shtml> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [43] Zwave world, *Z-Wave Security*, [En ligne].
<http://zwaveworld.com/forum/lofiversion/index.php?t133.html> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [44] Bluetooth, *Advice and how-to*, [En ligne].
<http://www.bluetooth.com/Pages/FAQ.aspx> (Page consultée le 23 mars 2013).
- [45] Parallax, *RN-42 Bluetooth Module*, [En ligne].
<http://www.parallax.com/Store/Accessories/CommunicationRF/tabid/161/ProductID/890/List/0/Default.aspx?SortField=ProductName,ProductName> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [46] How stuff works, *How bluetooth works*, [En ligne].
<http://www.howstuffworks.com/bluetooth4.htm> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [47] Chicago BBB, *Bluebugging*, [En ligne].
<http://chicago.bbb.org/article/bluebugging-on-the-rise-as-bluetooth-usage-increases-41303> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [48] Parallax, *RN-42 Bluetooth Datasheet*, [PDF en ligne].
<http://www.parallax.com/Portals/0/Downloads/docs/prod/rf/30086-RN-42-Bluetooth-Module-Guide-v1.0.pdf> (Page consultée le 19 avril 2013).

- [49] Microchip, *RN-42 Class 2 Datasheet*, [PDF en ligne].
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/rn-42-ds-v2.32r.pdf>
(Page consultée le 19 avril 2013).
- [50] Zigbee Alliance, *Spécifications*, [En ligne].
<http://www.zigbee.org/Specifications.aspx> (Page consultée le 23 mars 2013).
- [51] Glyn store, *ETRX2 USB stick*, [En ligne].
<http://www.glynstore.com/products/Telegesis-ETRX2-Zigbee-USB-Stick.html>
(Page consultée le 23 mars 2013).
- [52] Zig Bee, *Zig Bee Security*, [En ligne].
<http://docs.zigbee.org/zigbee-docs/dcn/09-5378.pdf> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [53] Adata-Group, *Warranty information*, [En ligne].
http://www.adata-group.com/?action=ss_main&page=ss_prowar&lan=en (Page consultée le 19 avril 2013).
- [54] Computerhope, *Command line vs. GUI*, [En ligne].
<http://www.computerhope.com/issues/ch000619.htm> (Page consultée le 18 mars 2013).
- [55] Webopedia, *Graphical user interface*, [En ligne].
http://www.webopedia.com/TERM/G/Graphical_User_Interface_GUI.html (Page consultée le 18 mars 2013).
- [56] The Linux Information Project, *Window Definition*, [En ligne].
www.linfo.org/window.html (Page consultée le 27 mars 2013).
- [57] Webcitation, *Web site* [En ligne].
<http://www.webcitation.org/6EV535JZ1> (Page consultée le 20 mars 2013).
- [58] Cobra, *Power inverter*, [En ligne].
<https://cobra.com/category/power-inverters.cfm> (Page consultée le 27 mars 2013).
- [59] MIT Electric Vehicle Team, *A Guide to Understanding Battery Specifications*, [En ligne].
http://mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf (Page consultée le 25 mars 2013).
- [60] Natural Resources Canada, *Uninterruptible power supplies*, [En ligne].
<http://oee.nrcan.gc.ca/industrial/equipment/ups/10201> (Page consultée le 25 mars 2013).
- [61] Duracell, *Duralock*, [En ligne].
<http://www.duracell.com/en-US/company/Duralock.aspx> (Page consultée le 28 mars 2013).
- [62] Bruce Schneier, *Changing Passwords*, Schneier on Security [En ligne].
https://www.schneier.com/blog/archives/2010/11/changing_passwo.html (Page consultée le 22 mars 2013).

- [63] Mathias Van Malderen , *C Password Program*, Daniweb [En ligne].
<http://www.daniweb.com/software-development/c/code/217404/c-password-program> (Page consultée le 23 avril 2013).
- [64] T. Dierks, *The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.2*, [En ligne].
<https://tools.ietf.org/html/rfc5246> (Page consultée le 22 mars 2013).
- [65] Ariel Gilbert-Knight, Carlos Bergfeld and Adam Chapman, *Introduction to Transport Layer Security* , Techsoup [En ligne].
