



SystART - Système d'éclairage adaptatif pour une salle d'exposition d'un musée

Rapport de projet -Version finale

présenté à

Robert Bergevin, Simon Thibault, Luc Lamontagne et Éric Poulin

par

Équipe 26 — LuxÉclairage

<i>matricule</i>	<i>nom</i>	<i>signature</i>
111 106 002	Alikacem Yasmine	
111 062 679	Anani Adel	
111 093 847	Côté Ortiz Marc-Antoine	
111 066 305	Kamano Adrien	
111 103 088	Warren Gabriel	
111 112 605	Youssef Roda Mohamed	

Historique des versions

<i>version</i>	<i>date</i>	<i>description</i>
0	06 février 2015	Ajout des chapitres introduction et description
1	15 février 2015	Ajout des chapitres objectifs et besoins et cahier des charges
2	20 mars 2015	Ajout du chapitre conceptualisation
Final	17 avril 2015	Ajout des chapitres : étude préliminaire et concept retenu

Table des matières

1	Introduction	4
2	Description	5
3	Besoins et Objectifs	6
3.1	Analyse des besoins	6
3.1.1	Qualité de l'éclairage	6
3.1.2	Automatisation	6
3.1.3	Communication locale et à distance	6
3.1.4	Collecte et sauvegarde des données	7
3.1.5	Sécurité	7
3.1.6	Autres considérations	7
3.2	Analyse des objectifs	7
3.2.1	Optimiser la qualité de l'éclairage	7
3.2.2	Automatiser le système	7
3.2.3	Optimiser la communication locale et à distance	7
3.2.4	Optimiser le stockage de données	7
3.2.5	Assurer la sécurité	8
3.2.6	Respecter les coûts et échéances	8
3.3	Hierarchisation des objectifs	8
4	Cahier des charges	9
4.1	Qualité de l'éclairage	10
4.1.1	Éclairement lumineux	10
4.1.2	Précision de mesure	10
4.1.3	Puissance consommée	11
4.1.4	Durée de vie des DEL	11
4.1.5	Dimensions du système	11
4.1.6	Intégration du système	12
4.2	Centre de gestion	12
4.2.1	Fréquence d'exécution	12
4.2.2	Nombre de signaux d'entrée	13
4.2.3	Nombre de signaux de sortie	13

4.3	Communication	13
4.3.1	Accès à distance (5 personnes)	13
4.3.2	Convivialité des interfaces	14
4.4	Sécurité	14
4.4.1	Protection de l'accès à distance	14
4.4.2	Protection des données du client	15
4.5	Mémoire du système	15
4.5.1	Durée de l'archivage des données	15
4.5.2	Capacité de stockage	16
4.5.3	Capacité de mémoire RAM	16
4.6	Coûts et échéances	17
4.6.1	Respect de l'échéance	17
4.6.2	Coût du projet	17
4.7	Maison de la qualité	18
5	Conceptualisation et analyse de faisabilité	19
5.1	Accéder à distance aux informations de manière sécurisée	20
5.1.1	Site web et application mobile développée par un tiers	21
5.1.2	Site web et application native développée par un tiers	21
5.1.3	Site web et application web mobile développé par un tiers	22
5.2	Capter les informations sur l'éclairage	22
5.2.1	SparkFun RGB Light Sensor Intersil ISL29125	23
5.2.2	Atlas Scientific ENV-RGB	24
5.2.3	GigaHertz HCT-99D	24
5.3	Réguler l'éclairage	25
5.3.1	Piccolo F28035 de Texas Instrument	26
5.3.2	Arduino Due	26
5.3.3	Raspberry Pi 2	27
5.4	Saisir et afficher localement les informations	28
5.4.1	Moniteur tactile ACL thinkTouch COT150-AWF01t	28
5.4.2	Moniteur avec clavier et souris (Moniteur IPS DEL de HP (20BW) + clavier et souris Logitech Combo MK120)	29
5.4.3	Magic Touch Deluxe HD	29
5.5	Saisir les informations à distance	30
5.5.1	Nexus 5	30
5.5.2	iPad mini (1er Génération)	31
5.5.3	PC 2-en-1 Lenovo Miix 2 10-20377 édition Signature	31
5.6	Produire l'éclairage	32
5.6.1	DEL RGB MR16, TRISTAR RGB DMX	32
5.6.2	Lampe MR16 RGB DMX HF 2.4GHz 5W	33
5.6.3	Projecteurs sur rails, Pyros RGB	33
5.7	Archiver et sécuriser les données	34
5.7.1	Disque électronique SSD	34

5.7.2	Google cloud	35
5.7.3	Serveur IWEB	36
5.8	Récolter les renseignements des visiteurs	36
5.8.1	Chromebook 2 accompagné d'un logiciel développé par un tiers	37
5.8.2	Surface 2 accompagnée d'une application Windows 8	38
5.8.3	iPad Air 2 accompagné d'une application iOS	38
6	Étude préliminaire	40
6.1	Plan d'étude	40
6.2	Concepts de solutions proposées	43
6.2.1	Solution 1	44
6.2.1.1	Qualité de l'éclairage	44
6.2.1.2	Analyse des données	45
6.2.1.3	Mémoire du système	46
6.2.1.4	Sécurité	46
6.2.1.5	Communication locale et à distance	47
6.2.1.6	Coûts et échéances	47
6.2.2	Solution 2	48
6.2.2.1	Qualité de l'éclairage	48
6.2.2.2	Analyse des données	49
6.2.2.3	Mémoire du système	49
6.2.2.4	Sécurité	50
6.2.2.5	Communication locale et à distance	50
6.2.2.6	Coûts et échéances	51
6.2.3	Solution 3	51
6.2.3.1	Qualité de l'éclairage	52
6.2.3.2	Analyse des données	52
6.2.3.3	Mémoire du système	53
6.2.3.4	Sécurité	53
6.2.3.5	Communication locale et à distance	53
6.2.3.6	Coûts et échéances	54
6.2.4	Solution 4	54
6.2.4.1	Qualité de l'éclairage	54
6.2.4.2	Analyse des données	55
6.2.4.3	Mémoire du système	56
6.2.4.4	Sécurité	56
6.2.4.5	Communication locale et à distance	56
6.2.4.6	Coûts et échéances	57
6.3	Synthèse des résultats	57

7	Concept retenu	59
7.1	Matrice de décision	59
7.2	Analyse décisionnelle	60
7.3	Description du concept retenu	61
7.4	Diagramme physique	62
7.5	Conclusion	62
	Bibliographie	63
A	Liste des sigles et des acronymes	69
B	Tableau du coût des fixations pour les LED et les Projecteurs	70

Table des figures

3.1	Hiérarchisation des objectifs	8
4.1	Maison de la qualité	18
5.1	Diagramme fonctionnel	19
7.1	Diagramme physique	62

Liste des tableaux

4.1	Tableau des critères	10
4.2	Pondération selon la dimension du système	12
4.3	Pondération selon la couleur du système	12
4.4	Pondération selon l'accès à distance au dispositif	14
4.5	Pondération selon la convivialité du dispositif local	14
4.6	Pondération selon la protection du système d'éclairage à distance	15
4.7	Pondération selon la protection des données du client	15
4.8	Pondération selon la durée de l'archivage des données	16
4.9	Pondération selon le respect de l'échéance	17
4.10	Pondération selon le coût total du projet	17
5.1	Tableau synthèse communication locale et à distance	22
5.2	Decision pour la fonction : capter les informations sur l'éclairage	25
5.3	Decision pour la fonction : Gestion des données	28
5.4	Tableau synthèse de l'affichage	30
5.5	Tableau synthèse des dispositifs mobiles	32
5.6	Tableau synthèse éclairage DEL	34
5.7	Tableau synthèse : Archiver et sécuriser les données	36
5.8	Tableau synthèse : Collecte des informations et des commentaire	39
6.1	Plan de développement pour la qualité de l'éclairage	40
6.2	Plan de développement pour l'analyse des données	41
6.3	Plan de développement pour les coûts et l'échéance	41
6.4	Plan de développement pour la communication locale et à distance	42
6.5	Plan de développement pour la sécurité	42
6.6	Plan de développement pour la mémoire du système	43
6.7	Solutions retenues	44
6.8	Évaluation du prix de la solution 1	48
6.9	Évaluation du prix de la solution 2	51
6.10	Évaluation du prix de la solution 3	54
6.11	Évaluation du prix de la solution 4	57
6.12	Tableau synthèse des résultats	58

<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	3
7.1 Matrice décisionnelle	60
B.1 Fixation sur rails des DEL	70

Chapitre 1

Introduction

Lorsqu'il est question de la conservation d'œuvres d'art, plusieurs facteurs sont pris en considération. Le choix de l'emplacement est primordial. La température et l'humidité doivent être hautement surveillées. Toutefois, un élément est souvent négligé par les centres d'exposition : l'éclairage. En effet, un éclairage excessif ou mal adapté est une source de dégradation.

C'est dans ce cadre que le Centre d'arts visuels de Québec a donné le mandat à LuxÉclairage de remplacer son système d'éclairage halogène par un système automatisé d'éclairage à diodes électroluminescentes afin de mieux préserver ses œuvres. Ce système permettra de réduire l'émission de rayonnement infrarouge tout en diminuant la consommation d'énergie et en augmentant la longévité du système d'éclairage.

Dans le but de réaliser un design optimal, il est nécessaire de décrire le projet du client. Ce rapport comprend donc une analyse des besoins et des objectifs ainsi qu'un cahier des charges qui assurera un suivi de la réalisation du projet. Ensuite, une section de conceptualisation ainsi qu'une analyse de faisabilité mèneront à une étude préliminaire permettant de définir le concept retenu.

Chapitre 2

Description

Notre firme de consultants, LuxÉclairage, a été mandatée par le Centre d'arts visuels de Québec afin de concevoir un projet pilote du nom de SystART. Ce projet consiste au remplacement du système d'éclairage actuel par un système automatisé à diode électroluminescente pour une des salles d'exposition.

En effet, ce musée désire changer ses dispositifs d'éclairage afin de valoriser les tableaux exposés, de limiter la dégradation de ceux-ci et d'augmenter l'espérance de vie de leurs équipements d'éclairage. Ce nouveau système à DEL doit pouvoir s'ajuster automatiquement afin d'optimiser l'expérience des visiteurs et de minimiser la consommation d'électricité. Plus précisément, ce dispositif doit être en mesure d'adapter l'intensité lumineuse, la couleur et la puissance de l'éclairage selon le moment de la journée. La configuration de l'éclairage doit également être assurée par un système de commande sécurisé et contrôlable à distance. Une alarme doit s'enclencher si des problèmes surviennent.

De plus, le mandat exige qu'un certain nombre d'informations concernant le système d'éclairage ainsi que les commentaires des visiteurs soient enregistrés pour une période d'un an dans la base de données du Centre d'arts visuels de Québec. Les employés pourront avoir accès à cette base de données. En bref, ce système doit être efficace, tout en gardant un aspect esthétique et en minimisant les coûts.

Chapitre 3

Besoins et Objectifs

Ce chapitre présente les besoins et les objectifs énoncés par le Centre d'art visuel de Québec lors de la description du mandat. Plus précisément, on y retrouve une description de chaque besoin ainsi qu'une analyse des objectifs. Un diagramme des objectifs conclut le tout [3.1](#).

3.1 Analyse des besoins

3.1.1 Qualité de l'éclairage

Le client demande que l'éclairage des tableaux soit remplacé par des DEL RGB. En effectuant ce changement, il souhaite également que le nouveau système assure la variation automatique de l'éclairement lumineux total selon la période de la journée avec une précision minimale de 5 lux. D'ailleurs, l'ajustement pour chaque couleur doit couvrir une plage de 50 à 350 lux.

3.1.2 Automatisation

Le centre d'arts visuels de Québec impose que le centre de gestion permette de réguler l'éclairement lumineux automatiquement en recevant les données recueillies. L'automatisation du système comporte la réception, l'analyse et l'envoi de données. Également, une alarme doit être générée en cas de problème. De plus, l'algorithme de régulation doit être exécuté à une fréquence minimale de 2 Hz.

3.1.3 Communication locale et à distance

Le client demande que les données du système puissent être configurables à partir d'un dispositif mobile ainsi qu'une interface locale. D'ailleurs, un accès à distance sécurisé pour 5 techniciens est demandé.

3.1.4 Collecte et sauvegarde des données

Le centre d'arts visuels de Québec exige que les données de configuration de l'éclairage, les consignes, les renseignements concernant les alarmes, les mesures et les commandes associées à chaque tableau doivent être recueillis et archivés. De plus, les commentaires d'au moins 60 pourcents des visiteurs doivent être collectés. De plus,

3.1.5 Sécurité

Le client demande un accès à distance sécurisé aux données du système d'éclairage. De plus, les renseignements et les commentaires des visiteurs doivent être confidentiels.

3.1.6 Autres considérations

Pour satisfaire le client, il est de mise de livrer le projet à temps, soit pour le 1er février 2016, et ce avec les coûts les plus faibles possible.

3.2 Analyse des objectifs

3.2.1 Optimiser la qualité de l'éclairage

L'un des principal objectif est d'optimiser la qualité de l'éclairage pour la mise en valeur des oeuvres tout en veillant à leur conservation et en assurant le confort visuel des visiteurs. Il est donc important de maximiser l'éclairement lumineux, d'assurer une précision de mesure, de réduire la consommation électrique du système, de maximiser la durée de vie du système et enfin d'assurer la discrétion du système.

3.2.2 Automatiser le système

Afin d'assurer l'automatisation du système, il sera nécessaire de recevoir les signaux d'informations, d'exécuter l'algorithme de régulation, d'envoyer les signaux d'informations et enfin d'envoyer une notification d'alarme.

3.2.3 Optimiser la communication locale et à distance

Il est de mise que le système de commande permette d'optimiser l'accès à distance et ensuite d'assurer une interface conviviale pour son utilisateur.

3.2.4 Optimiser le stockage de données

Au cours de la période test d'un an, il est important de maximiser la capacité des serveurs et de maximiser l'archivage des données.

3.2.5 Assurer la sécurité

Il est nécessaire de sécuriser l'accès au système et d'assurer la confidentialité des visiteurs.

3.2.6 Respecter les coûts et échéances

Il est important de respecter l'échéance et minimiser le cout du projet.

3.3 Hiérarchisation des objectifs

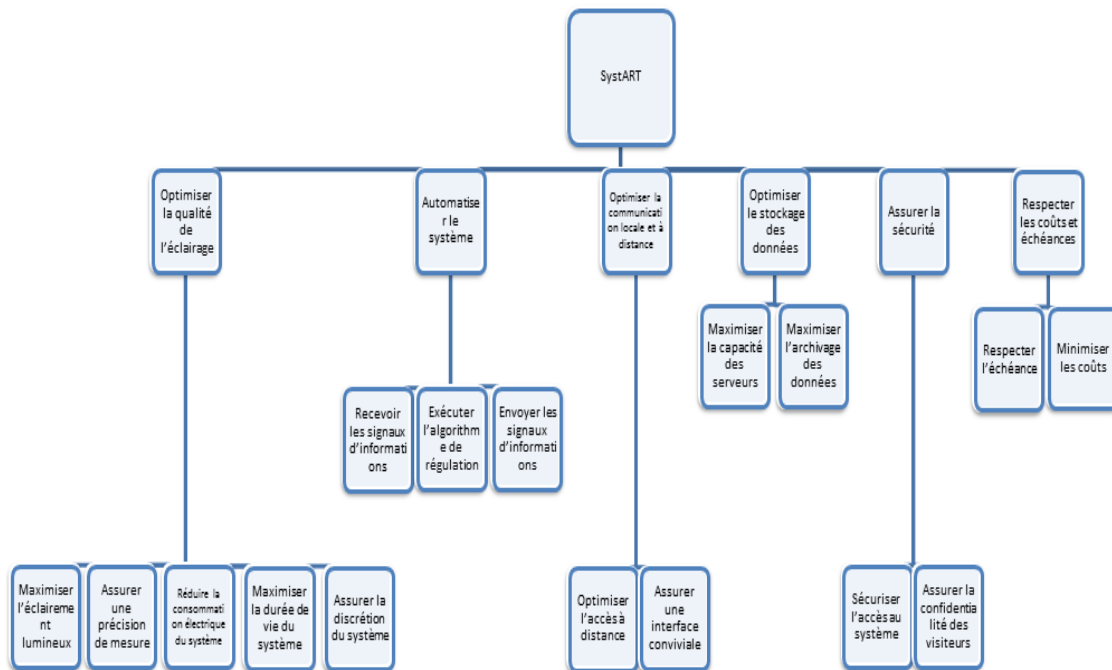


FIGURE 3.1 – Hiérarchisation des objectifs

Chapitre 4

Cahier des charges

Le cahier des charges présente les critères reliés aux objectifs énoncés plus haut. Une pondération relative est assignée à chacun des critères selon leur importance. De plus, des barèmes sont posés afin de comparer diverses solutions selon le respect des critères cités dans le tableau 4.1. La relation entre les objectifs et les critères est présentée dans la maison de la qualité à la figure 4.1.

