



# 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 17 — CYCLEENGINEERING

<i>matricule</i>	<i>nom</i>	<i>signature</i>
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]



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	Ajustement de la mise en page, adaptation des chapitres d'introduction et de description.
1	1 Mars 2013	Ajout du chapitre 3 et 4.
2	29 Mars 2013	Ajout du chapitre 5.
Finale	26 Avril 2013	Ajout du chapitre 6 et 7; finalisation du rapport.

# Table des matières



<b>Table des figures</b>	<b>iv</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>v</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2 Description</b>	<b>2</b>
<b>3 Besoins et objectifs</b>	<b>3</b>
3.1 Analyse des besoins . . . . .	3
3.2 Analyse des objectifs . . . . .	4
3.3 Hiérarchisation des objectifs . . . . .	4
<b>4 Cahier des charges</b>	<b>6</b>
4.1 Automatisation du système . . . . .	6
4.1.1 Facilité de l'utilisation de l'interface . . . . .	6
4.1.2 Facilité de l'accès à distance . . . . .	6
4.1.3 Durée de la conservation des données . . . . .	7
4.1.4 Fiabilité du système lors de pannes électriques . . . . .	7
4.2 Entretien et installation . . . . .	7
4.2.1 Disponibilité des pièces . . . . .	8
4.2.2 Facilité de la mise en marche et de l'arrêt . . . . .	8
4.2.3 Facilité de la manipulation des pièces . . . . .	8
4.2.4 Fréquence de l'entretien du système . . . . .	8
4.3 Captation, stockage et distribution . . . . .	9
4.3.1 Sécurité du réservoir . . . . .	9
4.3.2 Capacité de stockage . . . . .	9
4.3.3 Répartition de l'eau . . . . .	9
4.4 Réduction des coûts . . . . .	10
4.4.1 Coûts de fabrication . . . . .	10
4.4.2 Coûts d'installation . . . . .	10
4.4.3 Coûts d'entretien et d'opération . . . . .	11
4.5 Impacts visuels et sonores . . . . .	11

## TABLE DES MATIÈRES

ii

4.5.1	Pollution sonore . . . . .	11
4.5.2	Apparence du système . . . . .	11
4.5.3	Volume visible du système . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Conceptualisation et analyse de faisabilité</b>	<b>14</b>
5.1	Diagramme fonctionnel . . . . .	15
5.2	Conceptualisation des solutions . . . . .	15
5.2.1	Stockage des données . . . . .	15
5.2.1.1	Disque dur . . . . .	15
5.2.1.2	SSD (Solid State Drive) . . . . .	16
5.2.1.3	Stockage à distance (Cloud) . . . . .	16
5.2.1.4	Carte SD (Secure Digital) . . . . .	17
5.2.2	Traitemennt des données . . . . .	17
5.2.2.1	Intel Kit DCCP847DYE . . . . .	18
5.2.2.2	Raspberry Pi - Modèle B . . . . .	18
5.2.2.3	Cloud computing . . . . .	19
5.2.2.4	Tablette Android . . . . .	19
5.2.3	Distribution de l'eau . . . . .	20
5.2.3.1	Pompe de surface . . . . .	20
5.2.3.2	Pompe immergée . . . . .	21
5.2.3.3	Motopompe . . . . .	21
5.2.4	Interface locale . . . . .	22
5.2.4.1	V-Panel . . . . .	22
5.2.4.2	Langage Java . . . . .	23
5.2.4.3	Altia design . . . . .	23
5.2.4.4	Qt (framework) . . . . .	24
5.2.5	Accès à l'interface à distance . . . . .	24
5.2.5.1	Application Splashtop 2 . . . . .	25
5.2.5.2	Loxone - Interface web . . . . .	25
5.2.5.3	Crestron - Application . . . . .	26
5.2.6	Filtration de l'eau . . . . .	26
5.2.6.1	Citerne à gravier et charbon actif . . . . .	27
5.2.6.2	Stérilisateur UV avec panier de filtration . . . . .	27
5.2.6.3	Filtre céramique . . . . .	28
5.2.7	Analyse de l'humidité du terrain . . . . .	29
5.2.7.1	HOBOnode . . . . .	29
5.2.7.2	Koubachi . . . . .	30
5.2.7.3	Toro Xtra Smart Soil Moisture Sensor . . . . .	30
5.2.8	Stockage de l'eau . . . . .	31
5.2.8.1	Réservoir souterrain en polymère . . . . .	31
5.2.8.2	Réservoir hors-terre en polymère . . . . .	32
5.2.8.3	Citerne de béton souterraine . . . . .	32

## TABLE DES MATIÈRES

iii

<b>6 Étude préliminaire</b>	<b>34</b>
6.1 Plan de développement . . . . .	34
6.2 Élaboration et évaluation des concepts de solution . . . . .	36
6.2.1 Concept #1 : Économique . . . . .	36
6.2.1.1 Automatisation du système . . . . .	36
6.2.1.2 Entretien et installation . . . . .	37
6.2.1.3 Captation, stockage et distribution . . . . .	38
6.2.1.4 Réduction des coûts . . . . .	38
6.2.1.5 Impacts visuels et sonores . . . . .	39
6.2.2 Concept #2 : Performance . . . . .	40
6.2.2.1 Automatisation du système . . . . .	40
6.2.2.2 Entretien et installation . . . . .	41
6.2.2.3 Captation, stockage et distribution . . . . .	41
6.2.2.4 Réduction des coûts . . . . .	42
6.2.2.5 Impacts visuels et sonores . . . . .	43
6.2.3 Concept #3 : Esthétisme . . . . .	43
6.2.3.1 Automatisation du système . . . . .	43
6.2.3.2 Entretien et installation . . . . .	44
6.2.3.3 Captation, stockage et distribution . . . . .	45
6.2.3.4 Réduction des coûts . . . . .	45
6.2.3.5 Impacts visuels et sonores . . . . .	46
6.3 Synthèse des résultats . . . . .	47
<b>7 Concept retenu</b>	<b>48</b>
7.1 Matrice de décision . . . . .	48
7.2 Analyse de la matrice décisionnelle . . . . .	48
7.3 Description du concept retenu . . . . .	49
7.3.1 Interface homme-machine . . . . .	50
7.3.2 Gestion des données . . . . .	50
7.3.3 Captation, stockage et distribution . . . . .	51
7.4 Conclusion . . . . .	51
<b>Bibliographie</b>	<b>53</b>
<b>A Liste des sigles et des acronymes</b>	<b>59</b>

# Table des figures

3.1	Organigramme des objectifs du projet Pluvi-Tech . . . . .	5
4.1	Maison de la qualité . . . . .	13
5.1	Diagramme fonctionnel . . . . .	14
7.1	Diagramme physique . . . . .	52

# Liste des tableaux

4.1	Tableau du cahier des charges . . . . .	12
5.1	Synthèse des concepts pour le stockage des données . . . . .	17
5.2	Synthèse des concepts pour le traitement des données . . . . .	20
5.3	Synthèse des concepts pour la distribution de l'eau . . . . .	22
5.4	Synthèse des concepts pour l'interface locale . . . . .	24
5.5	Synthèse des concepts pour l'accès à l'interface à distance . . . . .	26
5.6	Synthèse des concepts pour la filtration de l'eau . . . . .	29
5.7	Synthèse des concepts pour l'analyse de l'humidité du terrain . . . . .	31
5.8	Synthèse des concepts pour le stockage de l'eau . . . . .	33
6.1	Plan d'étude pour les différents critères . . . . .	34
6.2	Les trois concepts pour le projet Pulvi-Tech . . . . .	36
6.3	Disponibilité des pièces du concept #1 . . . . .	37
6.4	Disponibilité des pièces du concept #2 . . . . .	41
6.5	Disponibilité des pièces du concept #3 . . . . .	44
6.6	Synthèse des résultats . . . . .	47
7.1	Matrice décisionnelle . . . . .	49



# Chapitre 1

## Introduction



Actuellement, le Québec est l'une des provinces consommant le plus d'eau au Canada. En fait, les Québécois sont les troisièmes plus grands consommateurs d'eau au pays. Considérant le fait que le Québec possède 3% de la réserve d'eau mondiale et que l'eau n'est pas une ressource inépuisable, les Québécois ont la responsabilité de diminuer leur consommation d'eau. Le secteur résidentiel est celui qui est le plus problématique puisqu'il est responsable de 57,4% de la consommation d'eau totale.

Afin d'aider à réduire la consommation domestique d'eau, la firme Cyclengineering a été engagée pour réaliser le projet de Pluvi-Tech, soit un système automatisé de récupération et de distribution de l'eau de pluie. Puisque les systèmes similaires présentement disponibles au Québec ont une faible capacité d'automatisation, c'est un des principaux objectifs de ce projet.

Plus précisément, celui-ci vise à diminuer la consommation d'eau domestique extérieure. Ce document permet de déterminer la meilleure solution en présentant les objectifs et les besoins du projet, un cahier des charges, différents concepts de solutions et finalement le concept global retenu pour le projet Pluvi-Tech suite à une évaluation.



## Chapitre 2



### Description



L'équipe d'ingénieurs de Cyclengineering a été mandatée afin de concevoir une version préliminaire d'un système automatisé de récupération d'eau de pluie. Ce système, conçu pour un foyer unifamilial de la région de la ville de Québec, doit permettre de récupérer l'eau de façon efficace et réduire au maximum le gaspillage de celle-ci. Ce dernier doit être en mesure, au cours de la période estivale, de capter et de stocker l'eau de pluie afin de la redistribuer ultérieurement de plusieurs façons. Une première utilisation est de fournir de l'eau pour l'arrosage régulier de la végétation sur la propriété. Le système peut, de manière automatique et intelligente, répartir une partie de l'eau récoltée sur la pelouse et les végétaux en tenant compte, entre autres, des conditions météorologiques présentes et futures. Le concept doit aussi prévoir l'utilisation spontanée de l'eau récupérée afin de répondre à des besoins ponctuels. La partie automatisée doit inclure une interface de programmation du système, la possibilité d'accéder à celle-ci à distance, et permettre la remise du contrôle à une tierce personne pour une durée déterminée. Pour des fins de vérification et d'analyse, le système est en mesure d'archiver les données d'utilisation et de produire des rapports de consommation de l'eau. Cyclengineering doit donc proposer un système fiable, performant, peu coûteux et possédant un impact minime sur l'espace occupé ainsi que sur la pollution visuelle et sonore.

# Chapitre 3

## Besoins et objectifs

### 3.1 Analyse des besoins

Dans le but de mieux cerner les objectifs du projet Pluvi-Tech, 5 besoins principaux ont été identifiés. Tout d'abord, le système doit être automatisé. Les systèmes de récupération d'eau actuellement disponibles ont de très faibles capacités d'autonomie, donc c'est une lacune qui doit absolument être comblée. Le système doit être équipé d'une interface permettant de configurer et contrôler celui-ci. Elle doit aussi être en mesure d'afficher l'état du système et permettre le contrôle manuel ou automatique de l'arrosage. On doit aussi pouvoir accéder au système à distance et être capable de remettre le contrôle du dispositif à une tierce personne pour une période provisoire. Il faut également archiver les données pour une période minimale de cinq ans tout en produisant des rapports de consommation d'eau de pluie et d'appoint. Lors d'une panne électrique, on doit être capable de garder le système en marche pour une période minimale de 20 minutes tout en gardant l'accès à distance fonctionnel.

Ensuite, l'entretien et l'installation doivent être faciles. Il doit être facile de mettre en marche le système au début de la saison ainsi que lors de l'arrêt pour l'hiver. Deux personnes doivent être capables de manipuler les pièces non enfouies. Il faut favoriser la disponibilité des pièces de remplacement et prévenir les problèmes de gel.

De plus, les coûts de fabrication, d'installation, d'entretien et d'opération doivent être pris en compte dans le but de minimiser ceux-ci.

Aussi, le système doit être évidemment en mesure de capter, de stocker et de distribuer l'eau efficacement. Les réservoirs doivent être capables de stocker 25% de l'eau captée en un mois. On doit pouvoir répondre au besoin de l'arrosage régulier durant un mois sans approvisionnement tout en limitant l'espace occupé par les réservoirs. Le système doit récupérer le plus d'eau possible en limitant l'utilisation de l'aqueduc comme source d'appoint. On doit subvenir à l'arrosage régulier de la pelouse et des plantes ainsi qu'aux besoins ponctuels, tels le remplissage de la piscine et le nettoyage. La sécurité des réservoirs doit aussi être optimale.

Finalement, l'impact visuel et sonore du système doit être minimal. On devra privilégier les équipements discrets pour limiter le bruit et intégrer de façons discrète les éléments du système à l'environnement.

## 3.2 Analyse des objectifs

En analysant les besoins du projet Pluvi-tech, plusieurs objectifs deviennent évidents. Ils sont divisés en cinq grandes parties, elles-mêmes divisées en sous-objectifs.

1. Automatiser le système
  - Minimiser les interventions humaines.
  - Faciliter le contrôle du système par une interface.
  - Assurer l'accès à distance.
  - Maximiser l'archivage des données.
  - Assurer la fiabilité du système lors de pannes électriques.
2. Faciliter l'entretien et l'installation
  - Assurer l'accessibilité les pièces de rechange.
  - Faciliter la mise en marche et l'arrêt du système.
  - Faciliter la manipulation des pièces non enfouies.
  - Faciliter le nettoyage du système.
3. Capter, stocker et distribuer
  - Assurer la sécurité du réservoir.
  - Maximiser la captation de l'eau.
  - Maximiser la capacité de stockage.
  - Permettre l'utilisation de l'aqueduc comme source d'appoint.
  - Optimiser la répartition de l'eau.
4. Réduire les coûts
  - Minimiser les coûts d'installation.
  - Minimiser les coûts de fabrication.
  - Minimiser les coûts d'entretien.
  - Minimiser les coûts d'opération.
5. Minimiser les impacts visuels et sonores
  - Maximiser la robustesse aux nuisances sonores.
  - Modérer l'apparence de la pompe de gestion.
  - Optimiser l'emplacement des appareils.
  - Minimiser le volume visible du système.

## 3.3 Hiérarchisation des objectifs

La figure 3.1 représente les différents objectifs appartenant à la conception du système. Les cinq objectifs principaux y apparaissent sur le dessus et leurs sous-objectifs les suivent juste dessous.

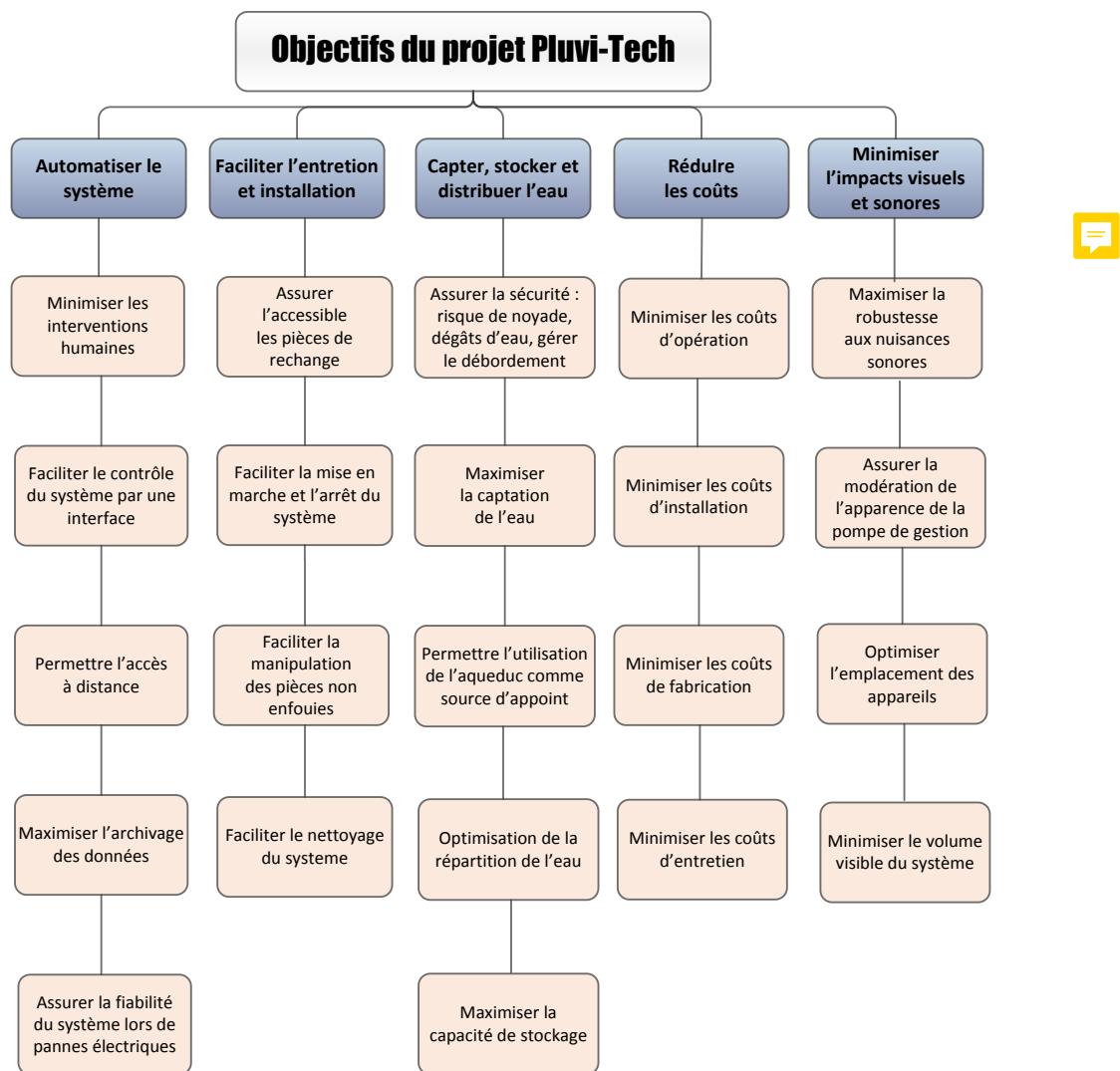


FIGURE 3.1 – Organigramme des objectifs du projet Pluvi-Tech

# Chapitre 4

## Cahier des charges

Cette section explique la procédure afin d'établir le cahier des charges et expose les différents barèmes de chaque objectif. De plus, un tableau synthèse du cahier des charges 4.1 et la maison de qualité 4.1 sont présentés à la fin de cette section.