<http://www.techsoup.org/support/articles-and-how-tos/introduction-to-transport-layer-security> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [66] Namecheap, *Comodo SSL Certificates*, Namecheap [En ligne].
<https://www.namecheap.com/ssl-certificates/comodo/positivessl-certificate.aspx> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [67] OpenSSH, *OpenSSH 6.2*, [En ligne].
<http://www.openssh.org/> (Page consultée le 22 mars 2013).
- [68] Langage de programmation les plus utilisés, *Indice TIOBE* [En ligne].
<http://www.tiobe.com/index.php/content/paperinfo/tpci/index.html> (Page consultée le 17 avril 2013).
- [69] classement des langages pour PLC, *IEEE Xplore* [En ligne].
http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=616317&tag=1 (Page consultée le 17 avril 2013).
- [70] La cité Verte, *Citerne Verte 6 m³ standard* [En ligne].
<http://www.la-citerne-verte.com/> (Page consultée le 17 avril 2013).
- [71] La cité Verte, *Foire aux questions* [En ligne].
http://www.la-citerne-verte.com/structure__20_faq_.html (Page consultée le 19 avril 2013).
- [72] consoGlobe, *Zooms produit verts* [En ligne].
<http://www.consoglobe.com/citernes-souples-les-recuperateurs-deau-alternatifs-cg> (Page consultée le 17 avril 2013).
- [73] Maison, *Le récupérateur d'eau* [En ligne].
<http://www.maison.com/jardin/outillage/recuperateur-eau-pour-maitrise-consommation-6184/> (Page consultée le 17 avril 2013).
- [74] Developpementdurable, *Récupérateur d'eau de pluie* [En ligne].
<http://www.developpementdurable.com/technologie/2013/01/A6554/recuperation-deau-de-pluie-les-citernes-souples-made-in-france.html> (Page consultée le 17 avril 2013).
- [75] Forum Piscine, *Réaliser une hivernage passif* [En ligne].
http://www.forumpiscine.com/guides/voir-gid_10,hivernage_passif.php (Page consultée le 19 avril 2013).
- [76] Robotshop *Dimensions boîtier aluminium* [En ligne].

- <http://www.robotshop.com/ca/boite-projets-aluminium-110-65-21mm.html>
(Page consultée le 19 avril 2013).
- [77] Atmel *Logiciel Atmel Studio* [En ligne].
http://www.atmel.com/microsite/atmel_studio6/ (Page consultée le 19 avril 2013).
- [78] Poids microcontrôleur *Farnell.com* [En ligne].
<http://fr.farnell.com/atmel/at32uc3a0128-alut/mcu-32bit-128k-flash-uc3a-1441qfp/dp/1841633> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [79] Atmel *Logiciel Atmel Studio* [En ligne].
http://www.atmel.com/microsite/atmel_studio6/ (Page consultée le 19 avril 2013).
- [80] Robotshop *Prix de divers boîtiers* [En ligne].
<http://www.robotshop.com/ca/boite-projets-aluminium-110-65-21mm.html>
(Page consultée le 19 avril 2013).
- [81] Microcontrôleur *Caracteristiques température, p73* [Pdf].
<http://www.atmel.com/Images/32072s.pdf> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [82] Garantie Atmel *Atmel warranty* [En ligne].
http://www.atmel.com/about/terms.aspx#body_4 (Page consultée le 19 avril 2013)
- [83] Rona *Boyau d'arrosage 100 pieds* [En ligne].
<http://www.rona.ca/fr/boyau-darrosage-100-pi-79715054> (Page consultée le 20 avril 2013)
- [84] Home Depot *Bac pour tuyau d'arrosage* [En ligne].
<http://www.homedepot.ca/produit/bac-pour-tuyau-d146arrosage-fairfield/990191> (Page consultée le 20 avril 2013)
- [85] Chausson Matériaux *Tuyau arrosage tricoté* [En ligne].
http://www.chausson-materiaux.fr/Produits/Amenagement-exterieur/Arrosage/Tuyaux/Tuyau-arrosage-tricote-Technoflex-6010_1 (Page consultée le 20 avril 2013)
- [86] Home Depot *Arrosoir oscillant Aquazoom* [En ligne].