<i>Critères</i>	<i>Pond.</i>	<i>Barème</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
Qualité de l'éclairage	35 %			
4.1.1 Éclairage lumineux	10 %	Équation 4.1	350 lux	5 lux 1600 Watts
4.1.2 Précision de mesure	5 %	Équation 4.2	0 lux	
4.1.3 Puissance consommée	10 %	Équation 4.3	15000 heures	
4.1.4 Durée de vie des DEL	5 %	Équation 4.4		
4.1.5 Dimensions du système	2.5 %	Table 4.2		
4.1.6 Intégration du système	2.5 %	Table 4.3		
Centre de gestion	15 %			
4.2.1 Fréquence d'exécution	5%	Équation 4.5	2 Hz	
4.2.2 Nombre de signaux d'entrée	5%	Équation 4.6	8 signaux	
4.2.3 Nombre de signaux de sortie	5%	Équation 4.7	8 signaux	
Communication locale et à distance	15 %			
4.3.1 Accès à distance	8 %	Table 4.4		
4.3.2 Convivialité des interfaces	7 %	Table 4.5		
Sécurité	10 %			
4.4.1 Protection de l'accès à distance	5 %	Table 4.6		
4.4.2 Protection des données du client	5 %	Table 4.7		

Mémoire du système	10 %			
4.5.1 Durée de l'archivage des données	3 %	Table 4.8		
4.5.3 Capacité de stockage	4 %	Équation 4.8	500 Go	1000 Go
4.5.2 Capacité de mémoire RAM	3 %	Équation 4.9	8 Go	16 Go
Coûts et échéances	15 %			
4.6.1 Respect de l'échéance	10 %	Table 4.9		1 février 2016
4.6.2 Coût du projet	5 %	Table 4.10		

TABLE 4.1 – Tableau des critères

4.1 Qualité de l'éclairage

4.1.1 Éclairement lumineux

L'éclairement lumineux est le principal facteur de la qualité de l'éclairage. Chaque couleur RGB doit être réglée de 50 à 350 lux (0 - 100%). Le flux lumineux émis par la source est obtenu selon la surface à éclairer, et le nombre de lux désirés. Comme l'éclairement lumineux désiré par couleur doit pouvoir varier jusqu'à 350 lux, on doit avoir, sur une surface circulaire dont le rayon est de 1.5 m ($S = 7.068 \text{ m}^2$), un flux lumineux de 2473 lumens, c'est aussi le nombre de lumen reçu en tout point d'une surface de 1m^2 , mais c'est également l'intensité lumineuse (lm/sr). Par la suite, il faut multiplier par l'angle solide ou angle d'ouverture de la lampe DEL pour avoir le flux lumineux de la DEL.

$$\text{Flux source (lm)} = \text{intensité lumineuse (lm/sr)} * 2 \pi [1 - \cos(\alpha/2)]$$

α : angle d'ouverture de la DEL

La DEL doit pouvoir émettre au tableau, un éclairement lumineux d'au moins 1050 lux, on évalue donc ce critère d'après le barème formulé ci-dessous :

$$1 - \left(\frac{350}{E}\right)^5, E \in [350; \infty[\quad (4.1)$$

où E est l'éclairement lumineux en lux.

La pondération de ce critère est 10 %, car un éclairage de qualité qui met d'avant les oeuvres d'art est un élément primordial du projet.

4.1.2 Précision de mesure

Le client demande que l'éclairement lumineux soit ajusté avec une précision inférieure à 5 lux. La précision de l'appareil de mesure, le luxmètre, est donc très importante. La distribution de la côte, de 0 à 1, est donnée selon la formule suivante :

$$1 - \left(\frac{E}{5}\right)^3, E \in]0; 5[\quad (4.2)$$

où E est l'éclairement lumineux en lux.

La pondération de ce critère est de 5 %, car un éclairage mal adapté peut endommager les tableaux du centre d'art.

4.1.3 Puissance consommée

La consommation électrique est un facteur important pour l'efficacité énergétique du système. On évalue ce système par rapport à la consommation électrique globale des lampes halogènes actuels, qui est de $8 \times 4 \times 50 = 1600$ W. La puissance consommée par le système doit donc être inférieure à 1600 W et son évaluation suit la relation ci-dessous :

$$1 - \left(\frac{P}{1600} \right)^2, P \in]0; 1600[\quad (4.3)$$

où P est la puissance consommée en watt.

La pondération de ce critère est de 10 %, puisqu'un système ayant une consommation électrique plus élevée que le système actuel est peu avantageux.

4.1.4 Durée de vie des DEL

En prenant en considération la philosophie du développement durable, il est important de considérer la durée de vie des DEL. La durée de vie moyenne de l'ancien système halogène est de 2500h et la durée de vie moyenne des DEL est de 50000h. Ainsi nous avons pondéré les durées de vie selon des intervalles conformes aux données fournies par les fabricants et relatives au système précédent. L'équation 4.4 permet d'évaluer ce critère :

$$1 - \left(\frac{15000}{t} \right)^2, t \in [15000; \infty[\quad (4.4)$$

où t est la durée de vie des DEL en heure.

La pondération de ce critère est de 5 %, car le client souhaite obtenir un système efficace à long terme.

4.1.5 Dimensions du système

Etant donné que notre client est un musée, il est essentiel que le système que nous mettons en place ne soit pas trop encombrant pour ne pas détériorer l'expérience visuelle des visiteurs. La surface du plafond est de $6m \times 9m = 54m^2$. Ainsi, nous avons estimé que le système d'éclairage à DEL ne devrait idéalement pas occuper plus d'un cent-cinquantième de cette surface soit $0.36 m^2$ au maximum. Le tableau 4.2 permet d'évaluer ce critère.

La pondération de ce critère est de 2.5 %, car le système d'éclairage doit se fondre au décor.

Pondération	Intervalle (m^2)
0	]0,27 - 0.36]
0.5	]0,18 - 0.27]
0.75	]0.09 - 0.18]
1	]0 - 0.09]

TABLE 4.2 – Pondération selon la dimension du système

4.1.6 Intégration du système

Tout comme le point précédent, la couleur du système est importante afin de ne pas être trop visible et se fondre dans l'environnement. Les murs de la salle d'expositions sont de couleur blanche et les DEL sont accrochées au plafond. Ainsi nous avons classé les couleurs en catégories afin d'avoir une idée plus précise des couleurs qui sont en adéquation avec le blanc. La catégorie 0 est la catégorie la plus adaptée, la catégorie 1 ne crée pas de conflit de couleur avec le blanc, la catégorie 2 est celle qui crée un léger conflit avec le blanc, et la catégorie 3 est à proscrire. Le tableau 4.3 permet d'évaluer ce critère

- Catégorie 0 : Blanc, Blanc cassé, Blanc d'Espagne, Coquille d'Oeuf, Cuisse de nymphe, Ecu, Lin, Neige
- Catégorie 1 : Argile, Azur, Beige clair, Bleu dragée, Etain, Gris perle, Ivoire, Jaune de Naples, Rose Razzle Dazzle, Sable
- Catégorie 2 : Argent, Bisque, Bleu fumée, Gris de lin, Pervenche, Rose dragée, Souris, Tourterelle, Vanille, Vert d'eau, Vert de gris,
- Catégorie 3 : Autres

Pondération	Catégorie
0	3
0,5	2
0.8	1
1	0

TABLE 4.3 – Pondération selon la couleur du système

La pondération de ce critère est de 2.5 %, car les DEL accrochées aux plafonds doivent être discrètes. Une couleur contrastante aurait l'effet inverse.

4.2 Centre de gestion

4.2.1 Fréquence d'exécution

L'exécution de l'algorithme de régulation se doit d'être effectuée de manière ponctuelle afin d'assurer une qualité d'éclairage optimale. Il est donc nécessaire d'effectuer cette tâche le

plus souvent possible. De ce fait, le client souhaite que la fréquence minimale de l'exécution de l'algorithme soit de 2 Hz. L'équation 4.5 permet d'évaluer ce critère :

$$1 - \left(\frac{2}{x}\right)^3, x \in [2; \infty[\quad (4.5)$$

où x est la fréquence d'exécution en Hz.

La pondération de ce critère est de 5 %, car les informations concernant l'éclairage doivent constamment être à jour.

4.2.2 Nombre de signaux d'entrée

Le client indique que 8 tableaux sont exposés simultanément et que chaque tableau est éclairé par 4 lampes. Le système se doit donc de comporter 8 signaux d'entrée afin d'être optimal. Le client n'indique cependant pas de spécification quant au nombre maximal de signaux d'entrée. Tout système comportant moins de 8 signaux en entrée se verra attribuer la note de 0. L'équation 4.6 permet d'évaluer ce critère :

$$1 - \left(\frac{8}{y}\right)^3, y \in [8; \infty[\quad (4.6)$$

où x est le nombre de signaux en entrée.

La pondération de ce critère est de 5 %, car plus il y a de signaux, moins il y a de risques d'erreurs.

4.2.3 Nombre de signaux de sortie

Tout comme pour le nombre de signaux d'entrée, le client n'indique pas de nombre maximal de signaux de sortie. Le système se doit de comporter 8 signaux de sortie afin d'être optimal. Tout système comportant moins de 8 signaux de sortie se verra attribuer la note de 0. L'équation 4.7 permet d'évaluer ce critère :

$$1 - \left(\frac{8}{z}\right)^3, z \in [8; \infty[\quad (4.7)$$

où z est le nombre de signaux en sortie.

Tout comme pour le nombre de signaux en sortie, la pondération de ce critère est de 5 %, car plus il y a de signaux, moins il y a de risques d'erreurs.

4.3 Communication

4.3.1 Accès à distance (5 personnes)

Afin que le système d'éclairage soit toujours bien optimisé, il est important que l'accès au dispositif local soit possible à distance, et ce pour 5 techniciens responsables. Il est indispensable que l'accès aux réglages en temps réel soit simple et rapide pour chacun, même hors du

musée, de manière sécurisée. La sécurité est un aspect spécifiquement demandé par le client. C'est pourquoi les solutions qui ne comportent aucune sécurité ne seront pas considérées. Le tableau 4.4 permet d'évaluer ce critère :

Pondération	Accès
0	Accès à distance presque impossible
0,5	Accès à distance comportant quelques limitations
1	Accès fiable et rapide en tout temps

TABLE 4.4 – Pondération selon l'accès à distance au dispositif

La pondération de ce critère est de 8 %, car il est primordial que le système d'éclairage puisse être contrôlé à distance.

4.3.2 Convivialité des interfaces

Pour satisfaire le client, il est important que l'interface locale, le dispositif mobile ainsi que la récolte des commentaires soient faits de manière simple et intuitive pour les utilisateurs. Alors, en plus d'être fonctionnels, les interfaces se doivent être le plus conviviale possible pour assurer la satisfaction du client et rendre son utilisation la plus efficace possible. La note méritée se rapproche de 1 plus l'interface semble être conviviale. Le tableau 4.5 servira à évaluer ce critère :

Pondération	Convivialité
0	Interaction très difficile avec les dispositifs
0,5	Interaction difficile avec les dispositifs
1	Interaction simple avec les dispositifs

TABLE 4.5 – Pondération selon la convivialité du dispositif local

La pondération de ce critère est de 7 %, car il est essentiel que les interfaces soient intuitives et simples.

4.4 Sécurité

4.4.1 Protection de l'accès à distance

L'accès à distance du système d'éclairage est un moyen efficace afin d'interagir avec les dispositifs. Cependant, un accès non sécurisé peut engendrer de lourdes conséquences. En effet, la modification des paramètres du système par des gens non autorisés peut nuire à l'expérience des visiteurs et mener à la dégradation des tableaux exposés. Ainsi, il est important de sécuriser l'accès à distance. Le tableau 4.6 permet d'évaluer ce critère. En effet, une protection restreinte obtient la note de 0, tandis qu'une protection confidentielle, c'est-à-dire,

une protection qui sécurise l'accès et demande de bonnes connaissances pour être piratée se voit attribuer la note de 0.5. Finalement, la protection secrète se voit attribuer la note de 1. Cette protection sécurise l'accès et n'a aucune faille informatique.

Pondération	Protection
0	Restreinte
0,5	Confidentielle
1	Secrète

TABLE 4.6 – Pondération selon la protection du système d'éclairage à distance

La pondération de ce critère est de 5 %, car il est essentiel de protéger les paramètres d'éclairage.

4.4.2 Protection des données du client

Les renseignements et les commentaires des visiteurs doivent être confidentiels. De ce fait, il est important de protéger ces informations afin de maintenir un bon niveau de confiance entre le client et le musée. En effet, cela permet d'obtenir des commentaires plus véridiques et sincères de la part du client. De plus, la protection des données permet d'éviter le vol d'informations et ainsi anéantir toute sorte de poursuites judiciaires. Le tableau 4.7 permet d'évaluer ce critère. En effet, une protection restreinte obtient la note de 0, tandis qu'une protection confidentielle, c'est-à-dire, une protection qui demande de bonnes connaissances pour être piratée se voit attribuer la note de 0.5. Finalement, la protection secrète se voit attribuer la note de 1. Cette protection n'a aucune faille informatique.

Pondération	Protection
0	Restreinte
0,5	Confidentielle
1	Secrète

TABLE 4.7 – Pondération selon la protection des données du client

La pondération de ce critère est de 5 %, car la confidentialité des commentaires doit être respectée.

4.5 Mémoire du système

4.5.1 Durée de l'archivage des données

Le client exige que les informations concernant les consignes, les mesures, les commandes, les paramètres de configurations et les alarmes reliés au système d'éclairage soient conservées

pour une période d'un an. De plus, les commentaires des visiteurs et les informations relatives à leurs visites doivent également être sauvegardés, pour cette même période de temps. Ainsi, un système ayant la capacité de stockage pour la période d'un an, se voit attribuer la note de 0. La note de 0,5 pour une période de stockage de 5 ans et finalement une note de 1 pour plus de 5 ans. Ce critère est évalué selon le tableau 4.8 ci-dessous :

Pondération	Durée
0	Durée d'archivage d'un an
0,5	Durée d'archivage de 5 ans
1	Durée d'archivage de plus de 5 ans

TABLE 4.8 – Pondération selon la durée de l'archivage des données

La pondération de ce critère est de 3 %, car les données doivent être stockées pour un minimum d'un an.