### 4.1 Automatisation du système

L'automatisation est l'élément qui prendra le plus d'ampleur dans notre système, car c'est cet aspect qui le démarque des autres systèmes déjà implantés. C'est pourquoi on attribue à cet aspect une pondération de 25%.

#### 4.1.1 Facilité de l'utilisation de l'interface

Afin de simplifier le contrôle du système, l'interface qui permet de le contrôler doit être facile d'utilisation. L'apprentissage de l'interface doit être rapide. La simplicité de l'interface est importante pour faciliter le contrôle du système, c'est pourquoi une pondération de 7% lui est accordée. Ce critère est évalué de façon qualitative, donc une valeur variant de 0 à 1 est donnée en se basant sur les critères de Nilson-Molich notamment la visibilité du statut du système, la liberté de contrôle de l'utilisateur, la prévention des erreurs, la facilité d'utilisation etc. L'interface doit absolument être capable d'afficher l'état du système (eau accumulée, opérations en cours, pannes, etc.) et permettre de passer du mode automatique au mode manuel et vice versa. On doit aussi être en mesure de remettre l'accès de façon provisoire à une tierce personne. Sans ces trois éléments, l'interface devra être refusée.

#### 4.1.2 Facilité de l'accès à distance

Dans le but de rendre le contrôle du système convivial, il doit être possible de contrôler celui-ci à distance. L'accès à distance est une caractéristique importante qui permet au système d'être plus autonome. C'est pour cette raison qu'une pondération de 7% lui est associée. Ce critère sera évalué selon trois éléments principaux. Le système doit être fiable pour que

l'accès soit garanti en tout temps. De plus, la possibilité d'accéder au système à distance le rend vulnérable aux intrus. C'est pourquoi une protection maximale doit être assurée en tout temps. Finalement, la façon d'accéder au système doit être portable. L'appareil qui permet l'accès à distance doit être facile à transporter avec soi. Selon l'atteinte de ces trois critères, une note de 0 à 1 sera attribuée pour cet aspect.

### 4.1.3 Durée de la conservation des données

Dans un concept comme celui-ci, l'archivage des données peut s'avérer très utile et même essentiel. Avoir accès aux anciennes données peut aider à améliorer le processus des opérations du système afin d'optimiser le rendement et d'économiser sur les coûts d'opérations. L'utilisation de l'eau doit être monitorée, dans le but d'émettre un rapport sur le rendement. La conservation des archives dans ce cas devient alors essentielle. C'est pourquoi on lui attribue une pondération de 4%. Pour respecter les contraintes du client, toute solution qui implique la conservation des données pour une période de moins de cinq ans devra être retirée automatiquement. De plus, dix ans de conservation sont considérés comme un résultat optimal. Le barème est donc donné par l'équation suivante où  $m$  est le nombre de mois :

$$\frac{m - 60}{60} \quad \text{□}$$
 (4.1)

### 4.1.4 Fiabilité du système lors de pannes électriques

Les pannes électriques et les imprévus peuvent avoir une incidence directe sur l'entretien et les coûts d'opérations. Cela peut également dérégler le système automatisé. Afin de bien contrôler le système et de le rendre fiable, l'ensemble doit être en mesure de rester fonctionnel lors d'une panne électrique. La fiabilité du système a une pondération de 7%. Pour respecter la contrainte du client, le système se doit de rester fonctionnel pendant au moins 20 minutes lors d'une panne. Ensuite, il doit être capable de redémarrer automatiquement. Pour de longues périodes, il doit être en mesure d'arrêter les appareils de façon sécuritaire. De plus, une heure et plus d'autonomie lors d'une panne est un résultat optimal pour permettre la finition de l'arrosage quotidien prévu s'il y a lieu. Le barème est donc donné par l'équation suivante où  $t$  est le nombre de minutes qui suivent une panne avant l'arrêt du système :

$$\frac{\log(t - 19)}{\log(41)} \quad \text{□}$$
 (4.2)

## 4.2 Entretien et installation

La rapidité de l'installation et la facilité de l'entretien assurent une valeur additionnelle au produit, et constituent 25% de la pondération totale.

### 4.2.1 Disponibilité des pièces

L'accessibilité des pièces de rechange en cas de bris ou d'usure normale des composantes du système est primordiale. Cette section a une pondération de 6%. Le client demande de limiter le nombre de pièces afin d'éviter les bris. Le manquement d'une pièce peut limiter la portée d'action du système ou même le rendre inutilisable. C'est pourquoi un délai maximal de 10 jours et un délai minimum de 1 jour sont estimés pour l'obtention d'une pièce de rechange. Pour valider, la moyenne des délais sera utilisée. Ainsi, le critère est évalué par cette formule, où  $x$  est le nombre de jours avant l'obtention de la nouvelle pièce :

$$\frac{10 - x}{9} \quad (4.3)$$

### 4.2.2 Facilité de la mise en marche et de l'arrêt

Le système doit être d'une approche conviviale pour le futur utilisateur et la mise en marche ne doit pas faire exception de ce point. La mise en marche du système après un hiver rigoureux et la fermeture du système en septembre doivent se faire dans un délai raisonnable, ce volet a donc une pondération de 6%. La prévention du gel est un aspect très important à prendre en compte lors de l'arrêt du système. En effet, lors de la mise en hivernage du système, il importe d'assurer une vidange complète du réservoir afin d'éviter le gel qui serait susceptible d'occasionner toute fissure. Ainsi, le temps minimal de mise en marche ou de mise en arrêt est de 5 minutes, alors que le temps maximal est de trois heures. Ce critère est évalué par la formule suivante, où  $t$  correspond au temps en minutes afin de fermer ou activer le système :

$$\frac{180 - t}{175} \quad (4.4)$$

### 4.2.3 Facilité de la manipulation des pièces

Le client demande la possibilité de manipuler les pièces non enfouies par un maximum de deux personnes lorsque nécessaire. C'est pourquoi cette section a une pondération de 4%. À cet effet, la valeur maximale du poids de la composante la plus lourde transportable au besoin par 2 personnes, au moyen de courroies de transport, est fixée à 70kg, et une valeur minimale serait de 10kg. À cet effet, l'évaluation du critère serait calculée par cette formule, où  $x$  représente la masse de l'objet manipulable le plus lourd :

$$\frac{70 - x}{60} \quad (4.5)$$

### 4.2.4 Fréquence de l'entretien du système

Les procédures d'entretien périodiques assurent le bon fonctionnement du système. De plus, c'est un excellent indice qui évalue également le niveau d'automatisation car moins qu'il y a d'entretien, plus le système est considéré automatique. C'est pourquoi cette section a une pondération de 9%. Le nombre d'interventions mensuelles doit être limité au maximum à 4.

L'évaluation de ce critère serait calculé par l'équation suivante, où  $n$  représente le nombre d'interventions mensuelles :

$$\frac{4 - n}{4} \quad (4.6)$$

## 4.3 Captation, stockage et distribution

La captation et le stockage de l'eau sont une grande partie du projet afin d'assurer une bonne distribution de l'eau récoltée. Ce volet mérite donc une pondération de 20 %.

### 4.3.1 Sécurité du réservoir

Le client souhaite que ses installations restent sécuritaires pour son environnement et pour les gens qui l'entourent. Donc, il faut prévenir es risques de noyade près du réservoir et prévenir les débordements non contrôlés lors de fortes pluies. La pondération de la section est définie à 6%. Une valeur de 1 est attribuée si la sécurité est excellente, une valeur de 0,5 si la sécurité est forte et une valeur de 0 si la sécurité est faible.

### 4.3.2 Capacité de stockage

La capacité de stockage est celle qui va déterminer la quantité d'eau économisée. Elle doit pouvoir contenir au moins 25 % de l'eau de pluie captée durant un mois. De plus, le réservoir doit pouvoir stocker l'eau nécessaire pour subvenir aux besoins d'arrosage régulier sans alimentation d'appoint durant un mois en tenant compte des précipitations moyennes. Pour subvenir à tous ces besoins, le réservoir doit donc pouvoir contenir au minimum 2500 litres d'eau avec un maximum de 5000 litres. De plus, le client demande la possibilité de branchement au réseau aqueduc de la ville en cas de manque d'eau de pluie. La cuve se doit d'avoir une entrée conçue pour l'eau de l'aqueduc. La pondération de cette section est fixée à 8%. La formule qui évalue ce critère est la suivante, où  $v$  est le volume de la cuve :

$$\frac{\log(v - 2499)}{\log(2501)} \quad (4.7)$$

### 4.3.3 Répartition de l'eau

L'eau récoltée par le système doit pouvoir être bien répartie. Il faut que l'arrosage régulier de la pelouse et des plates-bandes soit assuré. De plus, l'arrosage ponctuel se doit d'être possible lorsque demandé. Les différentes sortes de plantes sont divisées en zones sur le terrain. Ces différentes zones ne sont pas arrosées en même temps, mais la bonne quantité d'eau est fournie à chacune. Tout cela est effectué grâce au système automatique. La pompe centrale se charge de la bonne répartition de l'eau et plus elle peut arroser une grande surface plus elle sera considérée puissante. Cette section a une pondération de 6%. La pelouse occupe une surface moyenne d'environ  $175\ m^2$ . La répartition de l'eau est évaluée comme suit : une pompe capable d'arroser une surface de  $700\ m^2$  et plus est considérée comme excellente, et

le minimum est de 200  $m^2$ . La formule suivante évalue ce critère, où  $s$  représente la surface à arroser :

$$\frac{s - 200}{500} \quad (4.8)$$

## 4.4 Réduction des coûts

Les coûts d'un tel projet influencent grandement sa viabilité. Ayant en perspective de clientèle une maison moyenne de la banlieue de Québec, il a été jugé important de prendre en compte et de quantifier les divers coûts impliqués dans le projet Pluvi-Tech. C'est pourquoi une pondération de 15% a été accordée à ceux-ci, malgré que le client n'ait pas spécifié le budget impliqué.

### 4.4.1 Coûts de fabrication

Le coût de fabrication représente la plus grande partie des dépenses du client lors de l'implantation du système. Une pondération de 4% y a donc été attribuée. L'emplacement, le choix et la qualité des matériaux et du réservoir retenus l'influencent. Celui-ci est déterminé par le prix du réservoir d'eau, de la pompe du système d'arrosage et du système de gestion automatisé. Par conséquent, le projet coûte au maximum 10 000\$ et au minimum 3000\$. Une note maximale est donc attribuée à un système coûtant 3000 dollars et moins et une note nulle pour un prix de 10 000 dollars et plus. Le barème est donné par, où  $c$  est le coût total :

$$\frac{10000 - c}{7000} \quad (4.9)$$

### 4.4.2 Coûts d'installation

Les coûts d'installation, déterminés par la complexité du système et sa zone d'opération, représentent 3% du coût total. Tous les équipements suggérés par Cyclengineering nécessitent une installation par des professionnels, car ils possèdent de variables conditions d'implantation. Le coût total des installations sera établi en tenant compte de la configuration du réservoir d'eau, de l'emplacement de celui-ci et de la pompe, ainsi que de la grandeur du terrain couvert par le système d'arrosage. Pour un système ayant une complexité d'implantation minimale, un coût d'environ 1000\$ est demandé et 5000\$ dans le cas d'un système plus complexe. Une cote de 0 à 1 est attribuée à chaque système proposé en fonction de ses frais d'installation. Voici le barème déterminant la cote, où  $c$  est le coût total :

$$\frac{5000 - c}{4000} \quad (4.10)$$

### 4.4.3 Coûts d'entretien et d'opération

Il faut aussi prévoir les frais engendrés par l'utilisation annuelle du système. Puisque cet aspect représente un coût répétitif au cours d'une grande période, une pondération de 8% lui a été attribuée. Un des éléments qui nécessitent absolument un remplacement ou un entretien à chaque année est le filtre à eau. Au moins un entretien annuel est donc primordial pour le bon fonctionnement du dispositif car il faut s'assurer que le système soit bien préparé pour l'hiver et que la qualité du système soit maintenue au cours des années. D'autres composantes du système sont aussi susceptibles d'engendrer des coûts d'opération telles que le système d'automatisation ou le réservoir d'eau. On établit qu'un système idéal ne demande pas de dépense annuelle d'entretien et opération, tandis qu'un système avec des coûts de plus de 500\$ par année serait la limite supérieure acceptable. Le barème établi est donc le suivant, où  $c$  est le coût total :

$$\frac{500 - c}{500} \quad (4.11)$$

## 4.5 Impacts visuels et sonores

L'impact visuel et sonore du projet n'est pas prioritaire, mais c'est à considérer. Alors une pondération de 15% lui est accordée.

### 4.5.1 Pollution sonore

Bien que les aspects écologiques, économiques et technologiques sont prioritaires, et comme ce système se rapporte essentiellement aux maisons unifamiliales moyennes, l'étude des impacts sonores n'est pas négligée. Pour cela, une part de 5% par rapport au projet sera attribuée pour la robustesse aux nuisances sonores. Toute mesure en dessous de 40 dB sera considérée comme excellente. La note suivante permet d'évaluer de manière rigoureuse la propriété par laquelle le bruit du système en action sera réduit au minimum, où  $x$  est le paramètre qui détermine la pression du son produit en décibels(dB) :

$$\frac{70 - x}{30} \quad (4.12)$$

### 4.5.2 Apparence du système

La forme esthétique n'est pas primordiale pour ce système, mais l'apparence des équipements mérite une certaine considération. Il est capital que la conception soit élaborée et disposée selon un plan contribuant entièrement au bon fonctionnement de ce système . Ainsi une pondération de 2% est consacrée pour valider cet aspect. Un barème est également fixé dans le but d'établir une note tangible à l'appréciation de l'emplacement et de l'apparence. une note de 0 correspond a nul, 0,25 est médiocre, 0,5 est moyen, très satisfaisant correspond à 0,75 et 1 est excellent.

### 4.5.3 Volume visible du système

Il est bien certain que parmi l'ensemble des caractéristiques du système d'économie d'eau potable, le volume est un des paramètres qui demande un calcul extrêmement rigoureux. Au niveau de l'impact visuel, il est optimal que le système occupe le moindrement d'espace possible. Par conséquent, une noble pondération de 8% est assignée particulièrement à ce caractère distinctif. La façon de faire en vue de parvenir à une note, qui a pour objet une estimation, est évaluée selon la formule suivante, où  $v$  est le volume visible de l'ensemble du système :

$$\frac{5 - v}{5} \quad (4.13)$$

TABLE 4.1 – Tableau du cahier des charges.

Critères d'évaluation	Pond.	Barème	Min	Max
<b>4.1 Automatisation du système</b>	25%			
4.1.1 Facilité de l'utilisation de l'interface	7%	Barème 4.1.1 $f \in [0,1]$		
4.1.2 Facilité de l'accès à distance	7%	Barème 4.1.2 $f \in [0,1]$		
4.1.3 Durée de la conservation des données	4%	$\frac{(m-60)}{60} m \in [60,120]$	60	
4.1.4 La fiabilité du système lors de pannes électriques	7%	$\frac{\log(t-19)}{\log(41)} t \in [20,60]$	20	
<b>4.2 Entretien et installation</b>	25%			
4.2.1 Disponibilité des pièces	6%	$\frac{(10-x)}{9} x \in [1,10]$		
4.2.2 Facilité de la mise en marche et de l'arrêt	6%	$\frac{(180-t)}{175} t \in [5,180]$		
4.2.3 Facilité de la manipulation des pièces	4%	$\frac{70-x}{60} x \in [10,70]$		
4.2.4 Fréquence de l'entretien	9%	$\frac{4-x}{4} x \in [0,4]$		2
<b>4.3 Captation, stockage et distribution</b>	20%			
4.3.1 Sécurité du réservoir	6%	Barème 4.3.1 $f \in [0,1]$		
4.3.2 Capacité de stockage	8%	$\frac{\log(v-2499)}{\log(2501)} v \in [2500,5000]$	2500	
4.3.3 Répartition de l'eau	6%	$\frac{s-200}{500} s \in [200,700]$		
<b>4.4 Réduction des coûts</b>	15%			
4.4.1 Coûts de fabrication	4%	$\frac{(10000-c)}{8000} c \in [2000,10000]$		
4.4.2 Coûts d'installation	3%	$\frac{(5000-c)}{4000} c \in [1000,9000]$		
4.4.3 Coûts d'entretien et d'opération	8%	$\frac{(500-c)}{500} c \in [0,500]$		
<b>4.5 Impacts visuels et sonores</b>	15%			
4.5.1 Pollution sonores	5%	$\frac{(70-x)}{30} x \in [40,70]$		
4.5.2 Apparence du système	2%	Barème 4.5.2 $f \in [0,1]$		
4.5.3 Volume visible du système	8%	$\frac{5-v}{5} v \in [0,5]$		