<http://www.homedepot.ca/produit/arroseur-oscillant-145aquazoom-250-1146/910926> (Page consultée le 20 avril 2013)
- [87] Anti Bruit *Échelle de bruit* [En ligne].
<http://www.antibruit.org/echelle.htm> (Page consultée le 20 avril 2013)
- [88] Home Depot *Specifications pompe WAYNE* [En ligne].
<http://www.homedepot.com/p/Wayne-1-2-HP-Cast-Iron-Portable-Transfer-Utility-Pump-PC4/100067909?N=bqja#.UXbUTLVWz39> (Page consultée le 17 avril 2013)
- [89] Acheter-piscine *Critères comparaison des pompes* [En ligne].
<http://www.acheter-piscine.com/entretien-piscine/comparatif-8-pompes-autoamorçantes-a-la-loupe/criteres-de-comparaison.html> (Page consultée le 17 avril 2013)

- [90] Home Depot *Garantie* [En ligne].
<http://www.homedepot.com/catalog/pdfImages/b5/b5083633-99ff-46c8-a408-e9abcd76d8c8.pdf> (Page consultée le 17 avril 2013)
- [91] Home Depot *Garantie* [En ligne].
<http://www.homedepot.com/p/Wayne-1-2-HP-Cast-Iron-Portable-Transfer-Utility-Pump-PC4/100067909?N=bqja#.UW8skrVWxaQ> (Page consultée le 17 avril 2013)
- [92] Irrigation Depot *Boutique* [En ligne].
<http://www.irrigationdepot.ca/boutique/accueil> (Page consultée le 17 avril 2013)
- [93] Comprendre choirsir, *Récupération eau de pluie* [En ligne].
<http://recuperation-eau-pluie.comprendrechoisir.com/comprendre/cuve-polyethylene> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [94] BARR, *Plastic tanks* [En ligne].
http://www.barrplastics.com/CSA-APPROVED-NORWESCO-br-BRUISER-TANKS_p_1254.html (Page consultée le 18 avril 2013).
- [95] GGingras Excavation, *Liste de prix 2012* [En ligne].
<http://www.ggingrasexcavation.com/prix.html> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [96] Dimensions Visual KV, *Télécharger zip et suivre le chemin : vkv nf.zip/v kv inst ch00 2/page 1-23* [Fichier Zip téléchargeable].
http://fr.keyence.ca/dwn/vkv_nf.zip (Page consultée le 19 avril 2013).
- [97] Langage de programmation, *Visual KV product overview* [En ligne].
<http://www.keyence.ca/products/plc/plc/vkv/vkv.php> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [98] Poids Visual KV, *Télécharger zip et suivre le chemin : vkv nf.zip/v kv inst ch10 index/page 1-388* [Fichier Zip téléchargeable].
http://fr.keyence.ca/dwn/vkv_nf.zip (Page consultée le 19 avril 2013).
- [99] Prix Visual KV, *Alexis Brien (Directeur des ventes Est du Québec Keyence), communication personnelle* [Email].
(Date de communication : le 19 avril 2013).
- [100] Robustesse visual KV, *Keyence.ca* [En ligne].
http://www.keyence.ca/products/plc/plc/vkv/vkv_specifications_1.php (Page consultée le 19 avril 2013).
- [101] Duree de vie, *Sais Burgess* [En ligne].
http://www.sbc-support.ch/ti/26-539_fr_br_about-us.pdf (Page consultée le 19 avril 2013).
- [102] Installation Visual KV, *Télécharger zip et suivre le chemin : vkv nf.zip/v kv inst ch00 2/page 1-65* [Fichier Zip téléchargeable].
http://fr.keyence.ca/products/plc/plc/vkv/vkv_specifications_1.php (Page consultée le 19 avril 2013).

- [103] Entretien Visual KV, *Télécharger zip et suivre le chemin : vkv nf.zip/v kv inst ch00 2/page 1-78* [Fichier Zip téléchargeable].
http://fr.keyence.ca/dwn/vkv_nf.zip (Page consultée le 19 avril 2013).