4.5.2 Capacité de stockage

Le système doit pouvoir stocker les commentaires d'au minimum 75 000 usagers sur une période d'un an. Un commentaire détaillé contenant les informations personnelles des visiteurs ainsi que ses commentaires pour 8 tableaux pèse environ 200 Ko. Il faut donc un minimum de 24 Go afin de s'assurer un espace suffisant si la totalité des visiteurs commentent de façon complète. En plus de ces données, les paramètres de configuration de l'éclairage de huit tableaux ainsi que les informations concernant la génération d'une alarme doivent être enregistrés. Pour respecter ce critère, une mémoire minimale de 500 Go est nécessaire. De plus, la capacité maximale de stockage a été déterminée en prenant en considération que le nombre de visiteurs a doublé, donc 1000 Go de stockage. Ce critère est évalué selon la formule suivante :

$$\frac{m - 500}{500} \quad (4.8)$$

où m est en Go avec une valeur variant de 500 Go à 1000 Go

La pondération de ce critère est de 4 %.

4.5.3 Capacité de mémoire RAM

La quantité de mémoire RAM doit être considérée afin d'éviter la surcharge du système. Puisque le centre d'arts visuels du Québec reçoit en moyenne 125 000 visiteurs par année, le système doit être en mesure de supporter près de 350 utilisateurs en une journée ainsi que les alarmes et les changements de configuration de l'éclairage de 8 tableaux. Afin d'assurer le bon fonctionnement du système, 8 Go est nécessaire, où une capacité de moins de 8 Go est insuffisante. De plus, la quantité maximale de la mémoire Ram a été déterminé en prenant en considération que le nombre de visiteurs a doublé, donc 16 Go de mémoire Ram. Ces valeurs

ont été estimées par un programme conçu à cet effet [69]. Encore une fois, le critère est évalué de 0 à 1. Ce critère est évalué selon la formule suivante :

$$\frac{r - 8}{8} \quad (4.9)$$

où r est en Go avec une valeur variant de 8 Go à 16 Go. La pondération de ce critère est de 3 %, car plusieurs usagers vont avoir accès aux systèmes en même temps.

4.6 Coûts et échéances

4.6.1 Respect de l'échéance

LuxÉclairage a reçu comme mandat que le systArt doit entrer en fonction pour le 1er février 2016. Il est de mise que le système soit livré en temps et lieu pour ne pas engendrer de coût supplémentaire et l'insatisfaction du client. Le tableau 4.9 permet d'évaluer ce critère :

Pondération	Échéance
0	1er février 2016
0,5	1er janvier 2016
1	1er décembre 2015

TABLE 4.9 – Pondération selon le respect de l'échéance

La pondération de ce critère est de 10%, car la crédibilité de l'entreprise vient du fait qu'elle respecte les conditions des clients.

4.6.2 Coût du projet

Malgré que le client n'ait posé aucune restriction quant au coût du systART, il est important que celui-ci soit le plus faible possible. Ainsi, en proposant des solutions utilisant des composantes à faible coût qui offrent une qualité impeccable, le client sera comblé. Il a été évalué que le système d'éclairage pourrait coûter autour de 10 000\$ et l'interface plusieurs dizaines de milliers. Le tableau 4.10 permet d'évaluer ce critère :

Pondération	Coût(\$)
0	]100000, ∞ [
0.2	]80000, 100000]
0.4	]60000, 80000]
0,6	]40000, 60000]
0,8	]20000, 40000]
1	]0, 20000]

TABLE 4.10 – Pondération selon le coût total du projet

La pondération de ce critère est de 5 %, car il n'y a pas de budget limite à respecter, mais le client souhaite que les coûts soient minimisés.

4.7 Maison de la qualité

Relation :		Critères	Objectifs																	
Forte :	★		Éclairement lumineux	Précision de mesure	Puissance consommée	Durée de vie des LED	Dimensions du système	Intégration du système	Fréquence d'échantillonnage	Nombre de signaux d'entrées	Nombre de signaux en sortie	Accès à distance	Dispositif local et mobile	Durée de l'archivage des données	Capacité de mémoire RAM	Capacité de stockage	Protection de l'accès à distance	Protection des données des clients	Respect de l'échéance	Coût du projet
Optimiser la qualité de l'éclairage	Maximiser l'éclairement lumineux	★																		■
	Assurer une précision de mesure		★																	■
	Réduire la consommation électrique du système			★																
	Maximiser la durée de vie du système				★															
	Assurer la discrétion du système					★	★													
Automatiser le système	Recevoir les signaux d'Informations							■	★							★				
	Exécuter l'algorithme de régulation							★			■	■								
	Envoyer les signaux d'informations									★										
Optimiser la communication locale et à distance	Optimiser l'accès à distance										★									
	Assurer une interface conviviale										★	★					●			■
Optimiser le stockage des données	Maximiser la capacité des serveurs											●	■	★	★					
	Maximiser l'archivage des données												●		★		●			
Assurer la sécurité	Sécuriser l'accès au système																★			
	Assurer la confidentialité des visiteurs														●			★		
Respecter les coûts et échéances	Respecter l'échéance																		★	
	Minimiser les coûts																			★
Contraintes		> 350 Lux	[0, 5] Lux	<1600 Watts	>15 000 heures			> 2Hz	>8 signaux	>8 signaux				[8, 16] Go	[500, 1000] Go				1 février 2016	

FIGURE 4.1 – Maison de la qualité

Chapitre 5

Conceptualisation et analyse de faisabilité

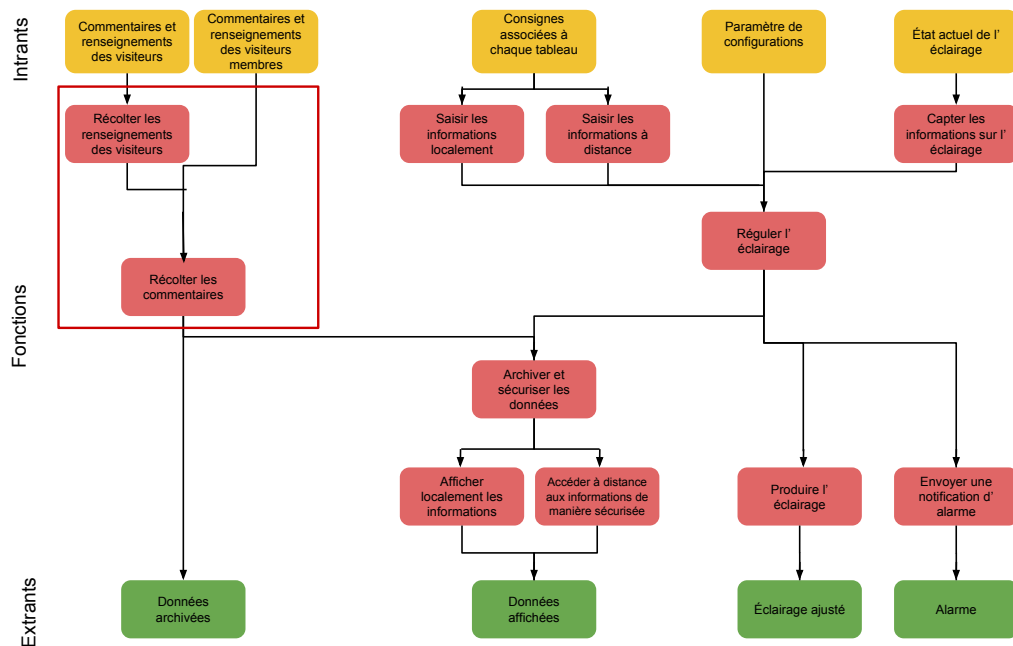


FIGURE 5.1 – Diagramme fonctionnel

Afin d'assurer l'optimisation du système, les fonctions principales du dispositif doivent être clairement définies. Tout d'abord, les commentaires et les renseignements des visiteurs, les consignes associées à chaque tableau et les données sur l'état actuel de l'éclairage sont les intrants du système. Ensuite, selon les demandes du client, le système d'éclairage doit pouvoir collecter, archiver et sécuriser les données d'entrées. En plus de capter les données sur l'état actuel de l'éclairage, ce dernier doit les comparer avec les consignes préalablement programmées pour chaque tableau. Les informations doivent être transmises localement et à distance et l'éclairage doit s'ajuster selon les critères du client. Finalement, les données archivées et l'éclairage des tableaux sont les extrants du système. Le procédé ci-haut est schématisé à la figure 5.1.

5.1 Accéder à distance aux informations de manière sécurisée

Pour s'assurer que le dispositif d'éclairage fonctionne toujours de façon adéquate, le client requiert que le système possède un accès à distance sécurisé pour 5 personnes et un accès local sur un dispositif mobile qui permet au technicien responsable d'effectuer des configurations. Le dispositif d'éclairage doit donc être en mesure de recevoir des consignes de la part du technicien responsable et les techniciens de recevoir les informations en temps réel sur l'état du système. De plus, le technicien responsable doit être alerté en cas d'erreur dans le système. Une notification d'alarme doit donc pouvoir être envoyée au technicien responsable grâce au dispositif mobile. L'accès aux réglages doit être simple et rapide même à l'extérieur du musée.

Les critères de faisabilités des concepts pour cette section sont évalués selon les aspects suivants :

Aspects physiques :

- Le système doit être simple d'utilisation
- Le système doit être accessible partout et en tout temps

Aspects économiques :

- Le coût d'implantation du concept se doit d'être le plus faible possible

Aspects temporels :

- Le concept retenu doit être mis en service au plus tard le 1er février 2016

Aspects socio-environnementaux :

- L'accès aux données doit être sécuritaire

Précision : Afin d'assurer une communication optimale, cette fonction sera divisée en deux sous-sections :

- Concepts permettant d'avoir accès aux informations de l'éclairage et de les modifier
- Dispositif mobile

Afin d'avoir un accès sur l'état actuel de l'éclairage et de pouvoir envoyer des consignes au dispositif d'éclairage tant localement qu'à distance, une application sera développée.

5.1.1 Site web et application mobile développée par un tiers

Description : Un site web permet un accès simple et rapide sur le dispositif local tandis qu'une application mobile assure un accès à distance efficace pour tous les techniciens. L'entreprise charge un coût de base pour les paramètres du site web ainsi que pour sa maintenance. Ce montant est de 5 000\$. Le gros du projet et du budget est dédié à l'application mobile. On désire développer une application qui permet au technicien responsable d'avoir accès aux conditions de l'éclairage en temps réel à partir d'un téléphone, d'une tablette ou de toutes autres technologies mobiles. Une notification doit être générée par l'application mobile pour informer le technicien responsable d'une anomalie dans le système d'éclairage. De plus, on veut une interface simple et efficace et surtout que l'accès aux informations soit sécurisé. Pour ce faire, lors de la conception du produit, un accès de type LDAP sera implanté afin de limiter les utilisateurs ayant accès à l'application. Le protocole LDAP protège les données transmises à l'aide de mécanismes de chiffrement et d'authentification. LDAP permet aussi à l'administrateur d'autoriser l'accès aux informations et à la base de données à un nombre de personnes restreint. Les données stockées seront cryptées. La création de cette solution prendrait aux alentours de 20 semaines ce qui respecte l'échéancier. Pour une application mobile possédant toutes les caractéristiques énoncées si haut, le coût s'élève à 60 000\$

Décision : Retenue

Justification : Une telle application conçue par une compagnie professionnelle assurerait l'efficacité et le professionnalisme. De plus, une demande spéciale pour une sécurité accrue des communications pourra être faite. Toutefois, malgré que le client n'a pas imposé de budget, un tel concept aurait des coûts très élevés : près de 65 mille dollars.

Référence : [9][7][5][70][71]

5.1.2 Site web et application native développée par un tiers

Description : Un autre concept intéressant serait de mandater un particulier afin de concevoir une application native en plus d'un site web. Une application native est un logiciel spécifiquement conçu et programmé pour un type d'appareil en particulier, par exemple Android. Elle est très efficace, cependant l'application n'est adaptée qu'à une seule plateforme : celle de sa conception. Il faut donc s'assurer que le responsable du projet soit à l'aise avec le langage désiré afin de maximiser l'application et que la plateforme convient à l'outil que possèdent les techniciens afin de communiquer avec le dispositif. Cette application native doit permettre d'envoyer une notification d'alarme en cas d'anomalie dans le système. Pour ce qui est du coût et de la sécurité, la communication entre applications natives est sécuritaire tant qu'elle reste entre applications native programmée sur la même plateforme. Les coûts sont élevés, soit dans les alentours de 50 000 \$ avec le site web pour une application Android. Ce coût peut énormément grimper si on veut rendre l'application accessible sur plusieurs surfaces. Le temps de conception est d'environ 25 semaines.

Décision : rejetée

Justification : Le client a demandé que la communication à distance soit sécurisée. Ce-

pendant, un tel concept ne permet pas de respecter cette demande en toute circonstance. De plus, puisqu'une application native est compatible uniquement sur une plateforme d'exploitation, cela limite l'accès des techniciens à des appareils respectant cet encodage.

Référence : [10][6][7][5][70]

5.1.3 Site web et application web mobile développé par un tiers

Description : Une autre solution consiste à employer des développeurs afin de créer une application web. Une application web est un site Internet spécialement conçu pour les appareils mobiles. Contrairement à l'application native, l'application web est accessible sur toutes les plateformes elle est donc compatible avec la majorité des appareils. Cette application web doit permettre d'envoyer une notification d'alarme en cas d'anomalie dans le système. Puisqu'elle est consultable sur n'importe quelle terminale, aucun besoin d'une application mobile. De plus, puisque les taux horaires d'un développeur HTML5 sont en général inférieurs aux taux horaires d'un développeur d'application native, les coûts de développements sont réduits. En ce qui concerne la sécurité, il est possible de crypter les communications entrantes et sortantes. Les bases de données disposent généralement de leur propre sécurité. L'accès sera limité par une sécurité de type LDAP. La durée de conception est d'environ 20 semaines, toutefois un maintien régulier est nécessaire avant de s'assurer qu'elle s'adapte aux changements fréquents du système d'exploitation. Le coût tourne aux alentours de 30 000 \$. Le prix inclut le développement du site internet.

Décision : Retenue

Justification : Une telle application conçue par une compagnie professionnelle assure une interface fiable et conviviale ainsi que le respect de tous les critères requis par le client, telle la sécurité des communications. L'échéancier est respecté.

Référence : [5][7][9][70]

Le tableau 5.1 résume la sous-section des concepts permettant d'interagir avec le système.

Concepts	Aspects de l'analyse				Décision
	<i>Physiques</i>	<i>Économiques</i>	<i>Temporels</i>	<i>Socio-envir</i>	
Application mobile	OUI	OUI	OUI	NON	REJETÉE
Application native	OUI	OUI	OUI	OUI	RETENUE
Application web mobile	OUI	OUI	OUI	OUI	RETENUE

TABLE 5.1 – Tableau synthèse communication locale et à distance

5.2 Capter les informations sur l'éclairage

Afin d'assurer un éclairage de qualité et régulé selon les besoins du client, il est primordial de pouvoir capter les informations sur l'éclairage actuel afin de pouvoir les transmettre au système pour que ces informations soient traitées. Pour ce faire, il faut capter l'éclairement

lumineux et la mesure de la coordonnée des couleurs RGB en fonctions X,Y et Z. Nous avons sélectionné plusieurs dispositifs et nous déterminerons si ces dispositifs sont viables ou non.

Les critères de faisabilités des concepts pour cette section sont évalués selon les aspects suivants :

Aspects physiques :

- Il faut que le capteur soit résistant, discret, intégrable à la salle d'exposition et possède une fréquence d'échantillonnage d'au moins 2 Hz.

Aspects économiques :

- Nous devons nous assurer que le prix soit minimal.

Aspects temporels :

- Le capteur doit avoir une durée de vie suffisante pour être considéré comme une solution viable.
- il doit également être livré avant la date de mise en service soit le 1er Janvier 2016.

Aspects socio-environnementaux :

- Le capteur doit avoir une consommation électrique réduite afin d'être en accord avec la philosophie du cahier des charges.