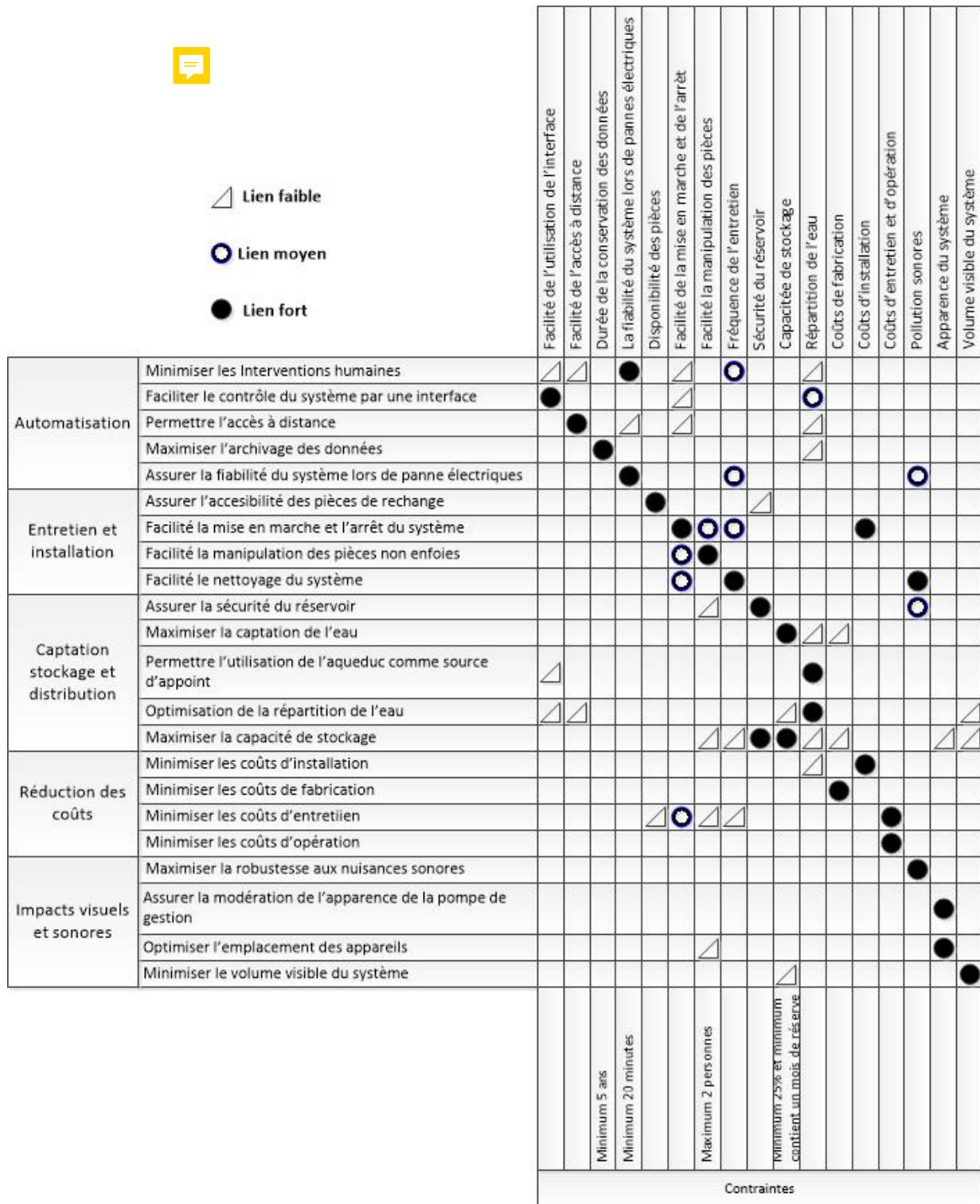


FIGURE 4.1 – Maison de la qualité

# Chapitre 5

## Conceptualisation et analyse de faisabilité

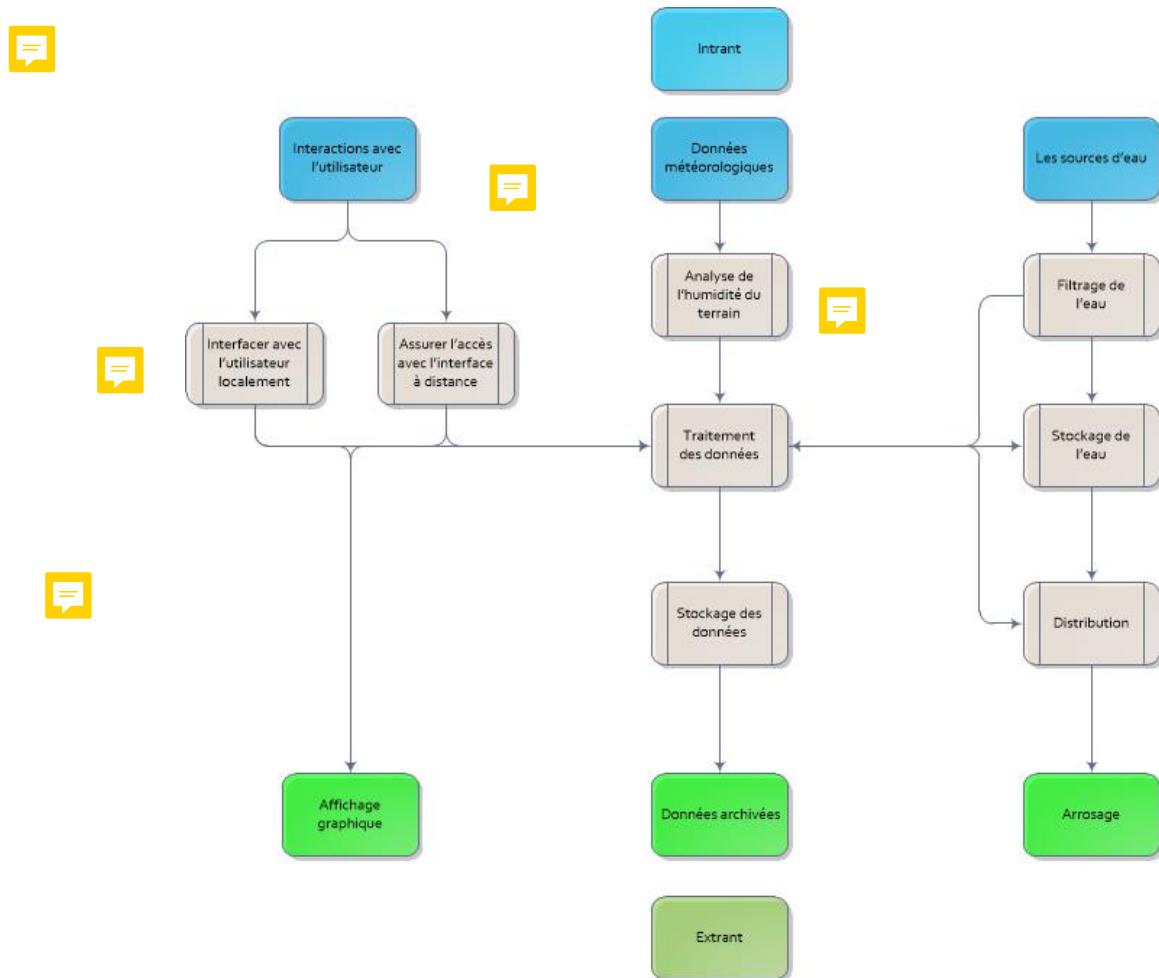


FIGURE 5.1 – Diagramme fonctionnel

## 5.1 Diagramme fonctionnel

Afin de bien résoudre le mandat, le projet Pluvi-Tech doit être sous-divisé en plusieurs fonctions avec des points intrants et extrants dans le but de représenter les différents concepts du projet. La figure 5.1 est donc une représentation des ces différentes fonctions ainsi que de leurs liens relationnels avec les différents intrants et extrants.

## 5.2 Conceptualisation des solutions

### 5.2.1 Stockage des données

Le système de stockage doit être en mesure de pouvoir archiver les données pendant une durée minimale de 5 ans selon les demandes du client. De ce fait, les concepts retenus se doivent d'avoir une excellente fiabilité au niveau de la durabilité. Pour améliorer la fiabilité, l'utilisation de la technologie RAID (Redundant Array of Independent Disks) devient alors très intéressante pour l'archivage local. La technologie RAID consiste à partager les données sur plusieurs disques dur pour améliorer, selon le type de raid, la fiabilité, la performance, la tolérance aux pannes ou une combinaison de ceux-ci.

#### Aspect physique :

- La capacité de stockage doit être d'au moins 10 Go.

#### Aspect économique :

- Le système doit être peu coûteux et avoir une durée de vie élevée.

#### Aspect temporel :

- Le système doit conserver les données pour une durée minimum de 5 ans.

#### Aspect socio-environnemental : Non applicable

##### 5.2.1.1 Disque dur

**Description** Le disque dur est une technologie permettant le stockage d'un grand nombre de données. Fonctionnant par des principes mécaniques et magnétiques, leur faible coût et leur efficacité en vitesse d'écriture et de lecture en font une technologie qui a largement fait ses preuves aujourd'hui. Il existe plusieurs formats de disques durs avec différentes caractéristiques faisant varier leur coût (vitesse d'écriture et de lecture, capacité de stockage, durabilité, etc). Aujourd'hui, un disque dur standard de vitesse moyenne coûte environ 50\$ pour 500 Go. Toutefois, les disques durs sont connus pour être soumis à l'usure à cause de leur principe mécanique. De ce fait, leur durée de vie en est donc diminuée. Pour éviter ce problème, il est fort avantageux de posséder plusieurs disques durs et d'utiliser la technologie RAID pour augmenter la sécurité et assurer une meilleure durabilité.

**Décision** Rejetée

**Justification** L'utilisation d'un disque dur complète largement le besoin minimal de stockage (10 Go) puisque les formats les moins chers comprennent tous au moins 100 Go aujourd'hui. Toutefois, un disque dur est connu pour ses risques de bris élevés. Il est donc **fortement possible** que l'utilisateur soit dans l'obligation de le changer après quelques années. Ce risque rend nécessaire l'achat d'au moins 2 disques durs et l'utilisation de la technologie RAID 1 pour une excellente fiabilité. L'augmentation du coût est donc inévitable.

Références [1] [2]

### 5.2.1.2 SSD (Solid State Drive)

**Description** Les SSD ressemblent aux disques durs sauf qu'ils utilisent de la mémoire flash au lieu d'un système mécanique et magnétique. Un des avantages de cette caractéristique est qu'il n'y a aucune pièce mobile dans le système. Cela augmente considérablement la durée de vie des SSD puisque cela les rend insensibles aux vibrations et aux chocs. Puisqu'ils utilisent de la mémoire flash, les SSD sont aussi beaucoup plus rapides que les disques durs au niveau de la vitesse de lecture et d'écriture. Le prix pour un SSD d'une capacité de 32 gigaoctets est d'environ 55\$.

Décision Retenue

**Justification** La bonne durée de vie et le prix acceptable du SSD le rendent intéressant pour notre projet. Il faut également considérer la configuration en RAID 1 pour assurer la conservation des données en cas de problème. Le SSD est une solution possible parce qu'il permet de stocker les données pendant au moins 5 ans avec un faible risque de bris et un faible coût. Il faut également noter que les récents modèles ont également augmentés en fiabilité.

Références [3] [4] [63]

### 5.2.1.3 Stockage à distance (Cloud)

**Description** Le stockage à distance permet de confier la conservation des données à une compagnie qualifiée. Ce système offre plusieurs avantages. D'abord, en cas de panne du système, les données ne sont pas perdues puisqu'elles sont stockées ailleurs. La compagnie qui s'occupe de stocker les données fait les sauvegardes nécessaires pour s'assurer de ne pas perdre les données en cas de panne. De plus, la compagnie de stockage gère la sécurité des données. En ce qui concerne les coûts du stockage à distance, Google offre un service qui s'appelle « Google Cloud Storage ». Par mois, pour le premier téraoctet, le coût s'élève à 0,085 \$ par gigaoctets.

Décision Retenue

**Justification** Le « Google Cloud Storage » est retenu parce qu'il permet de stocker nos données pendant au moins 5 ans. De plus, le prix d'utilisation du stockage à distance est très acceptable. Cette option suggère également une excellente fiabilité en utilisant une compagnie telle que Google pour assurer la sécurité et la durabilité.

## Références [5] [6]

### 5.2.1.4 Carte SD (Secure Digital)

**Description** Une carte SD utilise la mémoire flash pour stocker l'information. Ce type de carte possède plusieurs caractéristiques intéressantes et comparables à un SSD. Les cartes SD ont particulièrement l'avantage d'être compact puisqu'elles sont conçues pour des appareils portables. Il faut aussi noter que l'utilisation de la technologie flash inclut un faible risque de bris physique comme pour les SSDs. Il existe plusieurs types de cartes SD ; elles sont classées selon leur vitesse de transfert. Les cartes de classe 10 sont, dans notre cas, les plus intéressantes car ce sont les plus rapides et ils ont également un prix raisonnable. Le prix d'une carte SD de classe 10 est d'environ 1\$ par gigaoctets. Par exemple, une carte de 32 gigaoctets classe 10 fait par Kingston coûte 33\$.

**Décision** Retenue

**Justification** La carte SD est retenue parce qu'elle répond très bien à nos besoins minimaux de stockage. De plus, son mince risque de bris et son petit format en font une technologie idéale pour le projet.

## Références [32] [33]



Solutions	Faisabilité				Décision
	Physique	Économique	Temporelle	Socio-env.	
Disque Dur	Oui	Non	Oui	N/A	Rejetée
SSD	Oui	Oui	Oui	N/A	Retenue
Cloud	Oui	Oui	Oui	N/A	Retenue
Carte SD	Oui	Oui	Oui	N/A	Retenue

TABLE 5.1 – Synthèse des concepts pour le stockage des données

### 5.2.2 Traitement des données

Le traitement des données est un des concepts les plus importants du projet, car c'est l'élément qui gère l'automatisation du système. Il faut donc prendre en compte les solutions les plus performantes, les plus fiables ainsi que les plus économiques pour cette partie.

#### Aspect physique :

- Lors d'un traitement local, le système doit prendre peu d'espace.
- Le système doit être suffisamment performant pour la rapidité des calculs et instructions.

#### Aspect économique :

- Le système doit être peu coûteux.

#### Aspect temporel : Non applicable

#### Aspect socio-environnemental : Non applicable

### 5.2.2.1 Intel Kit DCCP847DYE

**Description** Intel offre un ensemble complet, à faible coût, qui est appelé « Next Unit of Computing Kit : DCCP847DYE ». Ce système, qui est d'une valeur d'environ 180\$, a été conçu pour l'utilisation domestique de tout genre comme les vidéos, photos, nouvelles, etc. Il assure également une excellente performance et une remarquable flexibilité à cause de sa forme et de son matériel électronique de qualité. Le routeur Internet et le Intel Kit est alimenté à l'aide du APC BE750G pour s'assurer qu'ils sont capables de continuer à fonctionner pendant au moins 20 minutes lors d'une panne électrique. On peut acheter ce UPS (Uninterruptible Power Supply) pour environ 100\$.

**Décision Retenue**

**Justification** Ce concept est retenu, car il rempli sans problème les critères de l'aspect physique : il prend peu d'espace et son matériel électronique assure une excellente performance pour le système d'automatisation. Malgré son faible coût pour un système de sa catégorie, une dépense de 180\$ reste un peu élevée pour le mandat puisque le projet vise le marché résidentiel.

Références [34] [35] [52]

### 5.2.2.2 Raspberry Pi - Modèle B

**Description** *Raspberry Pi* est un tout petit ordinateur de la grosseur d'une carte de crédit. On peut l'utiliser pour la plupart des tâches que fait un ordinateur domestique à la maison. Son plus gros avantage est son faible coût de 35\$ qui inclut seulement la petite carte *Raspberry Pi*. Cette carte inclut plusieurs ports : 2 ports USB (Universal Serial Bus) 2.0, un port audio et vidéo qui supporte le HDMI, un port Ethernet et également un port de stockage pour carte SD. La carte inclut également un processeur ARM (Acorn RISC Machine) ainsi qu'un GPU (Graphics Processing Unit) intégré capable de lire des vidéos ou des films de qualité Blu-ray. Son système d'exploitation par défaut est la distribution Debian de Linux et son langage de programmation est le Python qui est un langage de haut niveau et facile d'utilisation. Il faut aussi noter que la carte consomme très peu d'énergie. Afin de pouvoir alimenter le système lors de pannes de courant, le routeur et le *Raspberry Pi* sont alimentés via le APC Back-UPS ES BE550G 550 qu'on peut se procurer pour 70 \$. Cela permet d'alimenter les deux pièces pendant au moins 20 minutes.

**Décision Retenue**

**Justification** Ce concept est retenu, car il rempli facilement tous les critères des divers aspects. Il prend très peu d'espace, il est performant pour les demandes du système et son coût est assez bas.

Références [30] [31] [53]

### 5.2.2.3 Cloud computing

**Description** Le Cloud computing, ou plutôt en français l'« informatique en nuage », consiste à confier l'exécution des tâches à un système informatique délocalisé. Une compagnie héberge les ressources informatiques dans un centre et les offre à leur client via Internet. Le « cloud computing » permet de confier la gestion du matériel informatique à une compagnie spécialisée ce qui peut souvent simplifier les choses. Ainsi, la sécurité informatique et aussi la sécurité lors des pannes sont gérées par la compagnie. Les prix varient selon la capacité du processeur, la quantité de mémoire vive et la quantité d'espace de stockage. Par exemple, la compagnie Dimension Data offre un service avec 4 processeurs, 16 Go de mémoire vive et 2.5 To d'espace de stockage pour un prix d'environ 1000\$ par mois selon l'utilisation. Ce genre de système pourrait subvenir aux besoins d'environ 250 clients avec une moyenne de 50\$ par personne par année. Il faut noter que cette solution comprend le stockage des données.

**Décision** Rejetée

**Justification** Le cloud computing est une solution très intéressante car l'aspect physique est très négligeable puisque tout le traitement se fait à distance. En fait, on aurait besoin que d'un système très basique afin de se connecter au Cloud. Aussi, le système offert par la compagnie est très performant pour les tâches à effectuer. Par contre, le coût dépend du nombre de clients. Les tarifs auront un excellent rapport qualité-prix dans le cas où il y aura beaucoup d'acheteurs. C'est-à-dire que ce concept sera seulement rentable et envisageable dans le cas où il y aura assez d'acheteurs. C'est pourquoi nous rejetons cette solution.

**Références** [49] [50]

### 5.2.2.4 Tablette Android

**Description** Une tablette PC est un ordinateur mobile à une pièce avec un écran tactile qui permet de le contrôler. Cet outil est avantageux grâce à sa portabilité et sa facilité d'utilisation. L'écran tactile permet d'interfacer de façon rapide et simple. Il existe aujourd'hui plusieurs types de tablettes avec différentes caractéristiques qui sont construites par des compagnies connues comme *Apple*, *Samsung*, *Google*, etc. Par exemple, Le Nexus 7 de *Google* est muni d'un écran tactile de 7 Po et d'un disque dur d'une capacité de 16 ou 32 Go. Côté performance, le Nexus 7 est équipé d'un processeur Nvidia quatre coeurs (Tegra 3, Quad). De plus, puisqu'il est muni d'une batterie d'une grande autonomie, cela peut par exemple faciliter le contrôle d'un système lors de pannes électriques. Il est aussi muni d'une connexion Wi-Fi facilitant sa portabilité. Pour le coût, la tablette de Google est équipée d'un disque dur 16 Go coûte 210 \$ tandis que celui de 32 Go coûte 260 \$ qui est dans l'un des meilleurs prix sur le marché actuel de tablettes performantes. Pour alimenter le système lors de pannes, seulement le routeur a besoin d'être alimenté. On utilise le APC Back-UPS ES BE550G 550 pour gérer les pannes. On peut se procurer ce UPS pour un prix de 70 \$.

**Décision** Retenue

**Justification** Nous retenons ce concept, car la tablette Android comme le Nexus 7 satisfait sans difficulté nos différents critères : une tablette prend très peu d'espace en plus d'avoir un faible coût pour sa grande performance, sa portabilité et sa facilité d'utilisation. Ensuite, ces tablettes viennent avec une énorme autonomie ce qui peut être très utile lors de pannes électriques.