- [104] Keyence, *Keyence Warranty* [En ligne].
<http://www.keyence.com/privacy/conditions.php> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [105] Gardena, *Irrigation* [PDF en ligne].
www.gardena.com/brochure/.../Gardena/.../Irrigation_2page_FR.pdf (Page consultée le 19 avril 2013).
- [106] Red Lion Products *Specifications* [En ligne].
http://www.redlionproducts.com/v4/pdfs/spec/Cast_Iron_Sump_Pumps_996236.pdf
(Page consultée le 17 avril 2013)
- [107] CUVAO *Détails de produits* [En ligne].
<http://www.cuvao.com/a-30-id=288-pompe-immeree-inox-ksb.html> (Page consultée le 17 avril 2013)
- [108] Red Lion Products *Garantie* [En ligne].
<http://www.redlionproducts.com/v4/warranty.htm> (Page consultée le 17 avril 2013)
- [109] Sump pumps direct *Site de vente* [En ligne].
<http://www.sumpumpsdirect.com/Red-Lion-RL-SC50V-Sump-Pump/p7595.html>
(Page consultée le 17 avril 2013)
- [110] Nachi *Life expectancy* [En ligne].
<http://www.nachi.org/life-expectancy.htm> (Page consultée le 17 avril 2013)
- [111] Le jardin de Catherine *Arrosoir tuyau* [En ligne].
<http://www.le-jardin-de-catherine.com/outillage-jardin/arrosage/arrosage-tuyau.html> (Page consultée le 17 avril 2013)
- [112] Devis Pro, *Prix dalles de béton* [En ligne].
<http://www.devispro.com/amenagement-habitat/Prix-au-metre-carre-des-travaux-de-dalles-et-chapes.php> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [113] Éco Énergie, *Circeo Partner* [En ligne].
<http://www.ecoenergies-cluster.fr/index.php?id=1107> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [114] La Rénovation, *Couler un plancher de béton* [En ligne].
<http://www.larenovation.ca/renover/planchers/plancher-beton.html> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [115] Les Matériaux, *Réservoir Murdeau* [En ligne].
<http://www.lesmatériaux.fr/P-123-138-A1-2592-mur-d-eau.html> (Page consultée le 19 avril 2013).

- [116] Ordinateurs *Statistiques Canada* [En ligne].
<http://www.statcan.gc.ca/daily-quotidien/110525/dq110525b-fra.htm> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [117] Langage de programmation [En ligne].
(Page consultée le 19 avril 2013).
- [118] Prix ordinateur *NDP group* [En ligne].
<http://www.zdnet.fr/actualites/prix-moyen-de-vente-d-un-mac-1400-dollars-701-dollars-pour-un-pc-39702926.htm> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [119] Prix ordinateur *NDP group* [En ligne].
<http://www.zdnet.fr/actualites/prix-moyen-de-vente-d-un-mac-1400-dollars-701-dollars-pour-un-pc-39702926.htm> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [120] Comment installer une application *microsoft.com* [En ligne].
<http://windows.microsoft.com/fr-CA/windows-8/install-apps#1TC=t1> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [121] Comment Entretenir un ordinateur *Easytutoriel.com* [En ligne].
<http://www.easytutoriel.com/comment-nettoyer-ordinateur-poussiere/> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [122] Rain Bird, *Dripline* [PDF en ligne].
<http://www.rainbird.com/landscape/products/dripline/XFS.htm> (Page consultée le 19 avril 2013).
- [123] GDS services, *Épandage des eaux* [PDF en ligne].
<http://www.gds-services-61.com/eaux-epandage.php> (Page consultée le 20 avril 2013).
- [124] GDS services, *Épandage des eaux* [PDF en ligne].
<http://www.gds-services-61.com/eaux-epandage.php> (Page consultée le 20 avril 2013).
- [125] Pompes Direct *Fiche technique* [En ligne].
http://www.pompes-direct.com/upload/pdfDescriptif_4454.pdf (Page consultée le 17 avril 2013)
- [126] vakuum-bohemia *Fiches techniques* [En ligne].
<http://www.vakuum-bohemia.cz/compressors.php> (Page consultée le 17 avril 2013)
- [127] JETFLY *Conditions generales* [En ligne].