5.2.1 SparkFun RGB Light Sensor Intersil ISL29125

Description : Le Intersil ISL29125 est un dispositif de mesure de l'intensité lumineuse ainsi que de la disposition chromatique d'un signal lumineux. Il se présente sous la forme d'un circuit imprimé avec des pins accessibles. Il permet d'effectuer des mesures sur le spectre du visible avec une précision de $\pm 5\%$ et possède un filtre IR qui bloque les rayons infrarouges afin de ne pas fausser les mesures. C'est un dispositif qui est compatible avec n'importe quel appareil de contrôle Arduino et il d'une dimension relativement réduite puisqu'il n'occupe qu'une surface équivalente à 1 pièce de 25 sous. Sa tension d'opération est de 3,3V et son courant d'opération est de 56 uA. Il possède 2 intervalles sélectionnables pour la mesure de l'intensité lumineuse un intervalle allant de 5,7 mlx à 375 lx et l'autre allant de 0,152 lx à 10 klx ce qui permet d'effectuer des mesures plus ou moins précises selon les besoins. Les données mesurées sont encodées sur 16bits et sont ensuite converties d'analogiques à numérique grâce au protocole I2C (compatible SMBus) du dispositif qui possède une pin dédiée à cette utilisation. Son horloge SCL commute à une fréquence maximale de 500kHz. Son coût est de 9,50\$ l'unité ce qui fait un total de 76\$ pour 8 capteurs. Si l'on estime le coût de soudure relié aux fils de connexion comme étant de 35\$ pour un jour (le coût de la location d'un poste à souder pour une durée d'une journée) et que l'on y ajoute le prix d'un boîtier de taille adaptée réalisé sur mesure 8,99\$ soit 71,92\$, le coût total de cette solution serait de 182,92\$ au total.

Decision : Retenue mais

Justification : Ce dispositif présente des avantages certains. Il répond aux contraintes physiques, possède un prix attractif et fonctionne à tension et courant raisonnable. Néanmoins ce dispositif est un circuit imprimé, il est donc fragile, il faut le protéger afin qu'il ne s'abîme pas. Il faut donc rajouter en plus des câbles et des soudures à effectuer, le prix d'un boîtier de protection qui alourdit la facture.

Références : [28] [29] [30] [31] [32]

5.2.2 Atlas Scientific ENV-RGB

Description : L'ENV-RGB d'Atlas Scientific est une sonde de mesure de l'intensité lumineuse ainsi que de la couleur d'un signal lumineux. Ce dispositif se présente sous la forme d'une sonde métallique avec des fils d'une part et le dispositif de captage d'autre part de la sonde. Les données sur la couleur sont encodées sur 8 bits avec des valeurs allant de 0 à 255. L'intensité lumineuse est donnée directement en lux par ce détecteur qui permet de la mesurer pour chaque couleur mais également pour tout le spectre visible pour des valeurs allant de 0 à 3235 lx. Les données sur la couleur ainsi que sur l'intensité lumineuse peuvent être mises en sortie toutes les 2 simultanément et sont directement encodées sous forme de chaînes de caractères encodées au format ASCII en hexadécimal. Il peut communiquer de manière aisée avec les systèmes Raspberry Pi et Arduino entre autres. De par sa structure, il est résistant à l'eau (salée ou non), à la poussière, à la glace et aux chocs pouvant aller jusqu'à 16 Mpa ce qui lui permet d'agréer aux normes de qualité NEMA 6P et IP68. Il possède un intervalle d'opération pouvant aller de -40°C à 85°C. Son jeu d'instruction est relativement simple puisqu'il n'en comporte que 5 et il possède une fréquence d'opération sur les données d'environ 833Hz. Il consomme en mode actif à 4,15mA à 3,3V pour une utilisation quelconque, et pour une utilisation en mode fonction logique, il consomme 4.3 mA à 5V. Son prix est de 45,60\$ l'unité soit 364,80\$ au total + 30\$ de livraison soit 394,80\$ au total.

Décision : Retenue

Justification : Le dispositif répond de manière positive à toutes les contraintes physiques, socio-environnementales et temporelles. En effet il est très performant sur tous les points nécessaires à notre choix de dispositif, semble facile d'utilisation, consomme de l'électricité de manière raisonnable et semble être un produit robuste et de qualité reconnue. Son prix est plus élevé mais la qualité du produit semble élevée.

Références : [33] [34]

5.2.3 GigaHertz HCT-99D

Description : Le HCT-99D est un instrument de mesure de l'intensité lumineuse et de la couleur de rayon lumineux. Il se présente sous la forme d'un boîtier avec des boutons poussoirs et un écran où l'on peut y lire les données. C'est un dispositif qui est à l'origine portatif mais qui peut également être utilisé de manière stationnaire. Il effectue la mesure de la couleur RGB en tristimulus X,Y,Z et de l'intensité lumineuse en lux avec une précision de +- 0,01lx. Il communique les données sur son écran mais également par un port usb et une interface logicielle (qui requiert une installation). Il peut être alimenté par 2 piles AA en mode portable ou alors par USB en mode statique. Son prix est de 2848\$ l'unité soit 22784\$ pour 8 détecteurs.

Décision : Retenue

Justification : Le dispositif retenu est ultra-performant et très précis dans les mesures, il possède des options très intéressantes et utiles dans l'optique de notre design. Néanmoins son

coût est extrêmement élevé et donc de ce fait, il est exclu d'office car nous devons minimiser les prix.

Références : [35] [36] [37]

Le tableau 5.2 récapitule les décisions prises pour cette section :

Concepts	Aspects de l'analyse				Décision
	<i>Physiques</i>	<i>Économiques</i>	<i>Temporels</i>	<i>Socio-envir</i>	
ISL29125	OUI MAIS	OUI	OUI	OUI	RETENUE MAIS
ENV-RGB	OUI	OUI	OUI	OUI	RETENUE
HCT-99D	OUI	OUI MAIS	OUI	OUI	RETENUE MAIS

TABLE 5.2 – Decision pour la fonction : capter les informations sur l'éclairage

5.3 Réguler l'éclairage

L'analyse des données, dans le dispositif local, est nécessaire afin de recevoir les informations provenant des capteurs sous format analogique et de pouvoir transférer les commandes vers les lampes qui contrôlent la qualité de l'éclairage. Ces commandes dépendent des signaux analogiques provenant des capteurs de lumières. Ces signaux seront alors convertis en signaux numériques par un convertisseur analogique-numérique.

Pour chacun des concepts, le microcontrôleur ADS1158 sera utilisé pour faire la conversion analogique-numérique. Le ADS1158 comprend 16 entrées et sorties analogiques possédant une résolution de 16 bits. Ceci est idéal puisqu'il faut exactement 16 entrées/sorties analogiques afin de convertir les données provenant des capteurs et de les envoyer au module de traitement. Le convertisseur a une fréquence de fonctionnement maximal de 32,768 kHz, ce qui est amplement suffisant pour les besoins du système. Le coût d'un convertisseur ADS1158 est de 6,85\$.

De plus, un driver DMX doit être utilisé pour la conversion des consignes envoyées, sous forme de signaux, aux lampes. Donc, pour chacun des concepts, un driver iDrive Thor 36 sera utilisé pour faire la liaison entre les signaux du module de traitement et les lampes. Le iDrive Thor 36 comporte 36 sorties et supporte le protocole DMX. De plus, il possède une résolution de 16 bits ainsi qu'une fréquence d'exécution maximale de 5kHz. Le coût d'un iDrive Thor 36 est de 39\$ et la livraison du produit se fait en moins de 4 semaines.

Par la suite, les données converties doivent être analysées par un module de traitement. Plusieurs solutions sont ainsi envisageables, un microcontrôleur Piccolo F280357 de Texas Instrument, un Arduino Due et un Raspberry Pi 2.

Les critères de faisabilités des concepts pour cette section sont évalués selon les aspects suivants :

Aspects physiques :

- Le module de traitement doit comporter au minimum 40 entrées/sorties.
- Il doit aussi posséder une fréquence de traitement d'au minimum 2 Hz.

- Les dimensions du module de traitement se doivent d’être raisonnables.

Aspects économiques :

- Le prix du module de traitement doit être la plus faible possible.

Aspects temporels :

- La durée de vie du module de traitement doit être suffisante.
- Il doit être livré avant la date de mise en service soit le 1er janvier 2016.

Aspects socio-environnementaux :

- La consommation électrique du module de traitement doit être la plus faible possible.

5.3.1 Piccolo F28035 de Texas Instrument

Description :

Le Piccolo F28035 est un microcontrôleur conçu par la compagnie Texas Instrument et provient de la famille des F2803x. Celui-ci est composé d’un CPU C28x 32 bits de haute performance et possède une fréquence maximale de 60 MHz. Son coeur est optimisé pour les opérations atomiques et permet d’effectuer des processus d’exécutions avec une grande vitesse d’interruption. La consommation électrique du Piccolo F28035 est très faible et il peut être utilisé sur une échelle de température allant de - 40 C à 125 C. Celui-ci comporte 16 entrées/sorties d’une résolution de 12-bit. Il comporte 128 KB de mémoire Flash ainsi que 20 KB de mémoire RAM. Son prix est de 12,50\$ par unité. Ceci revient donc à un total de 19,35\$ en comprenant le convertisseur analogique-digitale ADS1158 à 6,85\$.

Décision : Rejetée

Justification :

Ce modèle présente de nombreux avantages mais il ne répond pas aux contraintes physiques par rapport au nombre d’entrée/sorties. En effet, afin d’avoir un système optimal il est nécessaire que le module de traitement comporte au minimum 40 entrées/sorties or, celui-ci n’en comporte que 16. De plus, la mémoire RAM du Piccolo F28035 est assez faible. Avec une fréquence maximale de 60 MHz, celui est idéal par rapport à la fréquence de traitement minimale souhaitée. C’est dommage puisque son prix est très intéressant étant donné que celui ne coûte que 12,50\$ (19,35\$ avec le convertisseur ADS1158).

Références : [68]

5.3.2 Arduino Due

Description :

L’Arduino Due est un microcontrôleur conçu par la compagnie Arduino et est basé sur le CPU Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3. Celui-ci comporte 54 entrées/sorties digitales dont 12 entrées analogues. Il possède une fréquence maximale de 84 MHz ainsi que 2 connexions digitale à analogue. Contrairement aux autres modèles de microcontrôleurs Arduino, celui-ci fonctionne à 3,3V et de ce fait, les entrées/sorties ne peuvent tolérer un voltage supérieur à 3,3V. Il comporte 512 KB de mémoire Flash, 96 KB de mémoire RAM ainsi qu’un contrôleur DMA. De plus, celui-ci est composé d’un CPU 32-bit ARM core. L’Arduino Due pèse 36 grammes et possède des dimensions de 101.52 mm de longueur et 53.3 mm de largeur. Son

prix est de 36,00 euros par unité, soit 49\$ canadiens. Ceci revient donc à un total de 55,85\$ en comprenant le convertisseur analogique-digitale ADS1158 à 6,85\$.

Décision : Retenue

Justification : Ce modèle présente de nombreux avantages. En effet, celui-ci répond parfaitement aux contraintes par rapport aux aspects physiques étant donné qu'il possède 54 entrées/sorties ainsi qu'une fréquence de traitement maximale de 84 MHz. Cependant, la mémoire RAM du Arduino Due est assez faible avec uniquement 96 KB de mémoire RAM. Le prix du modèle est assez élevée pour la qualité de celui-ci, en effet le Arduino Due coûte 49\$ (55,85\$ avec le convertisseur ADS1158).

Références : [66] [67]

5.3.3 Raspberry Pi 2

Description :

Le Raspberry Pi 2 est un microcontrôleur basé sur la puce ATmega 644 et qui possède un CPU ARM Cortex-A7 quadcore à 900 MHz. Celui-ci comporte une mémoire RAM de 1 GB ainsi qu'un processeur ARMv7. Grâce à cela, il est possible d'y installer différents types de systèmes d'exploitations ARM GNU/Linux, tel que Snappy Ubuntu Core, mais aussi le tout récent Windows 10 de Microsoft. Ce microcontrôleur comporte 40 ports GPIO, 4 ports USB ainsi qu'un port HDMI. Le Raspberry Pi 2 n'inclus pas d'entrées et sorties analogiques, il faudra donc y ajouter une puce MCP3008 afin d'y remédier. Une puce MCP3008 est un convertisseur analogique-digital qui permet d'inclure 8 entrées/sorties analogiques. Chaque puce MCP3008 doit être insérée sur 4 ports GPIO du Raspberry Pi 2. Avec 40 ports GPIO, il est possible d'installer jusqu'à 10 puces MCP3008 sur le microcontrôleur mais, seulement 5 puces MCP3008 seront nécessaires pour le système. Le Raspberry Pi 2 comprend aussi carte graphique VideoCore IV 3D, un port ethernet ainsi qu'un accès pour carte mémoire SD. Le prix d'une puce MCP3008 est de 3,75\$, soit 18,75\$ pour 5 puces, et le prix d'un Raspberry Pi 2 est de 35\$. Ceci revient donc à un total de 60,60\$ en comprenant le convertisseur analogique-digitale ADS1158 à 6,85\$.

Décision : Retenue

Justification : Ce modèle est le plus intéressant des trois puisqu'il possède les meilleurs configurations techniques. Celui-ci répond parfaitement aux contraintes par rapport aux aspects physiques étant donné qu'il possède 40 entrées/sorties, lorsqu'il est accompagné de 5 puces MCP3008, ainsi qu'une fréquence de traitement maximale de 900 MHz. La mémoire RAM est assez élevée avec 1 GB de mémoire RAM. Le prix du modèle est assez élevé, en effet le Raspberry Pi 2 coûte 53,75\$ en comprenant les 5 puces MCP3008 (60,60\$ avec le convertisseur ADS1158).

Références : [64] [65]

Le tableau 5.3 récapitule les décisions concernant les concepts de cette section :

Concepts	Aspects de l'analyse				Décision
	<i>Physiques</i>	<i>Économiques</i>	<i>Temporels</i>	<i>Socio-envir</i>	
Piccolo F28035	NON	OUI	OUI	OUI	REJETÉE
Arduino Due	OUI	NON	OUI	OUI	RETENUE
Raspberry Pi 2	OUI	NON	OUI	OUI	RETENUE

TABLE 5.3 – Decision pour la fonction : Gestion des données

5.4 Saisir et afficher localement les informations

Il est important de pouvoir afficher les données traitées ainsi que l'état du système sur le dispositif local pour permettre aux techniciens d'effectuer des modifications. L'écran et le logiciel approprié permettront ensemble la saisie de données pour changer les configurations de l'éclairage. L'interface locale doit permettre d'opérer et de configurer le sysART. Il est de mise qu'elle soit conviviale et la plus intuitive possible pour son utilisateur. L'interface se doit être durable et fiable.

Les critères de faisabilités des concepts pour cette section sont évalués selon les aspects suivants :

Aspects physiques :

- Le concept retenu doit posséder une interface simple.
- Le concept retenu doit être en mesure d'afficher les différents paramètres du système d'éclairage.

Aspects économiques :

- Le coût de l'écran doit être le plus bas possible.

Aspects temporels :

- Le concept retenu doit être durable
- Le concept doit être prêt pour le 1 février 2016.

Aspects socio-environnementaux :

- N/A

5.4.1 Moniteur tactile ACL thinkTouch COT150-AWF01t

Description : C'est un écran tactile de 15 pouces utilisant la technologie à cristaux liquide (ACL). Cette technologie est reconnue pour avoir une faible consommation électrique. Il offre une résolution de 1024x768 pixels. La qualité d'image permet donc de visualiser sans aucun problème les données qui seront affichées ainsi que l'état du système. Couplé à un microcontrôleur, les modifications apportées au système pourront être effectuées facilement à partir de l'écran tactile. D'ailleurs, il est déjà muni d'un boîtier en métal solide et étanche qui résistera au temps. De plus, il comporte aussi une garantie de 3 ans avec le constructeur. Les entrées vidéos de l'écran sont VGA et DVI. La brique d'alimentation du moniteur demande un courant de 100 à 240 V. Ses dimensions sont de 45 X 18 X 36 CM. Incluant la livraison, il coûterait 250\$. La durée de vie moyenne d'un tel dispositif se situe entre 50 000 et 60 000 heures. Soit autour de 6,27 années.