**Références** [48] [47] [53]

Solutions	Faisabilité				Décision
	Physique	Économique	Temporelle	Socio-env.	
Intel Kit	Oui	Oui	N/A	N/A	Retenue
Raspberry Pi	Oui	Oui	N/A	N/A	Retenue
Cloud Computing	Oui	Non	N/A	N/A	Rejetée
Tablette Android	Oui	Oui	N/A	N/A	Retenue

TABLE 5.2 – Synthèse des concepts pour le traitement des données

### 5.2.3 Distribution de l'eau

La distribution de l'eau se doit d'être optimale. Pour cela, une pompe centrale s'occupera d'acheminer l'eau là où le client en a besoin. Celle-ci puisera l'eau située à l'intérieur de la cuve de stockage et la distribuera par la suite. Cette pompe doit donc pouvoir distribuer l'eau d'arrosage partout sur le terrain et fournir l'eau nécessaire aux besoins ponctuels. Pour cela elle se doit d'être puissante tout en restant compacte. Pour ce qui est des tuyaux sous-terrains, deux entreprises dans la région de Québec sont recommandées ; Irrigation De La Capitale Inc. et Hydralis. Ces entreprises se spécialisent en installation d'arrosage automatique, alors le client devra soumettre par lui-même une demande à ces deux endroits et décider lequel viendra poser la tuyauterie sousterraine.

#### Aspect physique :

- Le système doit être robuste, performant et avoir une masse et un volume minimal.

#### Aspect économique :

- Les coûts du matériel et d'opération doivent être faibles.

#### Aspect temporel :

- Le système doit être fiable à long terme.

#### Aspect socio-environnemental :

- Le système doit être sécuritaire et positif pour son environnement.

#### 5.2.3.1 Pompe de surface

**Description** La pompe électrique multicellulaire Kietis 4000 est une pompe de surface qui aspire l'eau lorsque celle-ci est à une profondeur inférieure à huit mètres du niveau de

la pompe. Elle a un débit puissant pouvant arroser un jardin de  $700\ m^2$  et une pression élevée grâce à ses plusieurs turbines qui assurent un fonctionnement très silencieux. Cette pompe a une masse d'environ 11 kg et un volume de  $0,014\ m^3$  ce qui est peu encombrant. Par contre, seulement l'eau claire peut être pompée. Alors, un filtre doit nettoyer l'eau avant son arrivée dans le réservoir. La pompe se refroidit grâce à un système de ventilation, donc elle doit être placée dans un endroit où elle peut respirer. Cette pompe a un coût de 285\$.

#### Décision Retenue

**Justification** Cette pompe est désirable pour ce projet, car elle a un prix raisonnable et une petite taille. Elle prend en compte plusieurs besoins du client. En effet, elle est parfaite pour l'arrosage, pas trop bruyante et puissante.

#### Références [9] [10] [11]

##### 5.2.3.2 Pompe immergée

**Description** La pompe immergée électrique Idra 4000 N est idéale pour l'approvisionnement en eau d'un arrosage via sa propre réserve d'eau. Elle est placée directement dans le réservoir, donc ne prend aucun volume supplémentaire. C'est une pompe à axe vertical de 0,5 m conçue pour atteindre des profondeurs supérieures à huit mètres avec son long tube d'aspiration. C'est une pompe très discrète malgré son moteur puissant qui peut distribuer de l'eau pour une surface allant jusqu'à  $600\ m^2$  et sa masse d'environ dix kilogrammes. En effet, son fonctionnement ne fait pas de bruit dans l'air. Aucun entretien spécifique n'est demandé pour cette pompe et son coût est d'environ 365\$.

#### Décision Retenue

**Justification** Cette pompe très discrète est dispendieuse, donc l'achat de cette pompe n'est pas recommandé si le réservoir a une longueur inférieure à huit mètres. Par contre, si aucun endroit sécuritaire n'est disponible pour placer une pompe, ce choix est parfait. En effet, cette pompe est sécuritaire et est située dans le réservoir lui-même, donc est une excellente option.

#### Références [12] [13] [14]

##### 5.2.3.3 Motopompe

**Description** La motopompe WP552 de Hyundai à l'essence est reconnue pour sa robustesse et sa capacité économique de carburant. Elle a son propre moteur à combustion interne, ce qui la rend totalement autonome. Elle offre de grandes performances durant une utilisation répétée. Cette pompe est mobile avec une masse moyenne de 26 kg et un volume moyen de  $0,07\ m^3$  ce qui permet son déplacement par une simple poignée ou de petites roues. Elle a par contre une puissance sonore de 66 décibels. De plus, cette pompe a un coût de plus de 235\$.

#### Décision Rejetée

**Justification** La grande pollution sonore de la motopompe la rend impossible d'utilisation dans un espace résidentiel. De plus, son volume et sa masse ne peuvent être négligés, malgré la grande robustesse de cette pompe. Les gaz d'échappement des moteurs à essence sont mauvais pour la couche d'ozone, donc pour l'environnement.

**Références** [15] [16] [17]

Solutions	Faisabilité				Décision
	Physique	Économique	Temporelle	Socio-env.	
Pompe de surface	Oui	Oui	Oui	Oui	Retenue
Pompe immergée	Oui	Oui	Oui	Oui	Retenue
Motopompe	Oui, mais	Non	Oui	Non	Rejetée

TABLE 5.3 – Synthèse des concepts pour la distribution de l'eau

## 5.2.4 Interface locale

Développer une interface graphique conviviale et facile à utiliser est un des défi important à relever. Localement sur l'interface, l'utilisateur est en mesure d'interagire avec le programme qui se charge de la gestion du système. L'essentiel dans l'interface est de ne pas rendre la tache complexe à l'utilisateur qui désire faire une commande spécifique.

**Aspect physique :** Non applicable

**Aspect économique :**

- L'interface se doit d'être à faible coût et de bonne qualité

**Aspect temporel :**

- L'interface doit avoir une courte période développement

**Aspect socio-environnemental :**

- L'interface se doit d'être la plus conviviale possible.

### 5.2.4.1 V-Panel

**Description** Le V-Panel, qui est parmi l'une des technologies offertes par la compagnie Crestron, est une interface graphique tactile qui offre à l'utilisateur une excellente expérience pour l'interaction avec le programme mis en place. Cette interface qui a la particularité d'avoir une installation très flexible, est un écran de 12" HD, avec une résolution de 800 x 600 pixels. Quant à la configuration de l'interface, cette dernière peut être facilement personnaliser par l'utilisateur pour répondre pleinement à ses besoins. Bien qu'il possède un poids de 2.3 Kg, ce produit offre une vaste panoplie d'options qui démontre sa performance. Cet écran est actuellement en vente au prix de 3 600USD. Cependant, les programmeurs de la compagnie Crestron offrent leurs services pour le développement d'une interface en un langage Crestron propre à la compagnie, pour

90\$/h. Ainsi, étant donné que le projet ne requiert pas nécessairement une longue durée de programmation pour la construction d'une interface qui fait preuve de cordialité, les frais de développement s'ajoute au pris de l'écran tactile. À cet effet, cette solution tactile marie bien l'apparence et la performance avec une grande flexibilité d'installation.

#### Décision Rejetée

**Justification** Ce produit possède un grand potentiel et invite l'utilisateur de l'interface locale à avoir une facilité et un plaisir à interagir avec cette dernière. Malgré sa convivialité, la performance du V-12 ne justifie pas son prix exorbitant.

Références [18] [19]

#### 5.2.4.2 Langage Java

**Description** Le Java est actuellement un des langages de programmation le plus répandu principalement à cause de ses caractéristiques clés. Parmi celles-ci, sa portabilité offre la possibilité que le langage soit compilé sur un grand nombre de système d'exploitation. Le langage Java est essentiellement utilisé pour faciliter la programmation d'applications mobiles et d'applications web. Il demeure un des langages les plus employés dans le domaine de l'interface graphique, surtout dans les applications Android. Sur ce point, Software Developers India, qui est parmi une des compagnies qui offrent ses services de développement d'application, demande des frais de seulement 1000\$ pour le développement de l'interface désirée, sans pour autant réduire son niveau de convivialité. De plus, seulement un délai de 2 à 8 semaines est nécessaire pour la conception de l'application.

#### Décision Retenue

**Justification** Le Java est une solution très envisageable dans le domaine du développement d'interface graphique, particulièrement recommandé par les développeurs d'interface. Compte tenu du faible coût attribué pour le développement de l'interface, et de son aspect convivial, l'interface Java convient entièrement aux objectifs du système.

Références [20] [21]

#### 5.2.4.3 Altia design

**Description** L'Altia Design est une interface graphique développée par la compagnie Altia conçue spécifiquement pour des systèmes fixes. Pour faciliter l'interaction de l'utilisateur avec le programme du système, cette interface graphique affiche sur l'écran les options qui sont recommandées par le client, telles l'accès aux données journalières, la production de rapports de consommation d'eau ainsi que la possibilité d'exécuter des commandes spécifiques. Ce sont donc les programmeurs d'Altia Design qui développent de manière professionnelle l'interface qui leur est demandée pour qu'elle fonctionne sur le support demandé. Par conséquent, les coûts exacts de l'interface sont directement

reliés à la durée nécessaire à la programmation de cette dernière et le salaire par heure des programmeurs.

#### Décision Retenue

**Justification** L'interface qui est offerte par Altia Design est une interface de très haute performance conçue principalement pour optimiser l'interaction entre l'utilisateur et le système. Cette solution mérite une certaine considération, car elle permet non seulement de choisir l'interface désirée avant de la soumettre aux programmeurs mais également de faire appel à des professionnels qui exécuteront la tâche avec expertise.

Références [22] [23]

#### 5.2.4.4 Qt (framework)

**Description** Dans le domaine de la programmation pour interface graphique, la librairie Qt, qui utilise le langage C++, est spécifiquement répandu à cause de sa puissance pour la construction d'applications et d'interfaces multi-plateformes. En plus de son étonnante capacité graphique, le Qt possède tous les outils nécessaires pour optimiser l'expérience de l'utilisateur avec l'interface. Certes elle accorde au développeurs une grande liberté en lui permettant de réaliser plus avec moins de code.

#### Décision Retenue

**Justification** La librairie Qt, écrite en C++, est recommandée par un grand nombre de programmeurs lorsqu'il s'agit de programmation pour interfaces graphique. Connue pour une facilité de programmation, Qt permet le développement d'une interface caractérisée par un haut niveau de convivialité, pour optimiser l'interaction homme-machine et pousser davantage l'utilisation de systèmes ergonomiques.

Références [8] [7]

Solutions	Faisabilité				Décision
	Physique	Économique	Temporelle	Socio-env.	
V-Panel	N/A	Non	Oui	N/A	Rejetée
Java	N/A	Oui	Oui	N/A	Retenue
Altia Design	N/A	Oui	Oui	N/A	Retenue
Qt C++	N/A	Oui	Oui	N/A	Retenue

TABLE 5.4 – Synthèse des concepts pour l'interface locale

#### 5.2.5 Accès à l'interface à distance

Comme le système est principalement axé sur l'aspect automatique, l'interface graphique est donc primordiale pour accorder à l'utilisateur une interaction aisée avec le programme informatique du système. Afin de donner à l'utilisateur davantage de liberté lors de l'interaction avec le système, il est aussi important de développer une interface qui permet l'accès à distance par le moyen le plus accessible, le plus sécuritaire et le moins couteux.

**Aspect Physique :**

- L'accès doit pouvoir se faire par une vaste collection d'appareils électroniques portables.

**Aspect Économique :**

- Le développement de l'interface à distance doit être à un prix abordable.
- La prix de procuration de license doit être à un prix accessible

**Aspect temporel :**

- La durée de la période de développement de l'interface doit être la plus courte possible

**Aspect socio-environnemental :**

- L'interface se doit d'être la plus conviviale possible.

### 5.2.5.1 Application Splashtop 2

**Description** Splashtop 2 est une application téléchargeable gratuitement sur une grande variété d'appareils électroniques permettant principalement l'accès à distance à l'interface qui est installée localement. Pour activer cette dernière, elle doit tout d'abord être installée sur les deux appareils qui sont utilisés. S'il s'agit d'un ordinateur, il est seulement exigé que le système d'exploitation soit Windows, Mac ou Linux. Après cette installation, l'accès à l'interface peut se faire réciproquement entre les deux appareils.

**Décision Retenue**

**Justification** Nombreuses sont les raisons qui supportent la considération de cette solution qui optimise particulièrement l'accès à distance. Grâce à Splashtop 2, qui ne demande aucun frais d'installation, une fois que l'utilisateur est connecté sur un réseau, il peut automatiquement parvenir à utiliser la même interface locale, et pareillement interagir avec le système en place.

Références [51] [25]

### 5.2.5.2 Loxone - Interface web

**Description** Pour accorder un accès à distance à l'utilisateur, la compagnie Loxone Electronics offre la possibilité d'interagir avec une interface web, soit préconçue, soit sur mesure. Pour une interface sur mesure, une période sera dédiée pour la programmation avant qu'elle soit prête à être utilisée. En fait, comme on peut consulter l'interface web à partir de tout appareil électronique pouvant se connecter à un réseau, l'utilisateur peut donc surveiller et contrôler en tout temps son système. Ainsi, il n'est plus nécessaire d'interrompre le fonctionnement du système automatique lorsque la personne doit s'absenter de la maison pour un certain temps, car grâce à cette interface web, l'interaction peut se dérouler exactement comme si l'individu était sur les lieux.

**Décision Retenue**

**Justification** Le site web est également une solution fortement envisageable à son tour.

Étant donné que l'interface web est qualifiée d'un usage qui fait preuve de facilité, elle permet à l'utilisateur ayant accès au réseau via différents appareils d'effectuer les mêmes opérations qu'il peut effectuer sur l'interface locale.

Références [26]

### 5.2.5.3 Crestron - Application

**Description** La compagnie Crestron offre la solution pour rendre l'interface accessible via une application téléchargeable sur une vaste variété d'appareils électroniques. Cette application est disponible sous deux versions, une avec des frais d'installation de 99.99 USD et l'autre est gratuite. Elles offrent la possibilité d'accéder à la même interface déjà installée à la maison. Ensuite, une fois les commandes effectuées par l'application, ces dernières sont transmises directement au processeur qui, lui, est situé dans la maison pour exécuter.

**Décision** Retenue

**Justification** La solution de la compagnie est un concept qui offre un expérience à distance de qualité à l'utilisateur. Ce dernier peut effectuer les mêmes opérations que celles disponibles à l'interface locale, telles l'affichage de l'état du système, le contrôle du système, la consultation des rapports de consommations, les alertes en cas de problèmes majeurs, etc. Bien que les coûts correspondants ne soient pas forcément les plus abordables, la solution demeure considérable.

Références [29] [28] [27]

Solutions	Faisabilité				Décision
	Physique	Économique	Temporelle	Socio-env.	
Loxone	Oui	Oui	Oui	N/A	Retenue
Crestron	Oui	Oui	Oui	N/A	Retenue
Splashtop 2	Oui	Oui	Oui	N/A	Retenue

TABLE 5.5 – Synthèse des concepts pour l'accès à l'interface à distance

### 5.2.6 Filtration de l'eau

Après sa récolte par les gouttières de la maison, l'eau de pluie peut être contaminée par de nombreuses substances indésirables. Terre, sable, feuilles et organismes nuisibles sont tous des exemples d'impuretés qui peuvent se retrouver dans l'eau de pluie après s'être écoulée du toit de la maison. Parce que ces impuretés peuvent nuire aux composantes subséquentes du système et aux tâches auxquelles servira l'eau récupérée, il a été déterminé qu'il fallait éliminer préalablement ces substances mélangées à l'eau. L'eau de pluie sera donc filtrée afin d'assurer sa plus grande pureté.

**Aspect physique :**

- Le système doit pouvoir filtrer une quantité d'eau équivalente à ce qui est récolté par un toit de grandeur moyen durant une forte averse.
- L'eau doit être assez propre pour pouvoir se préserver longtemps et convenir aux utilisations.

**Aspect économique :**

- Le filtre ne doit pas être trop coûteux à installer et à entretenir.

**Aspect temporel :**

- Le filtre doit avoir une durée de vie assez longue et un cycle d'entretien minimisé.

**Aspect socio-environnemental :** Non applicable.**5.2.6.1 Citerne à gravier et charbon actif**

**Description** Ce type de système de filtration consiste en un bac rempli d'une couche de gravier spécialement conçu pour cette tâche, suivie d'une couche de charbon qu'on dit « actif ». Pour une toiture de taille moyenne (80 à 100 m<sup>2</sup>), un bac ayant un volume d'environ 250 litres suffit amplement pour filtrer l'eau d'une grosse averse. Son principe de fonctionnement repose sur la succession des couches de filtration dans le bac par lesquelles l'eau doit passer. La couche supérieure de gravier fin par laquelle l'eau s'introduit en premier s'occupe de retenir les grosses particules et la matière en suspension dans l'eau comme le sable et les débris venant du toit. Par la suite, l'eau passe au travers d'une couche de charbon actif, ce qui élimine les matières organiques ainsi que plusieurs sortes de polluants et odeurs. L'eau filtrée s'écoule ensuite par le bas du réservoir pour passer aux étapes suivantes du système.

**Décision Retenue**

**Justification** Ce type de filtre convient très bien au type d'utilisation demandé par le client. Même s'il ne produit pas une eau parfaitement pure et exempte de toute matière indésirable, celle-ci est assez propre pour être conservée longtemps dans une citerne et être utilisée à des fins d'arrosage et de nettoyage/remplissage. De plus, c'est un système peu coûteux en termes d'implantation, soit environ 250\$ pour tout le gravier de filtration et le charbon actif nécessaire. Par contre, ce filtre nécessite un entretien assez rigoureux car les couches de filtration doivent être remplacées ou nettoyées à chaque année, sans pour autant demander un effort extraordinaire.

**Références** [36] [37] [59]**5.2.6.2 Stérilisateur UV avec panier de filtration**

**Description** La méthode filtration par rayon UV est un procédé reconnu pour la purification de l'eau. Il est utilisé dans des domaines tels que l'agriculture, l'industrie des aliments et les brasseries. Cette méthode consiste à faire passer l'eau dans un récipient contenant une lampe à rayons ultraviolets, ce qui expose l'eau à des rayons d'une grande énergie et neutralise 99.99% des micro-organismes présents. Cela assure l'entreposage prolongé

de l'eau sans la prolifération d'algues et de moisissures. Puisque le stérilisateur UV ne filtre pas les grosses particules, un préfiltre doit être installé en amont. Un panier de filtration est donc assigné comme dispositif de préfiltration. Son rôle est de retenir les grosses particules comme les feuilles et la terre. Celui-ci consiste en un panier perforé fin qui emprisonne la matière en suspension mais au travers lequel l'eau peut circuler. Un stérilisateur UV tel le *UV20* de la compagnie *Pura* coûte environ 450\$. Avec un panier de filtration de 8 po (20 cm) qui coûte 32\$, le tout revient à 482\$. De plus, ce système est très discret et se place à peu près n'importe où : sous la terre, sur un mur, directement sur le sol ou sous la sortie de gouttière dans le cas du panier.