<http://www.jetly.fr/vdoc/resource/filecenter/document/042-00000r-0jp/conditions-generales-de-ventes> (Page consultée le 17 avril 2013)
- [128] Futura-Sciences *Forum* [En ligne].
<http://forums.futura-sciences.com/bricolage-decoration/447456-duree-de-vie-pompe-de-relevage.html> (Page consultée le 17 avril 2013)
- [129] Mamrot *Règlement sur le sécurité des piscines résidentielles* [En ligne].
http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/grands_dossiers/piscines/reglement_securite_piscines_residentielles.pdf (Page consultée le 21 avril 2013).

- [130] Online Conversion *Amp Hours to Kwh* [En ligne].
<http://forum.onlineconversion.com/showthread.php?t=7152> (Page consultée le 21 avril 2013).
- [131] Oregon *Battery Life Calculator* [En ligne].
<http://oregonembedded.com/batterycalc.htm> (Page consultée le 21 avril 2013).
- [132] Project Management *Project Cost Estimating* [En ligne].
<http://www.project-management-skills.com/project-cost-estimating.html>
(Page consultée le 21 avril 2013).
- [133] Type pad *Étude sur la durée de vie* [En ligne].
<http://ademe.typepad.fr/files/dur%C3%A9e-de-vie-des-eee.pdf> (Page consultée le 21 avril 2013).
- [134] Réseau Maroc *Interface ligne de commande* [En ligne].
<http://www.reseamaroc.com/files/Interface%20de%20ligne%20de%20commande%20et%20modes%20sous%20Cisco%205.pdf> (Page consultée le 23 avril 2013).
- [135] Linternaute *Définition composants* [En ligne].
<http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/composant/> (Page consultée le 23 avril 2013).
<http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/composant/>
- [136] Duracell, *DX1500*, [En ligne].
http://professional.duracell.com/downloads/datasheets/product/RechargeableCells/Rechargeable-Cells_Rechargeable_AA.pdf (Page consultée le 26 mars 2013).
- [137] Canadian Tire, *Duracell Pre-charged AA4 Batteries*, [En ligne].
<http://www.canadiantire.ca/AST/browse/3/HouseHome/HouseholdBatteries/ChargersAccessories/PRD-0650667P/Duracell+Pre-charged+AA4+Batteries.jsp?locale=en> (Page consultée de 26 mars 2013).
- [138] Atmel Corporation, *8-bit AVR Microcontroller with 32KBytes In-System Programmable Flash*, [En ligne].
<http://www.cs.ubbcluj.ro/~alibal/Teaching/Microcontrollers/atmega32.pdf>
(Page consultée le 26 mars 2013).
- [139] Central Intelligence Agency, *The World Factbook*, [En ligne].
<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2153rank.html> (Page consultée le 26 mars 2013).
- [140] Newegg, *OPTI-UPS Clever Series CS385B 385 VA 190 Watts 4 Outlets UPS*, [En ligne].
<http://www.newegg.ca/Product/Product.aspx?Item=N82E16842107011> (Page consultée le 26 mars 2013).
- [141] OPTI-UPS, *Clever Series CS385B/ CS530B/ CS730B*, [En ligne].
<http://www.opti-ups.com/FilesUpload%5CeM97462105%5C03.%20CS385BCS530BCS730B.pdf>

- [142] IMO, *iSmart Intelligent Relays (V3)*, [En ligne].
<http://www.imopc.com/technical/ismartv3.pdf> (Page consultée le 26 mars 2013).
- [143] Oregon Embedded Development, *Battery Life Calculator*, [En ligne].
oregonembedded.com/batterycalc.htm (page consultée le 23 avril 2013).
- [144] dotLaunch, *Web Development Estimate*, [En ligne].
<http://www.dotlaunch.com/development/webestimate.shtml> (Page consultée le 23 avril 2013).
- [145] Programmers, *How should I determine my rates for writing custom software ?*, [En ligne].
<http://programmers.stackexchange.com/questions/95946/how-should-i-determine-my-rates-for-writing-custom-software> (Page consultée le 23 avril 2013).