Décision : Retenue

Justification :

L'écran propose une solution viable avec un coût de 250\$, ce qui est très économique. Sa durée de vie est élevée et il n'a besoin d'aucun autre dispositif que le microcontrôleur pour offrir une solution complète. Le fait qu'il soit tactile permet d'offrir une intégration logicielle plus simple et conviviale.

Références : [18] [19]

5.4.2 Moniteur avec clavier et souris (Moniteur IPS DEL de HP (20BW) + clavier et souris Logitech Combo MK120)

Description : Le moniteur est de 20 pouces et offre une résolution native de 1600x900 pixels. La qualité d'image n'est donc pas un souci. Il repose sur l'utilisation de prises vidéo VGA, DVI et HDCP. Il comporte une garantie de 1 an avec le constructeur. Il est vendu au coût de 110\$. L'interaction et les modifications apportées au système seront assurées par un clavier et une souris de Logitech pour le coût de 20\$. Ces deux derniers utilisent des prises USB. Ainsi, le microcontrôleur devra comprendre au minimum 2 prises USB en plus d'une pour compatible pour l'affichage. Toutefois, il faudrait aussi un bureau pour disposer la commande locale. Un budget de 250\$ est associé à l'achat d'un bureau élégant et durable. En toute cette solution coûterait environ 380\$.

Décision : Rejetée

Justification :

Cette solution est assez économique mais demande un espace assez grand pour la disposition du dispositif local en grande partie à cause du bureau qui est nécessaire. L'utilisation d'un écran non tactile coupe dans la convivialité au système. La demande en prise est aussi plus importante et pourrait causer problème pour plusieurs microcontrôleurs.

Références : [20] [21]

5.4.3 Magic Touch Deluxe HD

Description : C'est un écran tactile de 10,1 pouces de diagonale offrant une résolution de 1366x768 pixels. Ses dimensions sont 264.2mm x 211.92mm x 147.5mm. Il a la capacité de prendre en charge 10 points de contact multiples simultanément. L'écran et sa base sont ajustables et résistants. Il ne demande qu'une simple prise USB pour fonctionner. Il est aussi possible d'alimenter l'écran par un adaptateur AC compris avec celui-ci. De plus, il présente 2 ports USB pour recevoir d'autres périphériques. L'écran capacitif est complètement compatible avec Windows 7 et 8, Mac OS X ainsi que Linux. D'ailleurs, il est aussi prêt à être utilisé avec un microcontrôleur Raspberry Pi. Il est offert au coût de 485\$.

Décision : Retenue

Justification :

C'est une solution qui offre beaucoup d'avantage sur son implémentation grâce à son alimentation USB qui prend aussi en charge la capacité tactile et vidéo. D'ailleurs, il conçu

pour fonctionner avec un Raspberry Pi, qui est un microcontrôleur très populaire. L'écran ne demande aucun support ou boîtier supplémentaire.

Références : [22]

Le tableau 5.4 regroupe les décisions concernant les solutions présentées dans cette section :

Concepts	Aspects de l'analyse				Décision
	<i>Physiques</i>	<i>Économiques</i>	<i>Temporels</i>	<i>Socio-envir</i>	
COT150-AWF01	OUI	OUI	OUI	N/A	RETENUE
IPS DEL et LG 120	OUI MAIS	OUI	OUI	N/A	RETENUE MAIS
Magic Touch Deluxe	OUI	OUI	OUI	N/A	RETENUE

TABLE 5.4 – Tableau synthèse de l'affichage

5.5 Saisir les informations à distance

Le client demande un dispositif mobile qui permettra d'effectuer des modifications à distance sur le système d'éclairage du musée. Le dispositif doit donc avoir un affichage ainsi qu'une connexion réseau. Il se doit fiable, durable et convivial.

Les critères de faisabilités des concepts pour cette section sont évalués selon les aspects suivants :

Aspects physiques

- L'appareil doit permettre une communication à distance avec le dispositif local
- Le système doit être accessible partout et en tout temps

Aspects économiques :

- Le coût de l'appareil doit être le plus bas possible

Aspects temporels :

- Le concept retenu doit être mis en service au plus tard le 1er février 2016

Aspects socio-environnementaux :

- N/A

5.5.1 Nexus 5

Description : Le LG Nexus 5 est un téléphone intelligent opérant sous Android. Son écran de 1920 x 1080 pixels est de 4,95 po et il a un puissant processeur 4 cœurs cadencés à 2,3GHz. De plus, sa mémoire vive est de 2Go et il est aussi compatible avec le 4G(LTE). Toutefois, sa batterie de 2300mAh lui permet une autonomie d'une journée maximale avec une utilisation moyenne. Il faudra donc s'assurer de le recharger chaque nuit. C'est un appareil reconnu pour sa fluidité et sa fiabilité. Le fait qu'il fasse partie de la gamme «Nexus» lui assure un bon soutien de la part de Google pour les mises à jour du système et son bon fonctionnement. Dans sa version de 16 Go, il est possible de se le procurer pour 350\$ par Google Play. À ce prix, il est débloqué et peut fonctionner sous toutes les grandes compagnies

de télécommunications du Canada. Toutefois, Vidéotron offre un forfait intéressant offrant le cellulaire à 0\$ avec une mensualité de plus de 49,95\$. Le forfait à 49,95\$ pour entreprise proposé comprend 2Go de données avec appels illimités à l'échelle du Québec. Donc pour une durée de 24 mois, il en coûterait 1198.8\$. Avec l'appareil compris le coût se porte à 1548.8\$.

Décision : Retenue

Justification : Puisque c'est un téléphone, l'appareil peut permettre aux techniciens de communiquer facilement entre eux par appels ou sms. La couverture du réseau internet couplé au 2 Go de données par mois, rend possible l'interaction avec le dispositif local. Cette solution est offerte au coût de 1548.8\$ pour 2 ans. D'ailleurs, l'appareil offre un rapport qualité-prix exceptionnel.

Références : [11] [12] [13]

5.5.2 iPad mini (1er Génération)

Description : L'iPad mini est offert au coût de 419\$ dans sa version permettant l'accès aux données de réseaux cellulaires. Son écran à une diagonale de 7,9 po avec une définition de 1 024 x 768 pixels. Son boîtier fait d'aluminium saura faire face au temps. Il comporte un processeur double cœurs cadencés à 1GHz couplé à une RAM de 512MB. Son autonomie est évaluée autour de 10 heures d'utilisation. L'appareil est aussi compatible avec les réseaux 4G et LTE. Un forfait mensuel coûterait 20\$ pour 1 Go de données respectivement avec Bell. Le coût total comprenant l'appareil ainsi que le forfait mobile sur une durée de 24 mois est de 899\$.

Décision : Retenue

Justification : Les produits Apple sont reconnus pour leur simplicité d'utilisation et leur fiabilité. Il n'en est pas autrement pour l'iPad mini. Toutefois, l'utilisation d'une tablette réduit un peu la mobilité de l'appareil si on le compare avec un téléphone intelligent. C'est une solution abordable et intéressante.

Références : [14] [15]

5.5.3 PC 2-en-1 Lenovo Miix 2 10-20377 édition Signature

Description : C'est un hybride pc-tablette opérant sous Windows 8.1 32 bits. Il comporte un écran tactile Full HD de 10,1 po. Son processeur est un Intel Atom Z3740 de 1,33 GHz allant jusqu'à 1,86GHz en mode burst. L'autonomie de sa pile en utilisation est aux alentours de 8 heures. L'ordinateur à une mémoire vive de 2Go et il est vendu au coût de 499\$. Toutefois, l'appareil seul ne permet pas de communication à distance sans le WiFi. Il faudrait donc prévoir une clé internet mobile. Vidéotron en offre une gratuitement (valeur 175\$) avec un abonnement de 2 ans. Un forfait mensuel avec la clé est offert au coût de 45\$ pour 3Go. En tout, pour fournir l'équipement au responsable technique avec le réseau cellulaire, il en coûterait 1579\$ sur une période de 2 ans.

Décision : Retenue

Justification : La solution est intéressante puisque l'utilisation de Windows 8 comme système d'exploitation permet une intégration facile pour les applications et un accès facile

aux services en ligne. Le coût de revient est assez raisonnable mais le fait de trainer une clé internet peut être un peu encombrant. La conversion PC-Tablette permet aux techniciens de l'utiliser selon leur propre préférence.

Références : [16] [17]

Le tableau 5.5 résume la section communiquer à distance.

Concepts	Aspects de l'analyse				Décision
	<i>Physiques</i>	<i>Économiques</i>	<i>Temporels</i>	<i>Socio-envir</i>	
Nexus 5	OUI	OUI	OUI	N/A	RETENUE
iPad mini (1er Génération)	OUI	OUI	OUI	N/A	RETENUE
Lenovo Miix 2 10-20377	OUI	OUI	OUI	N/A	RETENUE

TABLE 5.5 – Tableau synthèse des dispositifs mobiles

5.6 Produire l'éclairage

Cette fonction permet l'éclairage des tableaux en fonction des signaux envoyés par la fonction « réguler l'éclairage ». Le client demande un système d'éclairage à DEL RGB avec la capacité d'ajuster automatiquement l'éclairement lumineux et la couleur. Néanmoins, le choix des DEL ainsi que leurs supports et leurs fixations doivent répondre aux critères formulés dans le cahier de charge. Ces exigences concernent la réduction de la consommation d'énergie électrique, la durabilité, l'esthétisme et la dimension du système qui ne doit pas être trop volumineuse pour l'impact visuel et enfin un coût d'achat raisonnable pour l'ensemble.

Les critères de faisabilités des concepts pour cette section sont évalués selon les aspects suivants :

Aspects physiques :

- Dimensions des DEL (pas trop volumineux)

Aspects économiques :

- Réduction de la consommation électrique et coût d'achat

Aspects temporels :

- Durabilité (durée de vie supérieure à 15 000 h)

Aspects socio-environnementaux :

- Esthétisme (homogénéité avec l'environnement).

5.6.1 DEL RGB MR16, TRISTAR RGB DMX

Le premier concept consiste à remplacer les lampes MR16 halogènes 50 W par des DEL RGB MR16 de 5 W. Ces LED seront fixées sur un système de rails [48].

Description : La TRISTAR RGB DMX est une lampe DEL RGB (MR16) (49\$) d'une puissance de 5W avec un décodeur DMX [45] intégré. L'éclairement lumineux par couleur est de 75 lux. Une alimentation continue de 12V est nécessaire (Alimentation led 250 watts IP67 : 120 \$) [39]. Chaque lampe est associée à une adresse d'identification individuelle, ce qui rend

le produit communicant et intelligent. Pour configurer l'adresse DMX du Tristar RGB DMX MR16, un contrôleur PAVO (Pavo 96 DMX de 200\$) et une télécommande (IR-1627 TriStar de 20\$) sont nécessaires. On ne peut pas faire cette configuration sans utiliser le contrôleur PAVO. 96 lampes TRISTAR RGB-DMX peuvent être contrôlées avec le Pavo 96 DMX. Sa durée de vie moyenne est de 35 000 heures. Les lampes peuvent être facilement reliées entre eux en utilisant le bus de connexion 4 broches QCB-4-30 (2\$) en configuration maître-esclave [41]. Les dimensions de la lampe sont de 51mm * 58mm.

Décision : Retenue

Justification : En utilisant 5 lampes TRISTAR RGB DMX, les différents aspects de faisabilités sont respectés.

Références : [40] [41] [42] [43] [44]

5.6.2 Lampe MR16 RGB DMX HF 2.4GHz 5W

Le deuxième concept consiste en un système de DEL RGB pilotable sans fil. Les 4 lampes MR16 halogènes 50 W sont remplacés par des DEL RGB MR16 de 5 W.

Description : La lampe MR16 RGB 5W, pilotable sans fil avec le système ELECTRO-CONCEPT DMX HF 2.4GHz, est disponible à un prix de 60\$. Le système nécessite un émetteur (Émetteur DMX HF 2.4GHz : 215\$) et un récepteur (Récepteur DMX HF 2.4GHz avec batterie : 107\$). Chaque lampe MR16 HF est assignée à un univers DMX. Le récepteur au démarrage, balaye en permanence les fréquences jusqu'à trouver l'univers auquel il est assigné. Il y a 31 univers possibles. Elle nécessite une alimentation continue de 12V (Alimentation led 250 watts IP67 : 120\$) [39]. La consommation en courant est de 50mA – 500mA en fonction de la luminosité désirée et de la charge DMX. La couleur émise est RGB 16 millions de couleurs. La durée de vie moyenne des lampes est de 30 000 Heures et ses dimensions de 48x48x50 mm et son angle d'ouverture de 25°. Le système est télécommandable par DMX HF 2.4GHz. Le système est également pilotable en DMX sur 5 Canaux : canal1 : Dimmer, canal 2 : STROB, canal 3 : Rouge, canal 4 : Vert, canal 5 : Bleu.

Décision : Retenue

Justification : On n'a pas besoins de fils de câblages avec DMX avec les émetteurs et récepteurs HF et les différents aspects sont respectés. C'est une solution qui utilise les anciens supports des MR16 halogènes, ce qui nous éviterait de nouveaux supports pour les DEL.

Références : [46] [47]

5.6.3 Projecteurs sur rails, Pyros RGB

Le troisième concept consiste en l'utilisation d'un projecteur professionnel à LED RGB avec système de fixation à rails [48].

Description : Le projecteur Pyros RGB possède une grande qualité de diffusion lumineuse, il a des dimensions réduites qui permettent une bonne homogénéité avec l'environnement. La puissance disponible est de 58 W. Ce projecteur coûte 1185\$ [51]. L'éclairage lumineux disponible est supérieur par couleur de 650 lux. Le projecteur est doté d'une alimentation électronique et interface(DMX) pour le contrôle dynamique intégrée. Il est pro-

grammable à travers un contrôleur doté de protocole DMX512. L'adressage numérique est attribué à travers des commutateurs DIP internes de l'appareil. On peut monter le projecteur sur un socle de fixation en aluminium coulé à pression, doté d'embout gradué pour une rotation de 360° sur le plan horizontal et de 180° sur le plan vertical, avec système de blocage mécanique du projecteur. L'alimentation peut se faire en 100-240V-AC 50/60Hz.

Décision : Retenue

Justification : Une seule LED suffit à éclairer la surface d'accrochage pour un tableau.

Références : [49] [50] [52] [53] [54] [55]

Le tableau 5.6 résume la section ajuster l'éclairage.

Concepts	Aspects de l'analyse				Décision
	<i>Physiques</i>	<i>Économiques</i>	<i>Temporels</i>	<i>Socio-envir</i>	
TRISTAR RGB DMX	OUI	OUI	OUI	OUI	RETENUE
MR16 RGB DMX HF	OUI	OUI	OUI	OUI	RETENUE
Projecteurs sur rails	OUI	OUI	OUI	OUI	RETENUE

TABLE 5.6 – Tableau synthèse éclairage DEL

5.7 Archiver et sécuriser les données

Le client exige que certaines données soient conservées pour une période d'un an. En effet, il est essentiel de préserver les paramètres de configurations, les commandes principales, les mesures et les consignes attribués au dispositif. Également, les informations concernant les alarmes et les renseignements des visiteurs doivent être sauvegardées. Ainsi, notre système doit être équipé d'un dispositif sécurisé qui permet l'archivage des données.

Donc, notre concept doit être établi en fonction de ces aspects :

Aspects physiques :

- Le concept doit être fiable, donc peu d'entretien ;
- Capacité suffisante de stockage : 1 To ;
- Mémoire RAM : 8 à 16 Go .