**Décision** Retenue, mais

**Justification** Un tel système de filtration dépasse le niveau de propreté de l'eau nécessaire pour son utilisation extérieure. Il permet d'obtenir non seulement une eau sans sédiments mais aussi exempte de bactéries et matières organiques nuisibles à son stockage. Il peut aussi traiter toute l'eau récoltée lors d'une forte averse aisément avec un stérilisateur UV de la capacité de celui choisi. Par contre, son coût est assez élevé pour mettre en question sa viabilité dans le projet. De plus, il nécessite un entretien récurrent car le panier filtre doit être vidé de ses détritus lorsque plein, et la lampe à UV doit être changée aux ans.

Références [38] [39] [40] [58] [61]



#### 5.2.6.3 Filtre céramique

**Description** Le filtre céramique consiste en un petit réservoir contenant une ou plusieurs « bougies » en céramique. Grâce à la gravité, l'eau est forcée de passer à travers les pores de la céramique et est ainsi purifiée. Puisque les pores de bougies de filtration en céramique sont de l'ordre de 0.2 microns, l'eau traitée se voit exemptée de la matière indésirable en suspension plus grande que cette mesure. La céramique élimine même les parasites protozoaires et les bactéries, dont les plus petites sont d'une taille de 0.5 microns, mais laisse occasionnellement passer les virus qui sont parfois plus petits que 0.2 microns. Ce genre de dispositif est abordable car le prix d'une bougie est d'environ 32\$ pour une bougie de la compagnie *TECH<sub>2</sub>O*.

**Décision** Rejetée

**Justification** Bien que le filtre céramique soit efficace en terme de qualité de filtration, il possède un net désavantage en ce qui concerne le débit qu'il peut fournir. En effet, avec la pression fournie par la gravité, une bougie de céramique est capable de filtrer en moyenne 20L d'eau par jour, ce qui est nettement insuffisant pour filtrer sans pertes le volume d'eau récupéré lors d'une grosse averse. Il faudrait une quantité beaucoup trop grande de bougies pour subvenir à cette tâche. Cela entraînerait des coûts d'implantation et de maintenance extravagants, de plus qu'une perte d'espace considérable. Par contre, le filtre céramique possède une très grande durée de vie et peut durer jusqu'à 4 ans.

Références [41] [42] [43] [62]



Solutions	Faisabilité				Décision
	Physique	Économique	Temporelle	Socio-env.	
Citerne gravier et charbon actif	Oui	Oui	Oui	N/A	Retenue
Stérilisateur UV et panier de filtration	Oui	Oui, mais	Oui	N/A	Retenue, mais
Filtre céramique	Non	Oui	Oui	N/A	Rejetée

TABLE 5.6 – Synthèse des concepts pour la filtration de l'eau

### 5.2.7 Analyse de l'humidité du terrain

Pour que le système puisse économiser de l'eau et ne pas arroser de façon superflue, l'analyse de l'humidité du terrain doit d'abord se faire. L'accès aux caractéristiques du terrain doit se faire en temps réel ou de façon ponctuelle, pour son ensemble. La facilité de l'installation, l'apparence et la durée de vie sont déterminantes dans le choix du produit. Pour faciliter l'installation, des solutions sans-fil sont préférables. Par contre, ces capteurs devront être rangés quand le système sera fermé et replacés à la réouverture.

#### Aspect Physique :

- Le capteur doit résister à toutes les conditions météorologiques et être simple à installer.

#### Aspect Économique :

- Le prix doit être abordable, dans le cas où placer plusieurs capteurs pour l'analyse du terrain est nécessaire.

#### Aspect temporel :

- Le capteur doit posséder une longue autonomie et continuellement transmettre les données.

#### Aspect socio-environnemental :

- L'apparence du capteur ne doit pas nuire à l'aspect visuel du terrain.

##### 5.2.7.1 HOBOOnode

**Description** L'HOBOOnode est un produit qui vise principalement l'utilisation en milieu agricole. Captant l'humidité du sol à un intervalle d'une mesure chaque minute, l'information recueillie est transmise sans fil à un récepteur. Toutes les données sont stockées sur un logiciel fourni avec le produit. Le logiciel fourni permet de représenter graphiquement les données recueillies ou d'exporter toute l'information sous forme de tableaux de données. L'énergie nécessaire au fonctionnement est fournie par une pile continuellement rechargée par un panneau photovoltaïque. Le réseau permet l'utilisation de 50 capteurs à la fois, ce qui dépasse facilement le nombre de capteurs nécessaires pour ce projet. Les frais pour un capteur sont d'environ 230\$ et pour un récepteur environ 220\$.

**Décision** Retenue, mais

**Justification** Ce capteur est retenu parce qu'il a une grande autonomie, une facilité d'installation et est résistant aux conditions météorologiques. Par contre, le coût élevé de chaque capteur et le besoin d'un récepteur ne sont pas économiques. Son apparence n'est pas esthétiquement avantageuse pour le projet.

**Références** [44]

### 5.2.7.2 Koubachi

**Description** Le Koubachi est un capteur qui recueilli l'humidité, les données du soleil et la température du sol. L'information est transmise par WIFI (Wireless Local Area Network) et est stockée gratuitement sur un serveur. Les données recueillies sont accessibles en tout temps par navigateur internet ou par téléphone intelligent, en utilisant les logiciels fournis. Dans le cas d'un besoin ponctuel, l'analyse des besoins de diverses plantes peut aussi être suggérée par ce produit. L'alimentation est fournie par deux piles AA et a une durée estimée d'un an. Le prix de chaque capteur est d'environ 130\$.

**Décision** Retenue

**Justification** Le Koubachi est retenu parce qu'il fonctionne directement par WIFI et stocke les données gratuitement. Il est à la fois étanche aux conditions météorologiques et esthétiquement plaisant. Avec une alimentation qui requiert seulement une intervention par année et un coût avantageux par unité, c'est un produit idéal pour le projet.

**Références** [45]

### 5.2.7.3 Toro Xtra Smart Soil Moisture Sensor

**Description** Le Toro vient avec un capteur et un récepteur sans-fil. Il fonctionne directement avec un système de gicleurs ou en utilisant un module d'acquisition de données, qui permet de transférer les données sur un contrôleur par prise USB. Le capteur est alimenté par trois piles AA et est fait en ABS (Acrylonitrile Butadiène Styrene). Sa forme discrète permet l'insertion d'un capteur à n'importe quel endroit sur un terrain sans affecter son allure ou nuire à son entretien. Le prix pour un ensemble, capteur et récepteur, est d'environ 150\$ et le prix d'un module d'acquisition de données est de 90\$. Le prix total sera de 240\$ pour le module d'acquisition de données, le capteur et le récepteur.

**Décision** Retenue

**Justification** Le Toro est retenu comme choix de capteur parce qu'il n'affecte presque pas l'allure du terrain et est facile à installer. Avec une autonomie suffisante pour la période de fonctionnement du système, il nécessite seulement une intervention par année. Fabriqué pour être très robuste, c'est un excellent produit pour un prix avantageux.

**Références** [46] [65]

Solutions	Faisabilité				Décision
	Physique	Économique	Temporelle	Socio-env.	
HOBOnode	Oui	Oui, mais	Oui	Oui, mais	Retenue, mais
Koubachi	Oui	Oui	Oui	Oui	Retenue
Toro	Oui	Oui	Oui	Oui	Retenue

TABLE 5.7 – Synthèse des concepts pour l'analyse de l'humidité du terrain

### 5.2.8 Stockage de l'eau

Le réservoir est la composante qui fait la transition entre l'appareillage de captation et de distribution. C'est également la composante la plus coûteuse du système et la plus volumineuse. Multiples choix s'offrent selon l'emplacement du réservoir et son matériau. Le réservoir d'eau devra éventuellement être muni d'un capteur interne qui déterminera la quantité d'eau présente dans le réservoir, pour en avertir l'utilisateur et pour dévier le système de captation d'une éventuelle surcharge. Il doit être suffisamment volumineux pour subvenir à des besoins domestiques extérieurs pendant un mois.

#### Aspect Physique :

- Le système doit pouvoir contenir un minimum de 2500 litres.

#### Aspect Économique :

- Le coût de la cuve doit être le moins élevé possible car c'est la pièce la plus dispendieuse du système.

#### Aspect temporel :

- La cuve doit avoir une excellente durabilité pour éviter les changements de pièces.

#### Aspect socio-environnemental :

- Le système doit être sécuritaire pour ses utilisateurs et pour l'environnement.

#### 5.2.8.1 Réservoir souterrain en polymère

**Description** Ce type de réservoir est disponible en volumes et formats variables chez divers fournisseurs. Dépendamment de l'espace disponible pour l'enfouissement, un modèle cylindrique, sphérique, ou cubique, entre autres, sera favorisé. La plupart des modèles sont munis d'une ou plusieurs entrées d'eau dans la partie supérieure ainsi que une ou plusieurs sorties dans la partie inférieure. Afin de prévenir les problèmes de gel, ce type de réservoir peut être enfoui avec un minimum de profondeur. Par exemple, une cuve de 850 gallons (environ 3200 litres) faite en polymère et construite pour l'enfouissement coûte environ 850\$. Si une installation sur mesure s'impose, il faut également inclure un coût d'installation d'environ 2600\$ pour l'enfouissement.

**Décision** Retenue, mais

**Justification** L'enfouissement d'un réservoir comporte plusieurs avantages. Le risque de gel dans le réservoir est négligeable s'il est enfoui suffisamment profondément. L'absence

de lumière rend le réservoir peu vulnérable à la prolifération d'algues et de bactéries. De plus, l'enfouissement de la cuve minimise l'impact visuel de celle-ci par rapport à l'environnement. Par contre, l'utilisateur qui opte pour ce type de réservoir devra defrayer des frais supplémentaires d'excavation et de matériaux destinés à sa stabilité si nécessaire.

Références [54] [60]

#### 5.2.8.2 Réservoir hors-terre en polymère

**Description** Ce type de réservoir, tout comme les modèles souterrains, sont disponibles en multiples volumes et formats. Le modèle le plus convenable est le modèle cylindrique, avec un diamètre suffisamment grand pour assurer la stabilité. L'entrée d'eau est typiquement fixée sur la partie supérieure du réservoir, et la sortie, sur la partie inférieure. Certains modèles sont munis d'un isolant externe qui prémunissent le contenu du réservoir aux fluctuations de températures et aux rayons ultra-violets, qui seraient susceptibles de favoriser la prolifération de micro-organismes ou algues. Un réservoir de ce type ayant un volume de 750 gallons (environ 2850 litres) coûte près de 500\$.

**Décision** Retenue

**Justification** Un réservoir hors-terre peut être l'option de choix pour un utilisateur qui dispose d'un terrain suffisamment grand. Les coûts de ce mode d'entreposage sont minimaux, puisqu'il n'y a peu ou pas de travaux préalables nécessaire à son installation. Il faudra par contre assurer que le matériau résiste aux fissures pendant la période hivernale avec un entretien adéquat. De plus, il y a un risque potentiel que la cuve se détériore au fil du temps.

Références [55] [60]

#### 5.2.8.3 Citerne de béton souterraine

**Description** L'utilisation des réservoirs de béton pour le stockage de l'eau est courante dans le milieu agricole et est destinée à recueillir de grandes quantités d'eau. Les propriétés du béton protègent l'eau des effets du soleil et de la température. Il faut également noter que le béton neutralise l'acidité de l'eau ce qui diminue l'impact sur les canalisations. Aussi, une cuve enfouie permet d'éviter les problèmes de gel. Ainsi, l'eau n'a pas besoin d'être vidée en hiver ce qui diminue l'entretien nécessaire. Un autre avantage est qu'il est très résistant et durable. Par exemple, un réservoir en béton contenant environ 3750 litres coûte 1330\$. Il faut toutefois envisager des coûts supplémentaires pour l'installation de la cuve au domicile qui se situent dans les environ de 2600\$ un enfouissement.

**Décision** Retenue, mais

**Justification** Le béton étant peu coûteux à produire et extrêmement résistant, il comble sans problème nos différents critères des aspects physique et temporel. De plus, l'utilisation d'une cuve souterraine implique également une diminution de l'impact sur son environnement. Toutefois, si on inclut le coût d'installation, le coût total grimpe drastiquement.

**Références** [56] [57] [60]

Solutions	Faisabilité				Décision
	Physique	Économique	Temporelle	Socio-env.	
polymère souterrain	Oui	Oui, mais	Oui	Oui	Retenue
polymère hors-terre	Oui	Oui	Oui, mais	Oui	Retenue
béton	Oui	Oui, mais	Oui	Oui	Retenue, mais

TABLE 5.8 – Synthèse des concepts pour le stockage de l'eau

# Chapitre 6

## Étude préliminaire

### 6.1 Plan de développement

Un plan d'étude a été conçu afin qu'il soit appliqué sur chacun des concepts pour leur évaluation. Le tableau 6.1 qui suit détaille la procédure d'évaluation de chacun des critères, et ce, pour les trois concepts qui sont présentés dans le tableau 6.2.

TABLE 6.1 – Plan d'étude pour les différents critères

Critères	Procédures	Hypothèses
4.1.1 Facilité de l'utilisation de l'interface	Évaluer en fonction de la méthode de Nielsen-Molich [66].	
4.1.2 Facilité de l'accès à distance	Évaluer la qualité de l'interface à distance.	
4.1.3 Durée de la conservation des données	Évaluer la capacité de stockage selon les données des fournisseurs.	Toutes les solutions dépasseront les attentes puisque la technologie d'aujourd'hui nous permet de stocker beaucoup plus de données que notre quota minimal pour un faible coût. [6] [33] [63]
4.1.4 La fiabilité du système lors des pannes électriques	Évaluer en fonction du nombre de minutes qui suivent une panne avant l'arrêt du système.	Plus le système sera performant, moins sa fiabilité lors d'une panne de courant sera élevée, car cela demandera plus de courant.
4.2.1 Disponibilité des pièces	Évaluer le nombre de jours avant l'obtention de la nouvelle pièce.	La moyenne des délais est représentatif de l'ensemble.

*Suite à la page suivante*

TABLE 6.1 – (suite)

<b>4.2.2</b> Facilité de la mise en marche et de l'arrêt	Additionner le temps nécessaire à l'activation ou la désactivation des éléments principales du système.	Si la cuve est sous-terre, cela évite la vidange de celle-ci pour l'arrêt du système.
<b>4.2.3</b> Facilité de la manipulation des pièces	Évaluer le poids de la pièce la plus lourde selon les données du fournisseurs.	La cuve est susceptible d'être la pièce la plus lourde dans le cas où elle est non enfouie.
<b>4.3.1</b> Sécurité du réservoir	Évaluer la sécurité en fonction des données du fournisseur.	Les réservoirs sous-terre sont parfaitement sécuritaires.
<b>4.3.2</b> Capacité de stockage	Évaluer à partir du volume de la cuve donné par le fournisseur.	
<b>4.3.3</b> Répartition de l'eau	Évaluer la surface d'arrosage avec les données du fournisseur.	Les pompes sont toutes assez puissantes pour un usage domestique.
<b>4.4.1</b> Coûts de fabrication	Évaluer avec la somme des coûts des composantes principales à l'achat.	
<b>4.4.2</b> Coûts d'installation	Évaluer en fonction de la somme des frais d'installation des éléments principales.	L'enfouissement de toute pièce augmente considérablement le prix d'installation.
<b>4.4.3</b> Coûts d'entretien et d'opération	Évaluer avec le coût des pièces de rechange, les frais du technicien et autres coûts nécessaires à l'entretien mentuel du système.	
<b>4.5.1</b> Pollution sonores	Évaluer en fonction de la pression du son produit par la pompe de gestion.	La pollution sonore est négligeable lors de l'utilisation d'une pompe immergée.
<b>4.5.2</b> Apparence du système	Évaluer en fonction de l'esthétique des principales composantes visibles.	Si le système de stockage et de distribution est enfoui, l'apparence du système obtient une note parfaite.
<b>4.5.3</b> Volume visible du système	Évaluer selon la somme des volumes des composantes principales non-enfouies.	

TABLE 6.2 – Les trois concepts pour le projet Pulvi-Tech

Fonctions	Concept 1	Concept 2	Concept 3
5.2.1 Stockage des données	Carte SD	SSD	Cloud
5.2.2 Traitement des données	Raspberry Pi	Intel Kit	Tablette Android
5.2.3 Distribution de l'eau	Surface	Surface	Immergée
5.2.4 Interfacer localement	Java	Qt	Altia
5.2.5 Accès à l'interface à distance	Splashtop 2	Crestron	Loxone
5.2.6 Filtration de l'eau	Gravier	UV	UV
5.2.7 Analyse de l'humidité du terrain	Koubachi	Hobonode	Toro
5.2.8 Stockage de l'eau	Polymère hors-terre	Cuve en Béton	Polymère sous-terre



## 6.2 Élaboration et évaluation des concepts de solution

### 6.2.1 Concept #1 : Économique

Pour ce concept, les fonctions les plus économiques ont été choisies afin de constituer le système.

#### 6.2.1.1 Automatisation du système

**Facilité de l'utilisation de l'interface :** En accord avec la philosophie de ce concept, l'interface Java est développée par la compagnie Software Developpers India, impliquant des frais de seulement 1000\$. L'interface en question est certainement d'une qualité satisfaisante, sans pour autant être la solution la plus conviviale. Ainsi pour ces raisons, d'après la méthode de Nielsen-Molich, le barème de la section 4.1.1 évalue cette solution à une note de 0,75 donc un taux de satisfaction de 5,3%.

**Facilité de l'accès à distance :** L'utilisation de Splashtop 2 est sans doute une solution qui couvre pleinement les critères de la facilité de l'accès à distance, étant donné que cette dernière ne possède pas une interface propre à elle, mais permet en fait l'accès direct à l'interface déjà implantée localement. L'utilisateur tire beaucoup d'avantages de cette solution facile et pratique et par conséquent, une note parfaite de 1,0 lui est attribuée selon le barème précédemment établi dans la section 4.1.2. De plus, le taux de satisfaction revient à 7,0%.

**Durée de la conservation des données :** Étant donné que le système va fonctionner avec un contrôleur Raspberry Pi, il en va de soit que la carte SD est la solution idéale pour le stockage des données. Une carte SD de 32 Go classe 10 sera donc parfaite pour conserver les données du système en plus de gérer le système d'exploitation du contrôleur. Puisque

la contrainte du client stipule que nous devons conserver les différentes données pour au moins 5 ans, nous estimons qu'une carte de 32 Go pourra conserver tous les éléments pour au moins 10 ans si nous estimons qu'il suffit 10 Go pour 5 ans. Donc, si on applique la formule 4.1 pour une durée de plus de 10 ans ( $m = 120$ ) nous arrivons à un résultat de 1. Cela donne à ce critère une note parfaite de 4% pour sa pondération.

**La fiabilité du système lors de pannes électriques :** Dans le but d'évaluer ce critère, on doit considérer la puissance en Watt d'un routeur internet ainsi que du Raspberry Pi. Un routeur standard a une puissance de 60 Watts tandis que le Raspberry Pi en a une de 3,5 Watts. Pour ce concept, nous utilisons le APC Back-UPS ES BE550G [53]. Selon la fiche d'information du produit du fabricant, ce UPS peut alimenter le routeur ainsi que le Raspberry Pi pour une période d'environ 50 minutes. Selon la formule 4.2, ce concept obtient une note de 0,92. Selon la pondération de ce critère, ce concept obtient 6,5 % sur 7 pour la fiabilité du système lors de pannes.

### 6.2.1.2 Entretien et installation

**Disponibilité des pièces :**

TABLE 6.3 – Disponibilité des pièces du concept #1

Fonctions	Concept 1	Disp. en jour
5.2.1 Stockage des données	Carte SD	1
5.2.2 Traitement des données	Raspberry Pi	6
5.2.3 Distribution de l'eau	Surface	6
5.2.4 Interfacer localement	Java	N/A
5.2.5 Accès l'interface à distance	Splashtop 2	N/A
5.2.6 Filtration de l'eau	Gravier	1
5.2.7 Analyse de l'humidité du terrain	Koubachi	1
5.2.8 Stockage de l'eau	Polymère hors-terre	6
Moyenne		3.5

L'évaluation de la disponibilité des pièces se fait avec la moyenne de toutes les pièces du système, ne pouvant pas déterminer quelle pièce va briser. Le tableau 6.3 montre le temps demandé pour chaque pièce importante et la moyenne. Celle-ci est de 3.5 jours et lorsque insérée dans la formule 4.3, on obtient une note de 0,72, qui lui donne un pourcentage de 4,3%.

**Facilité de la mise en marche et de l'arrêt :** Le temps de mise en marche consiste essentiellement au temps d'installation des composantes extérieures, telles la cuve en polymère hors-terre, la citerne de gravier, et la pompe de surface. Lors de la mise en

arrêt, il faut considérer vider la cuve et la tuyauterie de la pompe et procéder à une maintenance annuelle exhaustive de la citerne de gravier. Si la citerne de gravier est placée en hauteur à l'entrée de la cuve, on doit prévoir davantage de temps pour la mise en arrêt. On considère la somme totale de temps requise pour ce faire d'environ 75 minutes, ce qui donne une note de 3,6% selon la formule 4.4 pour ce critère.

**Facilité de la manipulation des pièces :** Les capteurs d'humidité et la pompe de surface ont un poids qui permet aisément leur transport par une seule personne. Si l'utilisateur désire un remisage de la cuve hors-terre, le transport sera exécutable par 2 personnes au moyen de courrois de transport. Par contre, le poids global de la citerne de gravier nécessite un transport de son contenu par étapes successives, étant jugé trop massif même pour le transport en sa totalité par plusieurs personnes. Puisque la cuve se doit d'être transportées par 2 personnes et que son poids est de 54,5 kg, on donne une note de 1%, en vertu de la formule 4.5 pour ce critère.

**Fréquence de l'entretien :** L'entretien de ce concept de système de récupération d'eau de pluie ne nécessite pas d'entretien particulier pendant sa saison d'utilisation. Selon la formule 4.6, on lui attribue une note de 9%.

#### 6.2.1.3 Captation, stockage et distribution

**Sécurité du réservoir :** Le réservoir hors-terre constitue un danger puisqu'il est visible et est un obstacle physique de plus dans la cours de la résidence. Sa sécurité n'est pas totale, mais les risques de noyade sont plutôt faibles. Par contre, sa hauteur de 2,6 m peut inciter les jeunes enfants à grimper dessus et tomber, ce qui peut s'avérer dangereux. Ce réservoir peu sécuritaire obtient une note de 0,5 pour sa sûreté, ce qui lui apporte un pourcentage de 3%.

**Capacité de stockage :** Le réservoir en polymère hors-terre avec une capacité de 2850 litres atteint la capacité minimale calculée afin de subvenir aux besoins d'arrosage durant un mois. Les frais d'excavation sont évités, car le réservoir reste en dehors de la terre, ce qui en fait un choix très économique. Sa capacité lui donne une note de 0,75 selon l'équation 4.7. Ce qui correspond à un pourcentage de 6%.

**Distribution de l'eau :** La pompe de surface Kietis 4000 possède une performance maximale de  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ . Elle peut donc arroser une surface d'eau plus  $700 \text{ m}^2$ . Elle est robuste et adaptée à des gros débits. Elle peut assurer l'arrosage d'une surface plus grande que celle nécessaire pour ce projet. Elle obtient donc une note de 1 selon l'équation 4.8, ce qui correspond à un pourcentage de 6%. Cette pompe économique est parfaite pour l'arrosage domestique.

#### 6.2.1.4 Réduction des coûts

**Coûts de fabrication :** Voici une liste des éléments du système pour le concept économique ainsi que leur prix :

- Stockage des données sur Carte SD - 33\$

- Système de traitement des données Raspberry Pi - 105\$
- Capteur d'humidité Koubachi - 130\$
- Interface utilisateur Java - 1000\$
- Accès à distance avec Splashtop 2 - 0\$
- Filtre à citerne de gravier et charbon activé - 257\$
- Cuve de stockage en polymère hors terre - 500\$
- Pompe à eau multicellulaire de surface Kietis 4000 - 285\$

Le total du coût des pièces monte à 2310\$, ce qui, en insérant ce montant dans la formule 4.9, donne une note de 0.96, pour un pourcentage de 3.8% sur 4% au concept économique.

**Coûts d'installation :** Pour le concept économique, aucune installation laborieuse d'une des composantes n'est requise, ce qui fait en sorte que le coût total d'installation se voit minimisé. On estime à 1100\$ le coût d'installation total du système, ce qui, en insérant ce nombre dans la formule 4.10, attribue une note de 0.975 à ce concept et donc un pourcentage de 2.9% sur 3%.

**Coûts d'entretien et d'opération :** Dans le cas du concept économique, deux éléments engendrent des coûts d'opération annuels. Ces deux éléments sont le filtre à gravier et charbon actif ainsi que le capteur extérieur d'humidité. En effet, dans le cas du filtre, il est nécessaire de remplacer la couche de charbon actif à la fin de la saison, ce qui coûte 105\$. Le capteur d'humidité, quant à lui, fonctionne grâce à des piles AA et leur durée de vie est estimée à un été complet. Il faut donc remplacer ces piles à la fin ou au début de la saison et cela coûte environ 5\$, pour un total de 110\$ par année en frais d'entretien et d'opération. Selon l'équation 4.11, une note de 0.78 est allouée à ce concept, pour un pourcentage de 6.2% sur 8%.

### 6.2.1.5 Impacts visuels et sonores

**Pollution sonore :** Comme la pompe de gestion produit un bruit de 60dB lorsqu'elle est en action, cette dernière a été évaluée non seulement par sa performance mais aussi par le son qu'elle produit lorsqu'elle est en marche. Malgré son débit puissant, un fonctionnement relativement silencieux est assuré. Par conséquent, d'après la formule 4.12, une note de 1,7% est attribuée pour cette dernière.

**Apparence du système :** Les différentes parties du système qui ont une apparence qui nécessite d'être notée sont principalement la cuve de stockage, la pompe de gestion, le filtre et le capteur. Dans un premier temps, hormis son volume, la cuve en polymère hors terre possède une forme et une couleur qui facilite son incrustation dans le jardin. Ainsi une moyenne de la note correspondant à chaque composante est de 0,50 d'après le barème de la section 4.5.2 donc 1,0% devient le taux de satisfaction.

**Volume visible du système :** Ce système, de volume  $3,1 m^3$ , a la particularité de posséder une cuve de stockage hors-terre, et par conséquent l'évaluation du volume visible ne portera pas uniquement sur la pompe de gestion, filtre et capteur. Ainsi d'après la

formule 4.13 mise en évidence ultérieurement, 0,375 est la note et donc 3,0% est le taux de satisfaction.

## 6.2.2 Concept #2 : Performance

Pour ce concept, les solutions les plus performantes ont été choisies afin de constituer le système.

### 6.2.2.1 Automatisation du système

**Facilité de l'utilisation de l'interface :** Pour ce système, l'utilisation de Qt comme outil de développement d'interface locale avec la compagnie SDI demeure une solution pour mettre en évidence la caractéristique multi-platorme. Tout de même, à des frais de 5000\$, le développement de l'interface assure un haut niveau de convivialité et répond pleinement à l'integralité des critères de Nielsen-Molich. Pour cela, cette solution mérite une note de 1,0 selon le barème de la section 4.1.1 et donc un taux de satisfaction de 7,0%.

**Facilité de l'accès à distance :** L'application de la compagnie Crestron, qui est développée sur mesure pour interagir avec le programme du système mis en place. De même, à des frais de 1800\$ versés aux développeurs de cette compagnie, la solution couvre partiellement les critères de la facilité de l'interface établis. D'après le barème de la section 4.1.2 qui permet d'évaluer ce critère, cette solution obtient une note de 0,75 donc un taux de satisfaction de 5,3%.

**Durée de la conservation des données :** Pour compléter le concept de performance, il en va de soit que le SSD avec connexion mSATA (mini-SATA) est la solution idéale, car elle offre une excellente performance au niveau de la bande passante ainsi qu'une bonne fiabilité. Dans notre cas, nous avons besoin d'un SSD avec une capacité de 32 Go puisque nous estimons que 32 Go est amplement suffisant pour assurer la conservation des données pour au moins 10 ans si nous estimons qu'il suffit de 10 Go pour 5 ans. Donc, si on applique la formule 4.1 pour une durée de plus de 10 ans ( $m = 120$ ), nous arrivons à un résultat de 1. Cela donne à ce critère une note parfaite de 4% pour sa pondération.

**La fiabilité du système lors de pannes électriques :** Afin d'évaluer ce critère, on doit considérer la puissance en Watts d'un routeur internet ainsi que du Intel Kit. Un routeur standard a une puissance de 60 Watts tandis que le Intel Kit 65 Watts. Pour ce concept, nous utilisons l'UPS APC BE750G [52]. Selon la fiche d'information du produit du fabricant, ce UPS peut alimenter le routeur ainsi que le Intel Kit pour une période d'environ 28 minutes. Selon la formule 4.2, ce concept obtient une note de 0,59. Selon la pondération de ce critère, ce concept obtient 4,1% pour la fiabilité du système lors de pannes.

### 6.2.2.2 Entretien et installation

**Disponibilité des pièces :**

TABLE 6.4 – Disponibilité des pièces du concept #2

Fonctions	Concept 2	Disp. en jours
5.2.1 Stockage des données	SSD	1
5.2.2 Traitement des données	Intel Kit	3
5.2.3 Distribution de l'eau	Surface	6
5.2.4 Interfacer localement	Qt	N/A
5.2.5 Accès l'interface à distance	Crestron	N/A
5.2.6 Filtration de l'eau	UV	4
5.2.7 Analyse de l'humidité du terrain	Hobonode	2
5.2.8 Stockage de l'eau	Cuve en Béton	N/A
Moyenne		3.2

**Facilité de la mise en marche et de l'arrêt :** Le temps de mise en marche consiste essentiellement en la somme des temps d'installation des composantes extérieures, telles le stérilisateur UV, le panier de filtration et la pompe de surface. Le temps de mise en arrêt est relativement court, puisqu'on ne doit que s'assurer de remiser la pompe de surface ainsi que changer la lampe UV du filtre. Le réservoir de béton sous-terre étant à l'abri du gel pendant la période hivernale, aucune vidange n'est requise avant la mise en arrêt. On estime la somme totale de temps requise pour la mise en marche ou l'arrêt à 20 minutes, ce qui donne une note de 5,7% selon la formule 4.4 pour ce critère.

**Facilité de la manipulation des pièces :** Les capteurs d'humidité, la pompe de surface et le stérilisateur UV ont un poids qui permet aisément leur transport par une seule personne. Puisque la pompe de surface est l'élément le plus massif, avec un poids de 10 kg, on donne une note de 3,9% pour ce critère, en vertu de la formule 4.5.

**Fréquence de l'entretien :** Puisque le stérilisateur UV est une méthode d'assainissement complémentaire à un pré-filtrage, le filtre en amont de la cuve nécessite un entretien périodique pour assurer la fluidité de l'eau de pluie dans le système. 2 interventions mensuelles sont jugées nécessaires pour ce concept, ce qui donne une note de 4,5% pour ce critère en vertu de la formule 4.6.

### 6.2.2.3 Captation, stockage et distribution

**Sécurité du réservoir :** Comme mentionné dans le plan de développement, le réservoir en béton souterrain est considéré comme parfaitement sécuritaire puisque personne ne

peut le voir et le heurter. De plus, les risques de débordement sont minimaux grâce au système de trop-plein. Alors, le réservoir obtient une note parfaite de 1, donc un pourcentage de 6%.

**Capacité de stockage :** Le réservoir souterrain en béton d'une capacité de 3750 litres est le choix le plus performant, car c'est la cuve ayant la plus grande capacité de stockage. En effet, la capacité de ce réservoir est supérieure à ce qui est demandée pour l'arrosage régulier durant un mois. Les frais d'entretien sont aussi réduit, car le besoin de vider la cuve est supprimé. Cette capacité de stockage lui donne une note de 0,91 selon l'équation 4.7, ce qui correspond à un pourcentage de 7.3% pour ce type de réservoir.

**Distribution de l'eau :** La pompe de surface Kietis 4000 a une performance maximale de  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ . Elle peut donc arroser une surface d'eau plus  $700 \text{ m}^2$ . C'est la pompe la plus performante dans les solutions retenues à la section 5.2.3. Elle est robuste et adaptée à des gros débit. Elle peut assurer l'arrosage d'une surface plus grande que celle nécessaire pour ce projet, elle obtient donc une note de 1 selon l'équation 4.8, ce qui correspond à un pourcentage de 6%. Cette pompe performante est parfaite pour l'arrosage domestique.

#### 6.2.2.4 Réduction des coûts

**Coûts de fabrication :** Pour le concept performance, les composantes choisies ainsi que leur prix respectifs sont les suivants :

- Dispositif de stockage de données de type SSD - 60\$
- Système de traitement des données Intel Kit - 280\$
- Capteur d'humidité Hobonode - 450\$
- Interface utilisateur Qt - 5000\$
- Accès à distance par Crestron - 1800\$
- Filtre à rayons UV Pura UV20 et panier de filtration - 482\$
- Cuve de stockage souterraine en béton - 1330\$
- Pompe à eau multicellulaire de surface Kietis 4000 - 285\$

En additionnant le prix de chaque partie du système, on obtient un prix total de 9687\$, ce qui donne à ce concept la note de 0.03 pour un pourcentage de 0.2% sur 4%, en accord avec l'équation 4.9.

**Coûts d'installation :** Les coûts reliés à l'installation du concept performance sont causés en grande partie par la nécessité d'excaver une fosse pour faire place à la cuve de béton enfouie. On évalue ces coûts à un montant de 2600\$. De plus, on prévoit un coût de 1000\$ pour installer et relier les autres parties du système. Ce prix total de 3600\$ donne une note de 0.35 par rapport au critère correspondant, donc un pourcentage de 1.1% sur le 3% attribué aux coûts d'installation selon la formule 4.10.

**Coûts d'entretien et d'opération :** Le seul élément du concept performance qui demande des coûts pour l'entretien est le filtre à rayons UV. Il est en effet nécessaire de remplacer l'ampoule à rayon UV à chaque année et celle-ci est vendue pour un montant de 62\$.

Selon la formule 4.11, la note de 0.876 est donc attribuée à ce concept ce qui donne 7% sur 8% pour les coûts d'entretien et d'opération.

#### 6.2.2.5 Impacts visuels et sonores

**Pollution sonore :** Etant donné, que la pompe de gestion est l'unique source de la pollution sonore, ce critère est évalué avec les données du fournisseur de la pompe concernant la pression du son produit lorsque cette dernière est en action. Ainsi, suite à la formule 4.12 établi précédemment, avec 60 dB de pression de son cette solution obtient une note de 0,34 alors un taux de satisfaction de 1,7%

**Apparence du système :** Les différentes parties du système qui ont une apparence qui nécessite d'être notée sont principalement la cuve de stockage, la pompe de gestion, le filtre et le capteur. Exceptionnellement, cette solution globale comporte une cuve de stockage sous-terraine et donc l'esthétique du réservoir peut dans ce cas être négligée lors de l'évaluation de ce critère. Cependant, les distinctes solutions de filtre, capteur et pompe obtiennent un résultat, conformément au barème de la section 4.5.2 du cahier des charges, de 0,75 et donc 1,5% comme taux d'accomplissement.

**Volume visible du système :** Comme le volume visible et l'apparence du système ne sont pas complètement indépendants, il est raisonnable d'accorder davantage de points correspondant à ce critère vu que la cuve de stockage est souterraine. Cette caractéristique propre à ce système de volume de  $0,026\ m^3$  influence la note résultante de la formule 4.13 qui devient 1,0 donnant ainsi un taux de satisfaction de 8,0%.

### 6.2.3 Concept #3 : Esthétisme

Pour le concept 3, les fonctions les plus esthétiques ont été choisies afin de constituer le système.

#### 6.2.3.1 Automatisation du système

**Facilité de l'utilisation de l'interface :** Pour ce système, grâce à la compagnie Altia qui prend en charge le développement de l'interface locale, un très haut niveau de convivialité est accompli grâce aux critères de Nielsen-Molich, pour des frais de 3000\$. Ainsi, par le biais du barème mis en place dans la section 4.1.1, cette solution parvient à une note de 1,0 donc à un taux de satisfaction de 7,0%.