Aspects économiques :

- Le coût du concept doit être minimisé.

Aspects temporels :

- Les données doivent être archivées pour une période d'un an ;
- Rapidité entre le serveur et le client.

Aspects socio-environnementaux :

- Les données doivent être sécurisées.

5.7.1 Disque électronique SSD

Description : La compagnie Samsung offre le SSD 850 EVO 2.5, soit un disque électronique qui permet le stockage de données sur la mémoire flash. Ce SSD utilise la technologie

3D-V-NAND qui augmente la performance et l'endurance des lecteurs, tout en diminuant la consommation énergétique. En effet, ce disque permet de lire à une vitesse de 540 Mb/s et d'écrire à une vitesse de 520 Mb/s sur le lecteur. De plus, ce modèle à une capacité de stockage de 1To pour le prix de 449,99 \$. Également, Samsung offre une garantie de 5 ans sur le SSD 850 EVO 2.5 et assure l'augmentation de 30 % de la durabilité de leurs disques SSD. De plus, ce disque électronique assure une sécurité des données en utilisant un cryptage AES de 256 bits. Afin d'utiliser ce concept, il est nécessaire d'avoir un dispositif pour héberger le disque électronique. Nous avons opté pour l'ordinateur de bureau M32 d'Asus qui contient 12 Go de mémoire RAM pour le prix de 605,49 \$.

Décision : Rejetée

Justification : Ce concept consiste à utiliser un ordinateur Asus comme ordinateur central. Cet ordinateur de 12 Go de RAM sera accompagné du disque électronique SSD qui permet d'augmenter considérablement la vitesse de sauvegarde et la capacité de stockage. De plus, le cryptage des données sur le SSD est adéquat pour notre système. Également, le prix est très abordable, soit de 1055,48 \$. Cependant, en optant pour ce concept, même si ce disque et l'ordinateur sont très résistants, ils ne sont pas à l'abri de tout bris matériel, ce qui pourrait compromettre la protection des données. De plus, en cas de panne matérielle ou logiciel, il est nécessaire qu'un technicien soit toujours disponible pour effectuer rapidement la remise en routes de serveurs. Puisque cette solution demande la supervision d'un technicien en permanence, ce concept est refusé.

Références : [23]

5.7.2 Google cloud

Description : L'entreprise Google excelle dans la majorité des domaines informatiques. Ainsi, il n'est pas surprenant que Google nous offre leurs propres mécanismes de stockage de données, soit Google Cloud. Ce système de stockage utilise des serveurs à distance pour conserver nos données à l'aide d'internet. Cela permet de stocker des données à partir de plusieurs dispositifs différents. En cas de défaillance, Google nous assure que nos données seront protégées puisqu'elles sont stockées à plusieurs emplacements différents dans le monde. De plus, Google Cloud utilise des serveurs de hautes performances et de qualité supérieure, ainsi cette compagnie nous garantit la rapidité d'interaction entre le client et leurs serveurs. Google propose les services de Google Cloud pour le prix de 0.026 \$/Go par mois et une machine virtuelle de 15 Go de RAM pour 0.193 \$/h. Ce Cloud assure également la sécurité de nos données, puisqu'il utilise un cryptage AES de 128 bits et d'un système d'authentification pour avoir accès aux données. De plus, les données sont conservées indéfiniment, tant que les services sont maintenus par le client.

Décision : Retenue

Justification : Justification : Ce concept est très avantageux puisqu'il permet facilement de stocker toutes nos données pour un prix très abordable, soit de 2002.68 \$ pour une période de 1 an. Par la suite, ce concept ne demande pas d'entretien puisque les serveurs sont gérés par Google. De plus, Google Cloud assure la protection de nos données et nous offre également une machine virtuelle de 15 Go de RAM, ce qui est amplement suffisant pour nos besoins.

Finalement, la fiabilité et la performance de leurs serveurs nous assurent une interaction rapide entre le client et le serveur.

Références : [25] [26]

5.7.3 Serveur IWEB

Description : La compagnie Iweb nous propose des serveurs dédiés selon le type d'hébergement désiré. En effet, ce type d'hébergement permet d'améliorer la performance et le contrôle du serveur puisqu'un seul serveur est attribué pour chaque client. De plus, les serveurs de Iweb sont compatibles avec la majorité des systèmes d'exploitation, ce qui facilite l'utilisation et l'accessibilité des données. Par la suite, le serveur utilise le processeur Intel Quad-Core et offre le stockage 1 To de données et 8Go de mémoire RAM pour le prix de 79 \$ par mois. La proximité des serveurs avec les grandes villes telles que Montréal, Californie et Dallas assure une rapidité de 100MB/S.

Décision : Retenue

Justification : Ce concept permet de stocker suffisamment toutes nos données pour le prix de 948 \$ pour une période d'un an. De plus, la mémoire RAM de 8Go est amplement suffisante pour le serveur communique convenablement avec les dispositifs. Par la suite, il n'est pas nécessaire de se soucier des bris techniques du serveur puisque l'hébergeur s'en préoccupe. Finalement, la proximité de serveur permet d'obtenir une rapidité impeccable, tout en ayant un niveau de sécurité impeccable, ce qui répond à nos critères pour le stockage des données.

Références : [27]

Les concepts 2 et 3 ont été retenues puisqu'ils respectaient tous les aspects. Cependant, le concept 1, ne respectait pas l'aspect physique puisqu'il demande un entretien permanent. Donc, le concept 1 est rejeté.

Le tableau 5.7 résume la section : Archiver et sécuriser les données.

Concepts	Aspects de l'analyse				Décision
	<i>Physiques</i>	<i>Économiques</i>	<i>Temporels</i>	<i>Socio-envir</i>	
Disque électronique SSD	NON	OUI	OUI	OUI	REJETEE
Google cloud	OUI	OUI	OUI	OUI	RETENUE
Serveur IWEB	OUI	OUI	OUI	OUI	RETENUE

TABLE 5.7 – Tableau synthèse : Archiver et sécuriser les données

5.8 Récolter les renseignements des visiteurs

Cette fonction permet la collecte des informations et des commentaires des visiteurs du Centre d'arts visuels de Québec. Dans un but informatif, il est nécessaire de recueillir les commentaires des visiteurs et de collecter des informations sur leur visite afin d'avoir le plus de retour possible par rapport au projet mis en place. Ces informations et commentaires

seront par la suite archiver dans la base de données du centre pour une durée d'un an. La base de donnée du Centre d'arts visuels de Québec fonctionne sous Microsoft SQL Server et donc, les concepts proposés se doivent d'être compatibles avec Microsoft SQL Server.

Plusieurs solutions sont ainsi envisageables ; 5 Chromebook 2 de Samsung accompagnés d'un logiciel développé par un tiers, 5 tablettes Surface 2 de Windows accompagné d'une application Windows 8 et 5 tablettes iPad Air 2 d'Apple accompagné d'une application iOS.

Les critères de faisabilités des concepts pour cette section sont évalués selon les aspects suivants :

Aspects physiques :

- L'outil de collecte d'informations et de commentaires se doit d'être compatible avec Microsoft SQL Server et d'avoir une ergonomie optimale.

Aspects économiques :

- Le prix de l'outil de collecte d'informations et de commentaires le plus faible possible.

Aspects temporels :

- La durée de vie de l'outil de collecte d'informations et de commentaires doit être suffisante.
- Il doit être livré avant la date de mise en service soit le 1er janvier 2016.

Aspects socio-environnementaux :

- La consommation électrique de l'outil de collecte d'informations et de commentaires doit être la plus faible possible.

5.8.1 Chromebook 2 accompagné d'un logiciel développé par un tiers

Description :

Le Chromebook 2 de Samsung est un ordinateur portable aux configurations techniques assez intéressantes. Celui-ci est composé d'un processeur octocœur Exynos 5 de 2 GHz très puissant permettant d'exécuter plusieurs tâches à la fois. Il possède aussi une mémoire RAM DDR3L de 4 Go à 1600 MHz ainsi qu'un disque flash intégré de 16 Go. Son écran DEL à haute définition intégrale de 13,3 po permet d'obtenir une image de qualité et sa connexion réseau Wi-Fi est trois fois plus rapide que l'ancien modèle. Le Chromebook 2 est très performant et il est capable de démarrer en 10 secondes. La durée de vie de sa pile est d'environ 8,5 heures d'autonomie. Le Chromebook 2 est exécuté sous le système d'opération Google Chrome. Afin de pouvoir assurer la collecte des informations et des commentaires, un logiciel développé par un tiers accompagnera les 5 Chromebook 2. Pour ce concept, 5 Chromebook seront nécessaires afin de pourvoir le plus de visiteurs possible. Ce logiciel, qui doit être compatible avec Microsoft SQL Server, permettra aux visiteurs de saisir leurs informations et leur commentaire qui seront ensuite transmis à la base de données du Centre d'art visuel de Québec. La conception d'un logiciel comme celui souhaité tourne aux alentours de 10 000 \$ et le prix d'un Chromebook 2 est de 399 \$. Le montant total serait donc de 11 995 \$ pour les 5 Chromebook et le logiciel adapté.

Décision : Rejetée

Justification :

Ce concept présente de nombreux avantages puisque le Chromebook 2 est un ordinateur très puissant mais surtout très rapide. La conception d'un logiciel pour accompagner le Chromebook est aussi une bonne idée mais qui ne convient pas à notre système. En effet, le système d'opération sous lequel est exécuté le Chromebook 2, Google Chrome, est incompatible avec Microsoft SQL Server. De ce fait, il sera impossible de concevoir un logiciel compatible avec notre système. Ce concept est donc rejeté d'office.

Références : [56] [57] [58]

5.8.2 Surface 2 accompagnée d'une application Windows 8

Description :

La tablette Surface 2 de Microsoft est un outil très puissant qui pourrait répondre aux besoins de la collecte d'informations et de commentaires. En effet, son processeur NVIDIA Tegra 4 (T40) quatre coeurs de 2 Go de RAM lui permet d'effectuer plusieurs tâches à la fois tout en gardant une fluidité d'exécution agréable. La Surface 2 est exécutée sous le système d'opération Windows 8 de Microsoft. Elle possède un écran tactile de 10,6 pouces et une mémoire RAM de 2048 Mo. De plus, elle présente plusieurs supports de cartes mémoire et 32 Go de mémoire pour un prix de 449 \$. La Surface 2 est composé d'un alliage en aluminium et magnésium pour la coque ce qui en fait un modèle assez solide mais aussi très jolie esthétiquement. L'autonomie de cette tablette est d'une durée moyenne de 10 heures pour un cycle de charge complet de 3 heures et demi. Pour ce concept, 5 tablettes seront nécessaires afin de pourvoir le plus de visiteurs possible. La conception d'une application Windows 8 est d'environ 8000 \$. Bien évidemment, une application Windows 8 sera tout à fait compatible avec la base de données sous Microsoft SQL Server du Centre d'arts visuels de Québec. Le montant total du concept serait donc de 10 245 \$ pour les 5 tablettes Surface 2 et l'application Windows 8 adaptée.

Décision : Retenue

Justification :

L'utilisation de tablettes Surface 2 accompagnées d'une application sous Windows 8 est un excellent concept principalement pour la compatibilité entre ce concept et la base de donnée du Centre d'arts visuels de Québec. La tablette Surface 2 de Microsoft est très intéressante étant donné la puissance et l'ergonomie de celle-ci. Son prix est plutôt abordable par rapport au marché des tablettes du moment. Étant donné sa durée d'autonomie et de chargement, la consommation électrique est considérée comme étant faible.

Références : [59] [60] [61]

5.8.3 iPad Air 2 accompagné d'une application iOS

Description :

La tablette iPad Air 2 est un modèle très populaire sur le marché étant donné la réputation du géant américain Apple sur le marché. Celle-ci possède un processeur A8X de 64 bits et coprocesseur de mouvement m8 de 2 Go de mémoire RAM. Son puissance de stockage

mémoire est 16 Go. Son écran LCD Retina HD de 9,7 pouces permet d'obtenir une image de haute qualité et ainsi rendre l'expérience de travail plus agréable. Le iPad Air 2 possède des dimensions de 240 mm par 169,5 mm par 6,1 mm qui en font d'elle la tablette la plus fine au monde. Cette tablette est exécutée sous le fameux système d'exploitation iOS 8 d'Apple. Un iPad Air 2 coûte 549 \$ directement du site officiel d'Apple. Pour ce concept, 5 tablettes seront nécessaires afin de pourvoir le plus de visiteurs possible. Une application sous iOS s'avère un peu plus compliquée à concevoir et donc, un peu plus dispendieuse que sous d'autres systèmes d'exploitation. Pour ce qui est de la compatibilité entre une application iOS et la base de données du Centre d'arts visuels de Québec, il n'y a pas de soucis à se faire puisque Microsoft SQL Server est compatible avec iOS. Une application iOS coûte environ 10 000 \$ à concevoir. Le montant total du concept serait donc de 12 745 \$ pour les 5 tablettes iPad Air 2 et l'application iOS adaptée.

Décision : Retenue mais

Justification :

Les produits Apple sont reconnus à travers le monde pour leur qualité mais aussi leur ergonomie. Le iPad Air 2 possède des qualités techniques très importantes mais aussi des dimensions qui en font un modèle très intéressant. De plus, la compatibilité de Microsoft SQL Server avec les applications sous iOS permet de s'assurer que les informations seront bien recueillies dans la base de données. Cependant le coût total pour ce concept est très élevé et il faut donc en prendre compte.

Références : [62] [63]

Concepts	Aspects de l'analyse				Décision
	<i>Physiques</i>	<i>Économiques</i>	<i>Temporels</i>	<i>Socio-envir</i>	
Chromebook 2	NON	OUI	OUI	OUI	REJETÉE
Surface 2	OUI	OUI	OUI	OUI	RETENUE
iPad Air 2	OUI	OUI MAIS	OUI	OUI	RETENUE MAIS

TABLE 5.8 – Tableau synthèse : Collecte des informations et des commentaires

Chapitre 6

Étude préliminaire

6.1 Plan d'étude

4.1 Qualité de l'éclairage	
Critères	Procédures et Hypothèses
4.1.1 Éclairement lumineux	Procédure : Évaluer l'éclairement lumineux par couleur produit par la DEL. Hypothèse : Les données fournies par le constructeur sont les valeurs réelles.
4.1.2 Précision de mesure	Procédure : Déterminer la précision de l'appareil de mesure. Hypothèse : L'éclairage mesuré est uniforme en tout point.
4.1.3 Puissance consommée	Procédure : Calculer la puissance consommée par l'ensemble des DEL. Hypothèse : La puissance consommée par les composants autres que les DEL est négligée.
4.1.4 Durée de vie des DEL	Procédure : Évaluer la durée de vie des DEL. Hypothèse : La durée de vie des DEL fournies par les fabricants est la durée de vie réelle des DEL. Les défauts de fabrication et les événements exceptionnels pouvant survenir sont négligés.
4.1.5 Dimension du système	Procédure : Calculer l'espace occupé par les DEL.
4.1.6 Intégration du système	Procédure : Comparer la couleur du dispositif d'éclairage à celui de la salle.

TABLE 6.1 – Plan de développement pour la qualité de l'éclairage

4.2 Analyse des données	
Critères	Procédures et Hypothèses
4.2.1 Fréquence d'exécution	Procédure : Évaluer la précision de la fréquence d'exécution du module de traitement dans le dispositif local. Hypothèse : La fréquence d'exécution de l'algorithme de régulation par le module de traitement doit être au minimum de 2 Hz. La fréquence maximale d'exécution sera considérée.
4.2.2 Nombre de signaux d'entrées	Procédure : Évaluer le nombre de signaux d'entrée du module de traitement dans le dispositif local. Hypothèse : Le nombre de signaux en entrée du module de traitement doit être au minimum de 8. Le nombre maximal d'entrées disponibles sera considéré.
4.2.3 Nombre de signaux de sortie	Procédure : Évaluer le nombre de signaux de sortie du module de traitement dans le dispositif local. Hypothèse : Le nombre de signaux en sortie du module de traitement doit être au minimum de 8. Le nombre maximal de sorties disponibles sera considéré.