**Facilité de l'accès à distance :** Loxone, une compagnie qui offre ses services pour le développement de l'application permettant l'accès à distance au programme du système sur place, assure que pour 4000\$ un développement de qualité avec un haut niveau de convivialité est atteint. Ainsi, d'après le barème de la section 4.1.2, une note de 1,0 est attribuée à cette solution et par conséquent un taux de satisfaction de 7,0%.

**Durée de la conservation des données :** L'utilisation d'un stockage à distance avec une tablette Android est une solution intéressante qui permet de ne pas surcharger la mémoire de la tablette et de stocker d'autres données comme des applications. Avec un stockage Google Cloud de 20 Go, cela limite les coûts et maximise la durée de stockage pour au moins 10 ans encore une fois si nous estimons que 10 Go suffisent pour 5 ans. Donc, si on applique la formule 4.1 pour une durée de plus de 10 ans ( $m = 120$ ), nous arrivons à un résultat de 1. Cela donne à ce critère une note parfaite de 4% pour sa pondération.

**Fiabilité du système lors de pannes électriques :** Dans le but d'évaluer ce critère, on doit considérer uniquement la puissance en Watt du routeur Internet puisque la tablette Android est munie d'une batterie. Un routeur standard a une puissance de 60 Watts. Pour ce concept, nous utilisons le APC Back-UPS ES BE550G [53]. Selon la fiche d'information du produit du fabricant, ce UPS peut alimenter le routeur pour une période d'environ 55 minutes. Selon la formule 4.2, ce concept obtient une note de 0,97. Selon la pondération de ce critère, ce concept obtient 6,8 % sur 7 pour la fiabilité du système lors de pannes.

#### 6.2.3.2 Entretien et installation

**Disponibilité des pièces :**

TABLE 6.5 – Disponibilité des pièces du concept #3

Fonctions	Concept 3	Disp. en jour
5.2.1 Stockage des données	Cloud	1
5.2.2 Traitement des données	Tablette Android	1
5.2.3 Distribution de l'eau	Immergeée	6
5.2.4 Interfacer localement	Altia	N/A
5.2.5 Accès l'interface à distance	Loxone	N/A
5.2.6 Filtration de l'eau	UV	4
5.2.7 Analyse de l'humidité du terrain	Toro	2
5.2.8 Stockage de l'eau	Polymère sous-terre	6
Moyenne		3.33

L'évaluation de la disponibilité des pièces se fait avec la moyenne de toutes les pièces du système, ne pouvant pas déterminer quelle pièce va briser. Le tableau 6.5 montre le temps demandé pour chaque pièce importante et leur moyenne. Celle-ci est de 3.33 jours et quand insérée dans la formule 4.3 on obtient une note de 0,74, qui lui donne un pourcentage de 4,4%.

**Facilité de la mise en marche et de l'arrêt :** Le temps de mise en consiste essentiellement en la somme des temps pour changer l'ampoule du stérilisateur UV et installer le panier de filtration. Puisque la pompe immergée est installée dans la cuve sous le niveau de gel, il n'y a pas de procédure d'arrêt ni d'installation nécessaires à ce niveau. On estime à 10 minutes le temps total requis pour la mise en marche ou l'arrêt de ce système, ce qui donne une note de 5,8% en vertu de la formule 4.4 pour ce critère.

**Facilité de la manipulation des pièces :** Le capteur d'humidité, la pompe immergée et le stérilisateur UV ont un poids qui permet aisément leur transport par une seule personne. Puisque la pompe immergée est l'élément le plus massif, avec un poids de 10 kg, on donne une note de 4% pour ce critère, en vertu de la formule 4.5.

**Fréquence de l'entretien :** Puisque le stérilisateur UV est une méthode d'assainissement complémentaire à un pré-filtrage, le filtre en amont de la cuve nécessite un entretien périodique pour assurer la fluidité de l'eau de pluie dans le système. Deux interventions mensuelles sont jugées nécessaires pour ce concept, ce qui donne une note de 4,5% pour ce critère, en vertu de la formule 4.6.

#### 6.2.3.3 Captation, stockage et distribution

**Sécurité du réservoir :** Comme mentionné dans le plan de développement, le réservoir en polymère souterrain est considéré comme parfaitement sécuritaire, ne comportant pas de risque de débordement ni de noyade. Alors le réservoir obtient une note parfaite de 1, donc un pourcentage de 6%.

**Capacité de stockage :** Le réservoir sous-terre en polymère est considéré comme esthétique puisqu'il ne parraît aucunement sur le terrain. Sa capacité de 3200 litres convient absolument aux besoins en arrosage pour un mois. Elle procure une note de 0,84 à ce réservoir selon l'équation 4.7, ce qui correspond à un pourcentage de 6,7%.

**Distribution de l'eau :** La pompe immergée Idra 4000 N se place directement dans le réservoir. Elle peut être considérée comme esthétique, car elle ne se voit pas. Avec sa performance maximale de  $4,3 \text{ m}^3/\text{h}$ , elle peut arroser une surface d'eau plus  $600 \text{ m}^2$ , ce qui dépasse largement le besoin du client. Cette surface d'arrosage donne à la pompe une note de 0,8 selon l'équation 4.8, ce qui correspond à un pourcentage de 4,8% pour cette section.

#### 6.2.3.4 Réduction des coûts

**Coûts de fabrication :** Le concept axé sur l'esthétisme se résume en les pièces suivantes :  
– Stockage des données sur Google Cloud - 0\$

- Traitement des données sur tablette Android Google Nexus 7 - 280\$
- Capteur d'humidité Toro - 240\$
- Interface utilisateur Altia - 3000\$
- Accès à distance avec Loxone - 4000\$
- Filtre à rayons UV Pura UV20 et panier de filtration - 482\$
- Cuve de stockage en polymère sous terre - 850\$
- Pompe à eau immergée Idra 4000 N - 365\$

Le prix total de ce concept revient donc à 9217\$. En insérant ce montant dans l'équation 4.9, la note de 0.1 est obtenue, donc un pourcentage de 0.4% sur 4% pour le concept axé sur l'esthétisme.

**Coûts d'installation :** Pour le concept esthétique, une grande partie des coûts d'installation sont causés par le creusage de la cavité qui accueillera le réservoir d'eau en polymère. Puisqu'il faut de la machinerie et de la main d'oeuvre qualifiée, un prix de 2600\$ est associé à cette partie de l'installation. De plus, on évalue que le reste du système coûtera 1000\$ à planter. En additionnant ces deux montants, on obtient une valeur de 3600\$ pour les coûts d'installation du concept esthétique. Ce montant donne une note de 0.35 pour un pourcentage de 1.1% sur 3%, en accord avec l'équation 4.10 reliée à ce critère.

**Coûts d'entretien et d'opération :** Plusieurs frais sont à considérer du côté des coûts d'entretien et d'opération. Tout d'abord il est question du service de stockage des données Google Cloud. En calculant le nombre de gigaoctets nécessaire et le prix par gigaoctet du service de Google, on obtient 20\$ par année de dépense pour 20 Go selon les tarifs de Google décrits à la section 5.2.1.3. Puis, il faut compter le filtre à rayons UV, l'ampoule duquel il est nécessaire de remplacer à chaque année à un coût de 62\$. Enfin, le capteur d'humidité Toro fonctionne avec des piles AA, qu'on évalue à 5\$ par an puisque leur durée de vie est d'une saison. Un coût total de 77\$ par année est donc requis dans le cas de ce concept. Ce montant lui donne une note de 0.85, pour un pourcentage de 6.8% sur 8%, en accord avec la formule 4.11.

### 6.2.3.5 Impacts visuels et sonores

**Pollution sonore :** La pompe immergée dans la cuve de stockage, définie comme solution pour la distribution de l'eau, présente peu d'inconvénients surtout en considérant le critère de la pollution sonore. Malgré le débit puissant pouvant arroser un jardin de 700 m<sup>2</sup>, l'aspect immergé contribue à réduire la propagation du son et comme la cuve est à son tour souterraine, suivant la formule 4.12 une note parfaite de 1,0 est attribué à cette solution donc 5,0% est le taux de satisfaction.

**Apparence du système :** Les différentes parties du système qui ont une apparence qui nécessite d'être notée sont principalement la cuve de stockage, la pompe de gestion, le filtre et le capteur. Pour ce système la cuve de stockage étant souterraine et la pompe étant immergée, l'évaluation de l'apparence se réduit simplement à celle du filtre et celle du capteur. Par conséquent, d'après le barème de la section 4.5.2, la note correspondante

est de 1,0 et donc un taux de satisfaction de 2,0%.

**Volume visible du système :** Similairement à l'apparence, comme dans ce concept global la cuve est souterraine et la que pompe est immergée dans la cuve, l'étude du volume visible du système se restreint au volume du filtre UV et au capteur Toro, donc est de  $0,012 \text{ m}^3$ . Ainsi, en se basant sur la formule 4.13 précédemment mise en place dans le cahier des charges, une admirable note de 1,0 lui est accordée et donc un taux de satisfaction de 8,0%.

### 6.3 Synthèse des résultats

Le tableau 6.6 résume les valeurs obtenues pour chaque critère en fonction des différents concepts. Ces valeurs déterminent ensuite la note obtenue à l'aide des formules du cahier des charges (section 4).

TABLE 6.6 – Synthèse des résultats

Critères d'évaluation	Concept 1	Concept 2	Concept 3
<b>4.1 Automatisation du système</b>			
4.1.1 Facilité de l'utilisation de l'interface	0,75	1	1
4.1.2 Facilité de l'accès à distance	1	0,75	1
4.1.3 Durée de la conservation des données [mois]	120	120	120
4.1.4 La fiabilité du système lors de pannes électriques [min]	50	28	55
<b>4.2 Entretien et installation</b>			
4.2.1 Disponibilité des pièces [jours]	3.5	3.2	3.33
4.2.2 Facilité de la mise en marche et de l'arrêt [min]	75	15	10
4.2.3 Facilité de la manipulation des pièces [kg]	54,5	11	10
4.2.4 Fréquence de l'entretien	0	2	2
<b>4.3 Captation, stockage et distribution</b>			
4.3.1 Sécurité du réservoir	0,5	1	1
4.3.2 Capacité de stockage [L]	2850	3750	3200
4.3.3 Répartition de l'eau [ $\text{m}^2$ ]	700	700	600
<b>4.4 Réduction des coûts</b>			
4.4.1 Coûts de fabrication [\$]	2310	9687	9217
4.4.2 Coûts d'installation [\$]	1100	3600	3600
4.4.3 Coûts d'entretien et d'opération [\$]	110	62	77
<b>4.5 Impacts visuels et sonores</b>			
4.5.1 Pollution sonore [dB]	60	60	0
4.5.2 Apparence et emplacement du système	0,5	0,75	1
4.5.3 Volume visible du système [ $\text{m}^3$ ]	3,1	0,026	0,012

# Chapitre 7

## Concept retenu

### 7.1 Matrice de décision

La matrice de décision 7.1 présente les pointages de chaque concept, ce qui permet de faciliter leur comparaison. Les différents pourcentages découlant des formules du cahier des charges aident à la prise de décision d'un concept qui correspond le mieux aux besoins du client.

### 7.2 Analyse de la matrice décisionnelle

Le tableau 7.1 montre que le concept 3 «esthétique» est celui qui se démarque le plus avec un score total de 84,4%, alors que les deux autres se situent en dessous des 79%. Il a obtenu le pourcentage le plus élevé dans toutes les grandes sections sauf pour la captation, stockage et distribution (4.3). Ceci est dû au fait que la cuve n'a pas le volume maximal et que la pompe n'est pas la plus puissante, mais ces deux éléments conviennent très bien au projet. Le concept 3 correspond le mieux aux besoins et objectifs de ce système, de façon globale. C'est la raison pour laquelle ce dernier est retenu et détaillé dans la section 7.3.

TABLE 7.1 – Matrice décisionnelle

Critères d'évaluation	Pond.	Concept 1	Concept 2	Concept 3
<b>4.1 Automatisation du système</b>	<b>25%</b>	<b>22,8%</b>	<b>20,4%</b>	<b>24,8%</b>
4.1.1 Facilité de l'utilisation de l'interface	7%	5,3%	7,0%	7,0%
4.1.2 Facilité de l'accès à distance	7%	7,0%	5,3%	7,0%
4.1.3 Durée de la conservation des données	4%	4,0%	4,0%	4,0%
4.1.4 La fiabilité du système lors de pannes électriques	7%	6,5%	4,1%	6,8%
<b>4.2 Entretien et installation</b>	<b>25%</b>	<b>17,9%</b>	<b>18,6%</b>	<b>18,8%</b>
4.2.1 Disponibilité des pièces	6%	4,3%	4,5%	4,4%
4.2.2 Facilité de la mise en marche et de l'arrêt	6%	3,6%	5,7%	5,8%
4.2.3 Facilité de la manipulation des pièces	4%	1,0%	3,9%	4,0%
4.2.4 Fréquence de l'entretien	9%	9,0%	4,5%	4,5%
<b>4.3 Captation, stockage et distribution</b>	<b>20%</b>	<b>15,0%</b>	<b>19,3%</b>	<b>17,5%</b>
4.3.1 Sécurité du réservoir	6%	3,0%	6,0%	6,0%
4.3.2 Capacité de stockage	8%	6,0%	7,3%	6,7%
4.3.3 Répartition de l'eau	6%	6,0%	6,0%	4,8%
<b>4.4 Réduction des coûts</b>	<b>15%</b>	<b>12,9%</b>	<b>8,3%</b>	<b>8,3%</b>
4.4.1 Coûts de fabrication	4%	3,8%	0,2%	0,4%
4.4.2 Coûts d'installation	3%	2,9%	1,1%	1,1%
4.4.3 Coûts d'entretien et d'opération	8%	6,2%	7,0%	6,8%
<b>4.5 Impacts visuels et sonores</b>	<b>15%</b>	<b>5,7%</b>	<b>11,2%</b>	<b>15,0%</b>
4.5.1 Pollution sonores	5%	1,7%	1,7%	5,0%
4.5.2 Apparence et emplacement du système	2%	1,0%	1,5%	2,0%
4.5.3 Volume visible du système	8%	3,0%	8,0%	8,0%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>74,3%</b>	<b>78,8%</b>	<b>84,4%</b>

### 7.3 Description du concept retenu

#### Interface homme-machine

- Interface sur mesure conçue par Altia Design
- Interface fabriquée par Loxone.

#### Gestion des données

- Traitement des données sur une tablette Android Nexus 7 de Google.
- Stockage des données à distance avec Google Cloud Storage.
- Capteur Toro Xtra Smart pour l'analyser l'humidité.

#### Captation, stockage et distribution de l'eau

- Filtration de l'eau avec un stérilisateur UV avec panier de filtration.
- Stockage de l'eau avec une cuve en polymère souterraine.
- Distribution avec une pompe immergée Idra 4000 N.

### 7.3.1 Interface homme-machine

En ce qui concerne l'interface locale, la solution retenue est celle de la compagnie Altia, qui offre ses services de développement d'interfaces graphiques. Puisque l'interface locale est employée sur la tablette Android, cela est sans doute pris en considération par les développeurs pour faire en sorte que l'interface soit utilisable sur une tablette tactile et que le langage choisi soit le plus convenable pour un usage sur cette dernière. Ainsi, défrayant des frais estimés à 4000\$, l'interface offre la possibilité de surveiller et contrôler le système en intéragissant de façon conviviale. De plus, la durée de développement pour l'accomplissement de l'interface ne dépasse pas plus qu'un mois, ce qui correspond pratiquement avec la durée de développement de l'interface à distance de Loxone.

D'autre part, au sujet de l'accès à distance, la compagnie Loxone, spécialisée particulièrement dans le contrôle et la surveillance de système informatiques installés dans les résidences, offre ses services pour réaliser l'interface désirée. C'est ainsi que les développeurs se chargent de mettre sur pied une interface qui est multiplateforme, dans le but de procurer à l'utilisateur une plus grande liberté dans le choix de l'outil informatique avec lequel il désire faire son intervention. Au final, l'interface nécessite approximativement une durée de développement d'un mois et des frais de 4000\$ en main-d'oeuvre.

### 7.3.2 Gestion des données

Afin de traiter les différentes données, en plus de se servir de la tablette Android Nexus 7 pour interfaçer avec l'utilisateur, nous l'utilisons également comme système pour exécuter le programme principal et traiter les différents intrants : les commandes de l'utilisateur et les données météorologiques. Afin d'optimiser l'efficacité de la distribution automatique de l'eau, la tablette contient un programme léger, mais fiable qui est constamment en train d'analyser les données locales grâce à un capteur. Le fonctionnement du système de contrôle est également assuré pour environ 55 minutes sans électricité grâce à la batterie interne de la tablette et de l'UPS APC Back-UPS ES BE550G 550 [53] qui prend en charge le routeur Internet.

Sur le terrain se situe un capteur *Toro Xtra Smart*, préalablement installé à un endroit clef pour analyser l'humidité du terrain. Le capteur est relié à un petit module d'acquisition de données permettant de transférer les données par câblage USB sur l'Android. Il faut noter qu'un adaptateur USB à micro USB est également nécessaire pour établir la connexion avec la tablette.

Afin de permettre l'archivage de diverses données sur la consommation d'eau, on utilise le Google Cloud Storage qui permet de conserver les données à distance, ce qui assure une excellente sécurité et fiabilité. L'utilisation à partir du programme qui gère le système se fait à l'aide de l'API (Application Programming Interface) fourni par Google [67]. Ainsi, le programme qui fonctionne sur tablette Android pourra lui-même utiliser Google Cloud Storage.

### 7.3.3 Captation, stockage et distribution

Pour assurer une eau et un réservoir conformes aux standards d'hygiène, une filtration et stérilisation préliminaires de l'eau s'effectuent avant son entrée dans la cuve. Après s'être écoulée des gouttières, l'eau traverse un panier de filtration, ce qui retient les feuilles et les particules plus volumineuses. Ensuite, l'eau, qui y est acheminée par tuyau de plastique PVC, est stérilisée par rayons UV en passant par le système UV20 de *Pura*.

Ensuite, l'eau se retrouve dans le réservoir en polymère sécuritaire et enfoui sous terre et d'un volume de 3200 litres. Ce volume respecte et dépasse même les demandes du client quant à la quantité de stockage requise. De plus, la cuve est située en dessous de la ligne de gel sous le sol, ce qui demande moins d'effort lors de la fermeture avant l'hiver car l'eau dans la cuve ne gèle pas le temps froid venu.