TABLE 6.2 – Plan de développement pour l'analyse des données

4.6 Coûts et échéances	
Critères	Procédures et Hypothèses
4.6.1 Respect de l'échéance	Procédure : Évaluer le respect de la date d'échéance. Hypothèse : Les imprévus de délai de livraison sont négligés.
4.6.2 Coût du projet	Procédure : Additionner les coûts des différentes composantes du dispositif pour obtenir le coût total du projet. Hypothèse : Le coût du projet n'inclut pas les erreurs imprévues durant l'installation ou la livraison des composantes.

TABLE 6.3 – Plan de développement pour les coûts et l'échéance

4.3 Communiquer	
Critères	Procédures et Hypothèses
4.3.1 Accès à distance	Procédure : Déterminer la possibilité d'accéder à distance aux données du système d'éclairage. Hypothèse : Hypothèse : Les techniciens ont déjà un appareil pour y accéder(ex. Ordinateur, téléphone intelligent, etc..).
4.3.2 Convivialité des interfaces	Procédure : Évaluer la simplicité ainsi que la convivialité du dispositif. Hypothèse : Le dispositif local et à distance est toujours actif et fonctionnel.

TABLE 6.4 – Plan de développement pour la communication locale et à distance

4.4 Sécurité	
Critères	Procédures et Hypothèses
4.4.1 Protection de l'accès à distance	Procédure : Se fier aux caractéristiques de sécurités reçues par le fournisseur Hypothèse : En considérant que les algorithmes de sécurités sont implantés de la bonne manière.
4.4.2 Protection des données du client	Procédure : Se fier aux caractéristiques de sécurités reçues par le fournisseur. Hypothèse : En considérant que les algorithmes de sécurités sont implantés de la bonne manière.

TABLE 6.5 – Plan de développement pour la sécurité

4.5 Mémoire du système	
Critères	Procédures et Hypothèses
4.5.1 Durée de l'archivage des données	Procédure : Calculer le nombre d'années que les données peuvent être conservées Hypothèse : N\A
4.5.2 Capacité de stockage	Procédure : Vérifier la quantité de stockage allouée par les différents concepts. Hypothèse : On considère que la mémoire de stockage allouée par le fournisseur correspond bel et bien à celle indiquée par celui-ci.
4.5.3 Capacité de mémoire RAM	Procédure : Vérifier la quantité de mémoire Ram allouée par les différents concepts. Hypothèse : On considère que la mémoire Ram allouée par le fournisseur correspond bel et bien à celle indiquée par celui-ci.

TABLE 6.6 – Plan de développement pour la mémoire du système

6.2 Concepts de solutions proposées

Fonction	Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 4
Accéder à distance aux informations	Application web mobile	Application mobile	Application web mobile	Application web mobile
Saisir les informations à distance	Ipad mini	Nexus 5	Nexus 5	Lenevo
Capter les informations sur l'éclairage	ISL29125	HCT-99D	ENV-RGV	ISL29125
Réguler l'éclairage	Arduino Due	Raberry pi 2	Rasberry pi 2	Arduino Due
Saisir et afficher localement les informations	COT150-AWF01	Magic Touch Deluxe	Magic Touch Deluxe	CIPS DEI et LG 120
Produire l'éclairage	Tristar RGB DMX	Projecteur sur rails	Projecteur sur rails	MR16 RGB DMX HF
Archiver et sécuriser les données	Serveur Iweb	Google Cloud	Google Cloud	Serveur Iweb

Récolter les renseignements des visiteurs	Surface 2	Ipad air 2	Surface 2	Ipad air 2
---	-----------	------------	-----------	------------

TABLE 6.7 – Solutions retenues

6.2.1 Solution 1

La solution contient les concepts jugés les plus performants.

6.2.1.1 Qualité de l'éclairage

Cette solution utilise 5 DEL Tristar RGB. L'installation des DEL utilise comme support un système de rails. La description ainsi que les différentes pièces nécessaires pour le montage des rails sont détaillées sur le lien suivant [48]. Les rails sont installés en forme de U en fonction des dimensions de la salle d'exposition. Une distance de 1m est maintenue par rapport aux 3 côtés où les tableaux sont exposés. Ce qui fait une distance de deux fois 7m à couvrir en longueur et une distance de 4 m en largeur. Un ensemble de joints de liaisons entre les différentes longueurs de rails et de fixations sont utilisés, les détails et le nombre de matériels sont donnés dans le tableau B.1.

Éclairement lumineux : La DEL Tristar RGB a un éclairement lumineux par couleur de 75 lux. Il faut donc 5 DEL pour être conforme au critère d'un éclairement lumineux supérieur à 350 lux. On obtient ainsi 375 lux pour l'ensemble des lampes. Ce qui équivaut à une pondération de 2.9 % sur 10% du critère évalué suivant l'équation 6.1 :

$$1 - \left(\frac{350}{E} \right)^5 \quad (6.1)$$

où E est l'éclairement lumineux en lux.

Précision de mesure : Le capteur ISL29125, est un dispositif permettant de mesurer l'éclairement lumineux selon la discrimination tri chromatique XYZ afin d'obtenir la coordonnée de la couleur sur le spectre du visible avec une précision de 1.86 lux. Ces caractéristiques lui permettent d'obtenir la note de 4.30% sur les 5% alloués pour ce critère selon la formule 4.2.

Puissance consommée : La DEL Tristar RGB DMX, est une DEL fonctionnant à 5W de puissance en consommation normale. Comme il faut prévoir 5 DEL par tableau et qu'il y a 8 tableaux, on obtient $P_{total} = 5 \times 8 \times 5W = 200W$. Ce qui équivaut à une pondération de 9.84% sur 10% alloués à ce critère selon la formule de la puissance totale consommée par les DEL 6.2 .

$$1 - \left(\frac{P}{1600} \right)^2 \quad (6.2)$$

où P est la puissance consommée en watt.

Durée de vie des DEL : La DEL Tristar RGB DMX a une durée de vie constatée d'environ 35000 heures ce qui lui permet d'obtenir 4% sur les 5% alloués à ce critère 4.4.

Dimension du système : La dimension de la DEL Tristar est de 0.051m*0.058m. On a une surface occupée par les 5 DEL de chaque tableau qui correspond au calcul suivant :

$$5 * 8 * 0.051m * 0.058m = 0.118m^2 \quad (6.3)$$

Ceci correspond à une note de 1.875% sur 2.5%.

Intégration du système : La surface visible de ces LED est grise, couleur appartenant à la catégorie 1 selon la discrimination de la couleur que nous avons choisie. Ceci équivaut à 2% sur les 2.5% alloués.

6.2.1.2 Analyse des données

Fréquence d'exécution : L'exécution de l'algorithme de régulation sera assurée par le microcontrôleur Arduino Due. Celui-ci possède une fréquence de traitement maximale de 84 MHz qui est bien au-dessus de la fréquence minimale de 2 Hz nécessaire. En se référant à la formule 4.5, le microcontrôleur Arduino Due se voit attribuer la note suivante :

$$1 - (2/84000000)^3 = 0.9999 \quad (6.4)$$

En considérant la pondération du critère de la fréquence d'exécution, l'Arduino Due obtient la note de 0,9999, que l'on arrondira à 1, soit 5%.

Nombre de signaux d'entrée : Le nombre de signaux d'entrée correspond au nombre d'entrées présentes sur le module de traitement. Le microcontrôleur Arduino Due comporte 54 entrées/sorties dont 12 entrées analogues. En considérant qu'il faut un minimum de 8 sorties, on évalue le nombre de signaux d'entrée sur le nombre d'entrée restantes, soit 46. En se référant à la formule 4.6, le microcontrôleur Arduino Due se voit attribuer la note suivante :

$$1 - (8/46)^3 = 0.99 \quad (6.5)$$

En considérant la pondération du critère sur le nombre de signaux d'entrée, l'Arduino Due obtient la note de 0,99 soit 4,95%.

Nombre de signaux de sortie : Le nombre de signaux de sortie correspond au nombre de sorties présentes sur le module de traitement. Le microcontrôleur Arduino Due comporte 54 entrées/sorties. En considérant qu'il faut un minimum de 8 entrées, on évalue le nombre de signaux de sortie sur le nombre de sortie restantes, soit 46. En se référant à la formule 4.7, le microcontrôleur Arduino Due se voit attribuer la note suivante :

$$1 - (8/46)^3 = 0.99 \quad (6.6)$$

En considérant la pondération du critère sur le nombre de signaux de sortie, l'Arduino Due obtient la note de 0,99 soit 4,95%.

6.2.1.3 Mémoire du système

Durée de l'archivage des données : Les serveurs d'Iweb permettent d'archiver des données indéfiniment, tant que le service est maintenu par le client. En se référant au tableau 4.8, la note de 1 est attribuée pour cette solution , donc en pourcentage, la note de 3%

Capacité de stockage : Les serveurs d'Iweb permettent l'archivage de 1 To de donnée. En utilisant l'équation 4.8 , la note de 1 est attribuée pour cette solution, donc en pourcentage, la note de 4%. Calcul :

$$\frac{m - 500}{500} = \frac{1000 - 500}{500} = 1 \quad (6.7)$$

Capacité de mémoire Ram : Les serveurs d'Iweb offre 8 Go de mémoire Ram. En utilisant l'équation 4.9 , la note de 0 est attribuée pour cette solution, donc en pourcentage, la note de 0 %. Calcul :

$$\frac{r - 8}{8} = \frac{8 - 8}{8} = 0 \quad (6.8)$$

6.2.1.4 Sécurité

Protection de l'accès à distance : L'accès à distance est possible à l'aide d'un site web et d'une application web mobile. La sécurité est assurée par un protocole de type LDAP qui valide l'identité des techniciens à l'aide d'informations privées et qui limite l'accès à un personnel autorisé seulement. Selon le tableau 4.6 ,cette solution est classée confidentielle. Elle obtient donc la note de 0.5,soit 2.5%.

Protection des données du client : Les informations du client sont sauvegardées sur le serveur d'Iweb. Ce serveur offre un cryptage sur 128 bits, ce qui permet une bonne protection des données. Cependant, Iweb n'assure pas que ses serveurs sont protégés à 100% contre toutes attaques informatiques. Ainsi , en se référant au tableau 4.7 , la protection de ce serveur est classée confidentielle. La note de 0.5 est attribuée pour cette solution, soit 2.5%

6.2.1.5 Communication locale et à distance

Accès à distance sécurisé pour cinq personnes : Le site web et l'application web mobile développée par un particulier permettent un accès en tout temps aux informations du système d'éclairage puisqu'il est sous-entendu que les techniciens possèdent un accès à internet. Une connexion internet est le seul élément nécessaire pour communiquer avec le système. La sécurité des informations du dispositif d'éclairage est prise en compte lors de la conception de la solution permettant l'accès à distance. Les cinq employés posséderont les informations nécessaires qui limitera l'usage à ces derniers uniquement. La combinaison des deux modules sera simple puisque les fonctionnalités du site web doivent facilement être adaptées à une interface mobile. L'accès à distance est fiable et rapide en tout temps, la note attribuée est donc de 1.

Convivialité du dispositif local : Le moniteur tactile ACL thinkTouch a un écran de 15po avec une résolution de 1024x768 pixels, ce qui offre une résolution agréable à l'utilisateur. La grandeur de l'écran peut permettre un affichage complet et espacé pour avoir une interface épurée. Il est possible de l'intégrer avec un microcontrôleur sur lequel le logiciel sera installé. Puisque l'écran est tactile, la saisie des configurations est simple et intuitive. Une cote de 1 lui sera attribuée pour sa convivialité. La note en pourcentage est donc de 2,33

Convivialité du dispositif mobile : L'iPad mini de 1ère génération a un écran de 7,9 po avec une résolution de 1 024 x 768 pixels. Ainsi, l'appareil offre une bonne qualité d'image pour son utilisateur. Puisque l'écran est tactile, les manipulations seront plus intuitives et simples pour le responsable technique. Ainsi, l'affichage et les configurations pourront être faits de manière conviviale et efficace. Il se voit attribuer une note de 1 pour sa convivialité. Donc, en pourcentage cela vaut 2,33

6.2.1.6 Coûts et échéances

Respect de l'échéance : La solution comporte des composantes qui seront disponibles et livrées au maximum en 20 semaines pour la composante qui prend le plus de temps. Ceci permet à cette solution d'obtenir une note de 1 soit 10% sur les 10% alloués à ce critère.

Coût du projet : Les coûts du projet sont évalués dans le tableau 6.8, le prix des fixations des LED (1010 \$) est additionné au prix des LED :

Concept	Prix(\$)
Application web mobile	30000
Ipad Mini	899
ISL29125	182.92
Aduino Due	55.85
COT150-AWF01	250
Tristar RGB DMX	2378 + 1010
Serveur Iweb	948
Surface 2	10245
TOTAL	45968.77

TABLE 6.8 – Évaluation du prix de la solution 1

Ceci confère à la solution 1 un résultat de 3% sur les 5% alloués à ce critère.

6.2.2 Solution 2

Cette solution est imaginée selon les concepts les plus économiques.

6.2.2.1 Qualité de l'éclairage

Cette solution utilise les projecteurs Pyros. Le système de fixation des projecteurs est le même que celui décrit dans la solution 1 [6.2.1.1](#).

Éclairement lumineux : Le projecteur sur rails Pyros RGB a un éclairage lumineux par couleur supérieur à 650 lux. Ce qui équivaut à une pondération de 9.54% sur 10% du critère.

Précision de mesure : Le capteur HCT-90D possède une précision de 0.1 lux soit une note de 4.99% sur les 5% alloués.

Puissance consommée : Le projecteur Pyros RGB consomme une puissance de 58 W, pour 8 projecteurs, cela équivaut à 464 W. Cela correspond à une note de 9.16% sur 10%.

Durée de vie des DEL : Le projecteur Pyros RGB a une durée de vie constatée d'environ 85 000 heures ce qui lui permet d'obtenir 4.84% sur les 5% alloués à ce critère.

Dimension du système : La dimension des 8 projecteurs est de $8 \times 0.240\text{m} \times 0.190\text{m} = 0.36 \text{ m}^2$. Ceci équivaut à 0% sur les 2.5% alloués.

Intégration du système : Le projecteur sur rails Pyros RGB est aluminium, une couleur de catégorie 1. Ceci équivaut à 2% sur les 2.5% du critère.

6.2.2.2 Analyse des données

Fréquence d'exécution : L'exécution de l'algorithme de régulation sera assurée par le microcontrôleur Raspberry Pi 2. Celui-ci possède une fréquence de traitement maximale de 900 MHz qui est bien au-dessus de la fréquence minimale de 2 Hz nécessaire. En se référant à la formule 4.5, le microcontrôleur Raspberry Pi 2 se voit attribuer la note suivante :

$$1 - (2/900000000)^3 = 0.9999 \quad (6.9)$$

En considérant la pondération du critère de la fréquence d'exécution, le Raspberry Pi 2 obtient la note de 0,9999, que l'on arrondira à 1, soit 5%.

Nombre de signaux d'entrée : Le nombre de signaux d'entrée correspond au nombre d'entrées présentes sur le module de traitement. Le microcontrôleur Raspberry Pi 2 comporte 40 ports GPIO. L'ajout de 5 puces MCP3008 permet d'obtenir un total de 40 entrées/sorties analogiques sur le Raspberry Pi 2. En considérant qu'il faut un minimum de 8 sorties, on évalue le nombre de signaux d'entrée sur le nombre d'entrées restantes, soit 32. En se référant à la formule 4.6, le microcontrôleur Raspberry Pi 2 se voit attribuer la note suivante :

$$1 - (8/32)^3 = 0.98 \quad (6.10)$$

En considérant la pondération du critère sur le nombre de signaux d'entrée, le Raspberry Pi 2 obtient la note de 0,98 soit 4,9%.