Enfin, la pompe Idra 4000 N, qui est placée directement dans le réservoir, fournit la puissance nécessaire pour expulser l'eau de pluie de la cuve et la propulser dans le système d'arrosage du terrain, assurant ainsi l'alimentation en eau pour la verdure et les besoins ponctuels des usagers. En effet, sa puissance d'arrosage est largement suffisante pour un terrain moyen de la région de Québec. De plus, la pompe ne nécessite aucun entretien régulier ; ce qui est très pratique car le réservoir est souterrain et donc difficilement accessible. La pompe est gérée par le système informatique Android, lequel se charge de l'actionner lorsque nécessaire et de l'arrêter par la suite.

## 7.4 Conclusion

Pour conclure, le concept final est principalement constitué d'une tablette Android pour l'interface usager et traiter les données, d'une cuve de stockage enfouie, une pompe immergée dans la cuve ainsi qu'un service d'archivage de données à distance. Lors de l'implémentation, il faut s'assurer que la tablette est fixée de façon permanente et connectée au module d'acquisition de données. Il est aussi nécessaire d'entretenir les gouttières pour assurer une récupération de l'eau efficace. On doit aussi veiller à ce qu'un système de gicleurs soit correctement installé sur le terrain. Il est important de s'occuper des batteries des capteurs ainsi que les lampes du filtre UV. Considérant que notre système est muni d'un filtre performant, il serait possible d'adapter le système pour un usage de l'eau à l'intérieur de la maison. Par exemple, on pourrait utiliser l'eau de pluie pour remplir les cuves de toilettes afin d'économiser davantage d'eau potable.



FIGURE 7.1 – Diagramme physique

# Bibliographie

- [1] Wikipedia, *Hard disk drive*, Wikipedia, The free encyclopedia, [En Ligne].  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Hard\\_disk\\_drive](http://en.wikipedia.org/wiki/Hard_disk_drive) (Page consultée le 18 Mars 2013)
- [2] Adaptec Inc., *Which RAID Level is Right for Me ?*, Storage Solutions White Paper, 2005, [En Ligne]. [http://www.adaptec.com/nr/rdonlyres/874d145e-f64f-4804-9e27-037bc5a9dce0/0/3994\\_raid\\_whichone\\_v112.pdf](http://www.adaptec.com/nr/rdonlyres/874d145e-f64f-4804-9e27-037bc5a9dce0/0/3994_raid_whichone_v112.pdf) (Page consultée le 18 Mars 2013)
- [3] Marco CHIAPPETTA, *SSDs vs. hard drives vs. hybrids : Which storage tech is right for you ?*, PCWorld, 2013, [En Ligne].  
<http://www.pcworld.com/article/2025402/ssds-vs-hard-drives-vs-hybrids-which-storage-tech-is-right-for-you-.html> (Page consultée le 18 Mars 2013)
- [4] Wikipedia, *Solid-state Drive*, Wikipedia, The free encyclopedia, [En Ligne].  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Solid-state\\_drive](http://en.wikipedia.org/wiki/Solid-state_drive) (Page consultée le 18 Mars 2013)
- [5] Wikipedia, *Cloud storage*, Wikipedia, The free encyclopedia, [En Ligne].  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud\\_storage](http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_storage) (Page consulté le 18 Mars 2013)
- [6] Google, *Google Cloud Storage Pricing*, Google Cloud Platform, 2013, [En Ligne].  
<https://cloud.google.com/pricing/cloud-storage> (Page consultée le 18 Mars 2013)
- [7] Qt (framewokr), *Application*, Qt, Digia, [En Ligne]. <http://qt.digia.com/Services/> (Page consulté le 21 Mars 2013)
- [8] Wikipedia, *Java*, Wikipedia, The free encyclopedia, [En Ligne].  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Qt> (Page consultée le 21 Mars 2013)
- [9] Pompes-direct, *Pompe multicellulaire*, Pompes-direct, 2013, [En Ligne].  
<http://www.pompes-direct.com/pompage/pompe-electrique/surface/multicellulaire/index.html> (Page consultée le 18 Mars 2013)
- [10] Pompes Guinard, *Pompes Guinard Loisirs : la pompe de surface multicellulaire auto-amorçante.*, Pompes Guinard Loisirs, 2013, [En Ligne].  
<http://www.pompesguinard-loisirs.fr/fr/pompes-de-surface-multicellulaires-auto-amorcantes-22> (Page consultée le 19 Mars 2013)

- [11] Pompes-direct, *Pompe Kietis 4000*, Pompes-direct, 2013, [En Ligne].  
<http://www.pompes-direct.com/pompage/pompe-electrique/surface/multicellulaire/kietis-4000/59.html> (Page consultée le 28 Mars 2013)
- [12] Pompes-direct, *Pompe immergée*, Pompes-direct, 2013, [En Ligne]. <http://www.pompes-direct.com/pompage/pompe-electrique/immergee/index.html> (Page consultée le 18 Mars 2013)
- [13] Pompes Guinard, *Pompes Guinard Loisirs : la pompe immergée pour puits profond sans sécurité manque d'eau.*, Pompes Guinard Loisirs, 2013, [En Ligne].  
<http://www.pompesguinard-loisirs.fr/fr/pompes-immergees-pour-puits-profonds-24> (Page consultée le 19 Mars 2013)
- [14] Pompes-direct, *Pompe Idra 4000 N*, Pompes-direct, 2013, [En Ligne].  
<http://www.pompes-direct.com/pompage/pompe-electrique/immergee/puits/idra-4000-n/15466.html> (Page consultée le 28 Mars 2013)
- [15] Pompes-direct, *Motopompe essence*, Pompes-direct, 2013, [En Ligne].  
<http://www.pompes-direct.com/pompage/motopompe/essence/index.html> (Page consultée le 18 Mars 2013)
- [16] Wikipedia, *Motopompe*, Wikipedia, The free encyclopedia, [En Ligne].  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Motopompe> (Page consultée le 19 Mars 2013)
- [17] Walmart, *Hyundai HWP552 Gas Water Pump*, Walmart, 2013, [En Ligne].  
<http://www.walmart.com/ip/Hyundai-HWP552-Gas-Water-Pump/15054346> (Page consultée le 28 Mars 2013)
- [18] Crestron, *Catalogs and brochures*, [En Ligne].  
[http://www.crestron.com/resources/product\\_and\\_programming\\_resources/catalogs\\_and\\_brochures/online\\_catalog/default.asp?jump=1&model=v12](http://www.crestron.com/resources/product_and_programming_resources/catalogs_and_brochures/online_catalog/default.asp?jump=1&model=v12) (Page consultée le 21 Mars 2013)
- [19] Crestron, *Spécification sheets*, [En Ligne]. [http://www.crestron.com/downloads/pdf/spec\\_sheets/commercial\\_and\\_residential/tpmc-v12.pdf](http://www.crestron.com/downloads/pdf/spec_sheets/commercial_and_residential/tpmc-v12.pdf) (Page consultée le 21 Mars 2013)
- [20] Wikipedia, *Java*, Wikipedia, The free encyclopedia, [En Ligne].  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Java> (Page consultée le 21 Mars 2013)
- [21] Wikipedia, *Interface Java*, Wikipedia, The free encyclopedia, [En Ligne].  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Interface\\_\(Java\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Interface_(Java)) (Page consultée le 21 Mars 2013)
- [22] Altia, *Product Design*, [En Ligne]. [http://www.altia.com/products\\_design.php](http://www.altia.com/products_design.php) (Page consultée le 21 Mars 2013)
- [23] Altia, *Demos*, [En Ligne]. <http://www.altia.com/demos.php> (Page consultée le 21 Mars 2013)

- [24] Wikipedia, *Application mobile*, Wikipedia, The free encyclopedia, [En Ligne].  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/Application\\_mobile](http://fr.wikipedia.org/wiki/Application_mobile) (Page consultée le 21 Mars 2013)
- [25] Wikipedia, *Mobile application developpement*, Wikipedia, The free encyclopedia, [En Ligne]. [http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile\\_application\\_development](http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_application_development) (Page consultée le 21 Mars 2013)
- [26] Loxone, *Controle via web interface*, [En Ligne].  
<http://www.loxone.com/Pages/en/produkte/LoxWEB-Steuern-ueber-den-Browser/LoxWEB.aspx> (Page consultée le 21 Mars 2013)
- [27] Crestron, *Crestron mobile pro*, [En Ligne].  
<https://itunes.apple.com/us/app/crestron-mobile-pro/id329906343?mt=8> (Page consultée le 21 Mars 2013)
- [28] Crestron, *Crestron - iOS 6*, [En Ligne].  
[http://www.crestron.com/products/apple\\_mac\\_iphone\\_ipod\\_ipad\\_control/](http://www.crestron.com/products/apple_mac_iphone_ipod_ipad_control/) (Page consultée le 21 Mars 2013)
- [29] Crestron, *Crestron - Application*, Crestron Electronics, Inc, [En Ligne].  
[http://www.crestron.com/resources/product\\_and\\_programming\\_resources/catalogs\\_and\\_brochures/online\\_catalog/default.asp?jump=1&model=CRESTRON-MOBILE-PRO](http://www.crestron.com/resources/product_and_programming_resources/catalogs_and_brochures/online_catalog/default.asp?jump=1&model=CRESTRON-MOBILE-PRO) (Page consultée le 21 Mars 2013)
- [30] Raspberry Pi, *Raspberry Pi FAQs*, [En Ligne]. <http://www.raspberrypi.org/faqs> (Page consultée le 24 Mars 2013)
- [31] Wikipedia, *Raspberry Pi*, Wikipedia, The free encyclopedia, [En Ligne].  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](http://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi) (Page consultée le 24 Mars 2013)
- [32] Wikipedia, *Secure Digital*, Wikipedia, The free encyclopedia, [En Ligne].  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Secure\\_Digital](http://en.wikipedia.org/wiki/Secure_Digital) (Page consultée le 24 Mars 2013)
- [33] Canada Computers & Electronics, *Standard SD Cards* [En Ligne].  
[http://www.canadacomputers.com/index.php?cPath=11\\_175\\_176](http://www.canadacomputers.com/index.php?cPath=11_175_176) (Page consultée le 24 Mars 2013)
- [34] Intel, *Next Unit of Computing Kit DCCP847DYE* [En Ligne].  
<http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/product-briefs/desktop-kit-dccp847dye-product-brief.pdf> (Page consultée le 24 Mars 2013)
- [35] Intel, *Specifications*, Next Unit of Computing Kit DCCP847DYE [En Ligne]. <http://ark.intel.com/products/71484/Next-Unit-of-Computing-Kit-DCCP847DYE> (Page consultée le 24 Mars 2013)
- [36] Eaux vives du Quercy, *Récupération de l'eau de pluie : filtration avant la citerne* [En Ligne].  
<http://www.eauxvivesduquercy.com/eaudepluie/eaudepluie-prefiltre.html> (Page consultée le 24 mars 2013)

- [37] Comprendrechoisir, *Traitement eau : sable et charbon actif* [En Ligne]. <http://traitement-eau.comprendrechoisir.com/comprendre/sable-charbon-actif> (Page consultée le 24 mars 2013)
- [38] Agriculture et Agroalimentaire Canada, *Désinfection par traitement ultraviolet des sources d'eau privées à usage domestique ou agricole - Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC)* [En Ligne]. <http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1241475412160&lang=fra> (Page consultée le 24 mars 2013)
- [39] Conservation Technology, *Rainwater Harvesting - Pre-Filtration* [En Ligne]. [http://www.conervationtechnology.com/rainwater\\_prefiltration.html](http://www.conervationtechnology.com/rainwater_prefiltration.html) (Page consultée le 25 mars 2013)
- [40] Une Eau Pure, *Traitement eau UV Ultraviolet - Traitement de l'eau* [En Ligne]. <http://www.une-eau-pure.com/traitement-de-l-eau/traitement-eau-uv-ultraviolet.html> (Page consultée le 25 mars 2013)
- [41] Wikiwater, *E22 - Le traitement à l'aide de filtres en céramique - Wikiwater* [En Ligne]. <http://www.wikiwater.fr/e22-le-traitement-a-l-aide-de.html> (Page consultée le 25 mars 2013)
- [42] Wikipédia, *Microbiologie - Wikipédia* [En Ligne]. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Microbiologie> (Page consultée le 25 mars 2013)
- [43] Fairey Ceramics, *Boire de l'eau filtrée* [En Ligne]. [http://www.faireyceramics.com/wp-content/downloads/Fairey\\_water\\_filters-FR.pdf](http://www.faireyceramics.com/wp-content/downloads/Fairey_water_filters-FR.pdf) (Page consultée le 25 mars 2013)
- [44] Onset, *Wireless soil moisture sensor - Onset* [En Ligne]. <http://www.onsetcomp.com/products/sensors/w-smc> (Page consultée le 23 mars 2013)
- [45] Koubachi, *Plant Sensor - Koubachi* [En Ligne]. <http://www.koubachi.com/main?locale=en> (Page consultée le 23 mars 2013)
- [46] Toro, *XTRA SMART Precision Soil Moisture Sensor - Toro* [En Ligne]. <http://www.toro.com/xtrasmart/> (Page consultée le 26 mars 2013)
- [47] Google, *Tech Specs, Nexus 7* [En Ligne]. <http://www.google.ca/nexus/7/specs/> (Page consultée le 27 Mars 2013)
- [48] CNet, *Still the best small tablet, Google Nexus 7 (32GB, HSPA+) review* [En Ligne]. <http://reviews.cnet.com/google-nexus-7/> (Page consultée le 27 Mars 2013)
- [49] Dimension Data, *Compare Cloud Computing Cost & Pricing* [En Ligne]. <http://nacloud.dimensiondata.com/Cloud-Now/Pricing> (Page consultée le 27 Mars 2013)
- [50] Dimension Data, *Technical Specifications* [En Ligne]. <http://nacloud.dimensiondata.com/Cloud-Now/Technical-Specifications> (Page consultée le 27 Mars 2013)

- [51] Splashtop, *Getting started*, [En Ligne].  
<http://www.splashtop.com/splashtop2#overview-tab> (Page consultée le 21 Mars 2013)
- [52] Newegg, *APC BE750G*, [En ligne].  
<http://www.newegg.ca/Product/Product.aspx?Item=N82E16842101311> (Page consultée le 15 avril)
- [53] Newegg, *APC Back-UPS ES BE550G 550 VA*, [En ligne].  
<http://www.newegg.ca/Product/Product.aspx?Item=N82E16842101343> (Page consultée le 28 mars)
- [54] The Tank Depot, *Ace Roto Mold 850 Gallon Cistern Tank*, [En ligne].  
<http://www.tank-depot.com/productdetails.aspx?part=A-AST-0850-1W> (Page consultée le 28 mars)
- [55] Rain Tank Depot, *750 Gallon Vertical Fresh Water Storage Tank*, [En ligne].  
<http://www.raintankdepot.com/p-327/750-gallon-vertical-fresh-water-storage-tank-crmi-750vtfwg> (Page consultée le 28 mars)
- [56] Tanket, *TANKET WATER TANK PRICES - JUNE 2011*, [En ligne].  
<http://www.tanket.com.au/Prices.aspx> (Page consultée le 28 mars)
- [57] Comprendrechoisir, *Cuve eau béton ou pierre calcaire*, Récupération eau de pluie [En ligne]. <http://recuperation-eau-pluie.comprendrechoisir.com/comprendre/cuve-beton> (Page consultée le 28 mars)
- [58] E.S.P. Water Products, *PURA Ultra Violet Drinking Water Systems Replacement Filters and Parts* [En ligne]. <http://espwaterproducts.com/pura-uv.htm> (Page consultée le 28 mars)
- [59] Aquamerik, *Sables et graviers de filtration* [En ligne]. [http://www.aquamerik.com/catalogue/produits.cgi?category=filtration\\_sabledesilice](http://www.aquamerik.com/catalogue/produits.cgi?category=filtration_sabledesilice) (Page consultée le 28 mars)
- [60] Bertrand GONTHIEZ, « Utiliser l'eau de pluie », *Eyrolles - Environnement*, p. 1–131 (2010).
- [61] Rain Tank Depot, *8" Strainer Basket (08SCREEN)* [En ligne].  
<http://www.raintankdepot.com/p-100/8-strainer-basket-08screen> (Page consultée le 28 mars)
- [62] TECH<sub>2</sub>O, *Filtre bougie Céramique 0,2 micron* [En ligne].  
<http://www.tech2o.fr/1285-filtre-bougie-ceramique-10-pouces-02-micron-200000004600.html> (Page consultée le 28 mars)
- [63] Crucial, *32GB Crucial m4 mSATA 6Gb/s SSD*, [En Ligne].  
<http://www.crucial.com/store/partspecs.aspx?imodule=CT032M4SSD3> (Page consultée le 10 Avril 2013)
- [64] Postes Canada, *Temps de livraison*, [En Ligne].  
<http://www.canadapost.ca/cpo/mc/personal/guides/deliverystandards.jsf> (Page consultée le 16 Avril 2013)

- [65] Amazon, *USB Based 24-Channel Digital I/O Module*, [En Ligne].  
[http://www.amazon.com/USB-Based-24-Channel-Digital-Module/dp/B003DV6W9G/ref=sr\\_1\\_1?s=electronics&ie=UTF8&qid=1366298316&sr=1-1&keywords=usb+data+acquisition+module](http://www.amazon.com/USB-Based-24-Channel-Digital-Module/dp/B003DV6W9G/ref=sr_1_1?s=electronics&ie=UTF8&qid=1366298316&sr=1-1&keywords=usb+data+acquisition+module) (Page consultée le 18 Avril 2013)
- [66] Nielsen-Molich, *Evaluation Method* [En ligne]  
<http://www.catb.org/esr/writings/taouu/html/ch01s04.html> (Page consultée le 18 avril)
- [67] Google Cloud Storage, *API*, [En ligne]  
<https://developers.google.com/storage/docs/developer-guide#overview> (Page consultée le 22 avril)

## **Annexe A**

### **Liste des sigles et des acronymes**

RAID	Redundant Array of Independent Disks
GPU	Graphics processing unit
ARM	Acorn RISC Machine
SSD	Solid State Drive
ABS	Acrylonitrile Butadiène Styrene
WIFI	Wireless Local Area Network
UPS	Uninterruptible Power Supply
SATA	Serial Advanced Technology Attachment
mSATA	mini-SATA
USB	Universal Serial Bus
API	Application Programming Interface