Nombre de signaux de sortie : Le nombre de signaux de sortie correspond au nombre de sorties présentes sur le module de traitement. Le microcontrôleur Raspberry Pi 2 comporte 40 ports GPIO. L'ajout de 5 puces MCP3008 permet d'obtenir un total de 40 entrées/sorties analogiques sur le Raspberry Pi 2. En considérant qu'il faut un minimum de 8 entrées analogiques, on évalue le nombre de signaux de sortie sur le nombre de sorties restantes, soit 32. En se référant à la formule 4.7, le microcontrôleur Raspberry Pi 2 se voit attribuer la note suivante :

$$1 - (8/32)^3 = 0.98 \quad (6.11)$$

En considérant la pondération du critère sur le nombre de signaux d'entrée, le Raspberry Pi 2 obtient la note de 0,98 soit 4,9%.

6.2.2.3 Mémoire du système

Durée de l'archivage des données : Google Cloud permet d'archiver des données indéfiniment, tant que le service est maintenu par le client. En se référant au tableau 4.8, la note de 1 est attribuée pour cette solution, donc en pourcentage, la note de 3%

Capacité de stockage : Google Cloud permet l'archivage de 1 To de donnée. En utilisant l'équation 4.8, la note de 1 est attribuée pour cette solution, donc en pourcentage, la note de 4%.

$$\frac{m - 500}{500} = \frac{1000 - 500}{500} = 1 \quad (6.12)$$

Capacité de mémoire Ram : Google Cloud offre 15 Go de mémoire Ram. En utilisant l'équation 4.9, la note de 0,875 est attribuée pour cette solution, donc en pourcentage, la note de 2.625 %.

$$\frac{15 - 8}{8} = \frac{15 - 8}{8} = 0.875 \quad (6.13)$$

6.2.2.4 Sécurité

Protection de l'accès à distance : L'accès à distance est possible à l'aide d'un site web et d'une application web mobile. La sécurité est assurée par un protocole de type LDAP qui valide l'identité des techniciens à l'aide d'informations privées et qui limite l'accès à un personnel autorisé seulement. Selon le tableau 4.6, cette solution est classée confidentielle. Elle obtient donc la note de 0.5, soit 2.5 %.

Protection des données du client : Les informations du client sont sauvegardées sur les serveurs de Google. Google Cloud utilise le cryptage AES de 128 bits et un système d'authentification afin d'avoir accès aux données. En se référant au tableau 4.7, la protection de Google Cloud est classifiée confidentielle et non secrète puisque ce cloud n'assure pas une protection à 100% contre les attaques informatiques. Cette solution obtient la note de 0.5, soit 2.5%.

6.2.2.5 Communication locale et à distance

Accès à distance sécurisé pour cinq personnes : Puisqu'il est sous-entendu que les techniciens possèdent un appareil électronique ou du moins un accès à internet, le site web et l'application mobile développés par un particulier permettent un accès en tout temps aux informations du système d'éclairage. Le site web est accessible avec une connexion au réseau. L'avantage de l'application mobile est sa simplicité d'utilisation sur tout appareil mobile. La sécurité des informations du dispositif d'éclairage est prise en compte lors de la conception du système permettant l'accès à distance. Les cinq employés posséderont les informations nécessaires ce qui limitera l'usage à ces derniers uniquement.

L'accès à distance est fiable et rapide en tout temps, la note attribuée est donc de 1.

Convivialité du dispositif local : Le Magic Touch Deluxe est un écran tactile de 10,1 po de diagonale avec une résolution de 1366x768 pixels. La qualité d'image est bonne et ne pose donc aucun problème. La taille de l'écran peut permettre un affichage assez complet des

données avec une visualisation et saisie facile. Son implantation est très simple puisqu'elle ne demande qu'une alimentation USB et il est déjà compatible avec Windows, MacOS et Linux. D'ailleurs il est conçu pour fonctionner directement avec le microcontrôleur Raspberry Pi 2. L'écran se voit attribuer une note de 1 pour sa convivialité. Convertie en pourcentage, elle est de 2,33

Convivialité du dispositif mobile : Le Nexus 5 est un téléphone intelligent Android avec un écran 4,95 po de 1920 x 1080 pixels. L'affichage de l'appareil mobile est ainsi plaisant pour son utilisateur. L'appareil est fiable et rapide. Puisque c'est un téléphone, il lui est possible de recevoir des appels et des SMS des autres techniciens. Puisque l'écran est tactile la saisie des données peut se faire de façon simple. La solution offre beaucoup donc très conviviale et versatile. Le Nexus 5 se voit donner une note de 1 qui en pourcentage donne 2,33

6.2.2.6 Coûts et échéances

Respect de l'échéance : La solution comporte des composantes qui seront disponibles et livrées au maximum en 20 semaines pour la composante qui prend le plus de temps. Ceci permet à cette solution d'obtenir une note de 1 soit 10% sur les 10% alloués à ce critère.

Coût du projet : Les couts du projets sont évalués dans le tableau 6.9, le prix de fixation des Projecteurs sur rails (1010 \$) est additionné à leur prix total :

Concept	Prix(\$)
Application mobile	60000
Nexus 5	1548.8
HCT-99D	22784
Raspberry pi 2	60.60
Magic Touch Deluxe	485
Projecteurs sur rails	9496 + 1010
Google Cloud	2002.68
Ipad air 2	12745
TOTAL	110132.08

TABLE 6.9 – Evaluation du prix de la solution 2

Ceci confère à la solution 2 un résultat de 0% sur les 5% alloués à ce critère.

6.2.3 Solution 3

Cette solution est conçue dans l'optique des concepts les plus plausibles à être utilisés.

6.2.3.1 Qualité de l'éclairage

Cette solution utilise les projecteurs Pyros. Le système de fixation des projecteurs est le même que celui décrit dans la solution 1 6.2.1.1.

Éclairement lumineux : Le projecteur sur rails Pyros RGB a un éclairage lumineux par couleur supérieur à 650 lux. Ce qui équivaut à une pondération de 9.54% sur 10% du critère.

Précision de mesure : Le capteur ENV-RGB d'Atlas Scientific possède une précision de ± 1 lux ce qui lui confère une note de 4.8% sur les 5% du critère.

Puissance consommée : Le projecteur Pyros RGB consomme une puissance de 58 W, pour 8 projecteurs, cela équivaut à 464 W. Cela correspond à une note de 9.16% sur 10%.

Durée de vie des DEL : Le projecteur Pyros RGB a une durée de vie constatée d'environ 85 000 heures ce qui lui permet d'obtenir 4.84% sur les 5% alloués à ce critère.

Dimension du système : La dimension des 8 projecteurs est de $8 \times 0.240\text{m} \times 0.190\text{m} = 0.36\text{ m}^2$. Ceci équivaut à 0% sur les 2.5% alloués.

Intégration du système : Le projecteur sur rails Pyros RGB est aluminium, une couleur de catégorie 1. Ceci équivaut à 2% sur les 2.5% du critère.

6.2.3.2 Analyse des données

Fréquence d'exécution : L'exécution de l'algorithme de régulation sera assurée par le microcontrôleur Raspberry Pi 2. Celui-ci possède une fréquence de traitement maximale de 900 MHz qui est bien au-dessus de la fréquence minimale de 2 Hz nécessaire. En se référant à la formule 4.5, le microcontrôleur Raspberry Pi 2 se voit attribuer la note suivante :

$$1 - (2/900000000)^3 = 0.9999 \quad (6.14)$$

En considérant la pondération du critère de la fréquence d'exécution, le Raspberry Pi 2 obtient la note de 0,9999, que l'on arrondira à 1, soit 5%.

Nombre de signaux d'entrée : Le nombre de signaux d'entrée correspond au nombre d'entrées présentes sur le module de traitement. Le microcontrôleur Raspberry Pi 2 comporte 40 ports GPIO. L'ajout de 5 puces MCP3008 permet d'obtenir un total de 40 entrées/sorties analogiques sur le Raspberry Pi 2. En considérant qu'il faut un minimum de 8 sorties, on évalue le nombre de signaux d'entrée sur le nombre d'entrées restantes, soit 32. En se référant à la formule 4.6, le microcontrôleur Raspberry Pi 2 se voit attribuer la note suivante :

$$1 - (8/32)^3 = 0.98 \quad (6.15)$$

En considérant la pondération du critère sur le nombre de signaux d'entrée, le Raspberry Pi 2 obtient la note de 0,98 soit 4,9%.

Nombre de signaux de sortie : Le nombre de signaux de sortie correspond au nombre de sorties présentes sur le module de traitement. Le microcontrôleur Raspberry Pi 2 comporte 40 ports GPIO. L'ajout de 5 puces MCP3008 permet d'obtenir un total de 40 entrées/sorties analogiques sur le Raspberry Pi 2. En considérant qu'il faut un minimum de 8 entrées analogiques, on évalue le nombre de signaux de sortie sur le nombre de sorties restantes, soit 32. En se référant à la formule 4.7, le microcontrôleur Raspberry Pi 2 se voit attribuer la note suivante :

$$1 - (8/32)^3 = 0.98 \quad (6.16)$$

En considérant la pondération du critère sur le nombre de signaux d'entrée, le Raspberry Pi 2 obtient la note de 0,98 soit 4,9%.

6.2.3.3 Mémoire du système

Durée de l'archivage des données : La description est donnée à la section 6.2.2.3

Capacité de stockage : La description est donnée à la section 6.2.2.3

Capacité de mémoire Ram : La description est donnée à la section 6.2.2.3

6.2.3.4 Sécurité

Protection de l'accès à distance : La description est donnée à la section 6.2.2.4

Protection des données du client : La description est donnée à la section 6.2.2.4

6.2.3.5 Communication locale et à distance

Accès à distance sécurisé pour cinq personnes : Le site web et l'application web mobile développée par un particulier permettent un accès en tout temps aux informations du système d'éclairage puisqu'il est sous-entendu que les techniciens possèdent un accès à internet. Une connexion internet est le seul élément nécessaire pour communiquer avec le système. La sécurité des informations du dispositif d'éclairage est prise en compte lors de la conception de la solution permettant l'accès à distance. Les cinq employés posséderont les informations nécessaires ce qui limitera l'usage à ces derniers uniquement. La combinaison des deux modules sera simple puisque les fonctionnalités du site web doivent facilement être adaptées à une interface mobile. L'accès à distance est fiable et rapide en tout temps, la note attribuée est donc de 1.

Convivialité du dispositif local : La description du Magic Touch Deluxe est donnée dans la solution 2 6.2.2.5.

Convivialité du dispositif mobile : La description du Nexus 5 est donnée dans la solution 2 6.2.2.5.

6.2.3.6 Coûts et échéances

Respect de l'échéance : La solution comporte des composantes qui seront disponibles et livrées au maximum en 20 semaines pour la composante qui prend le plus de temps. Ceci permet à cette solution d'obtenir une note de 1 soit 10% sur les 10% alloués à ce critère.

Coût du projet : Les coûts du projet sont évalués dans le tableau 6.10, le prix de fixation des Projecteurs sur rails (1010 \$) est additionné à leur prix total :

Concept	Prix(\$)
Application web mobile	30000
Nexus 5	1548.8
ENV-RGV	394.80
Raspberry pi 2	60.60
Magic Touch Deluxe	485
Projecteurs sur rails	9496 + 1010
Google Cloud	2002.68
Surface 2	10245
TOTAL	55242.88

TABLE 6.10 – Évaluation du prix de la solution 3

Ceci confère à la solution 3 un résultat de 3% sur les 5% alloués à ce critère.

6.2.4 Solution 4

Cette solution se base sur les concepts les moins utilisés.

6.2.4.1 Qualité de l'éclairage

Les DEL MR16 utilisent comme fixation les anciens supports des lampes halogènes.

Éclairage lumineux : La DEL MR16 RGB HF a un éclairage lumineux par couleur de 90 lux. Avec 4 DEL pour chaque tableau, on obtient $4 \times 90 = 360$ lux, ce qui équivaut à une pondération de 1.31% sur 10% de la pondération du critère.

Précision de mesure : La description du ISL29125 est donnée dans la solution 1 au paragraphe 6.2.1.1 .

Puissance consommée : Les DEL MR16 RGB HF consomment une puissance de 5W chacune, il faut 4 DEL par tableau ce qui équivaut à une puissance de $4 \times 5 = 20$ W au total. Ce concept obtient donc une note de 9.9% sur les 10% alloués à ce critère.

Durée de vie des DEL : Les DEL MR16 RGB HF ont une durée de vie d'environ 30 000h ce qui leur octroie 3.75% sur les 5% alloués à ce critère.

Dimension du système : Les DEL occupent une surface pour de $S_{totale} = 4 \times 8 \times 0.048m \times 0.050m = 0.0768m^2$ ce qui permet d'obtenir la note de 2.5% sur 2.5% alloués à ce critère.

Intégration du système : La surface visible des DEL MR16 RGB est de couleur grise de lin, ce qui la place dans la catégorie 2 et lui octroie donc une note de 1,25% sur les 2.5% alloués à ce critère.

6.2.4.2 Analyse des données

Fréquence d'exécution : L'exécution de l'algorithme de régulation sera assurée par le microcontrôleur Arduino Due. Celui-ci possède une fréquence de traitement maximale de 84 MHz qui est bien au-dessus de la fréquence minimale de 2 Hz nécessaire. En se référant à la formule 4.5, le microcontrôleur Arduino Due se voit attribuer la note suivante :

$$1 - (2/84000000)^3 = 0.9999 \quad (6.17)$$

En considérant la pondération du critère de la fréquence d'exécution, l'Arduino Due obtient la note de 0,9999, que l'on arrondira à 1, soit 5%.

Nombre de signaux d'entrée : Le nombre de signaux d'entrée correspond au nombre d'entrées présentes sur le module de traitement. Le microcontrôleur Arduino Due comporte 54 entrées/sorties dont 12 entrées analogues. En considérant qu'il faut un minimum de 8 sorties, on évalue le nombre de signaux d'entrée sur le nombre d'entrées restantes, soit 46. En se référant à la formule 4.6, le microcontrôleur Arduino Due se voit attribuer la note suivante :

$$1 - (8/46)^3 = 0.99 \quad (6.18)$$

En considérant la pondération du critère sur le nombre de signaux d'entrée, l'Arduino Due obtient la note de 0,99 soit 4,95%.

Nombre de signaux de sortie : Le nombre de signaux de sortie correspond au nombre de sorties présentes sur le module de traitement. Le microcontrôleur Arduino Due comporte 54 entrées/sorties. En considérant qu'il faut un minimum de 8 entrées, on évalue le nombre de signaux de sortie sur le nombre de sorties restantes, soit 46. En se référant à la formule 4.7, le microcontrôleur Arduino Due se voit attribuer la note suivante :

$$1 - (8/46)^3 = 0.99 \quad (6.19)$$

En considérant la pondération du critère sur le nombre de signaux de sortie, l'Arduino Due obtient la note de 0,99 soit 4,95%.

6.2.4.3 Mémoire du système

Durée de l'archivage des données : La description est donnée à la section 6.2.1.3

Capacité de stockage : La description est donnée à la section 6.2.1.3

Capacité de mémoire Ram : La description est donnée à la section 6.2.1.3

6.2.4.4 Sécurité

Protection de l'accès à distance : La description est donnée à la section 6.2.1.4

Protection des données du client : La description est donnée à la section 6.2.1.4

6.2.4.5 Communication locale et à distance

Accès à distance sécurisé pour cinq personnes : Puisqu'il est sous-entendu que les techniciens possèdent un appareil électronique ou du moins un accès à internet, le site web et l'application mobile développés par un particulier permettent un accès en tout temps aux informations du système d'éclairage. Le site web est accessible avec une connexion au réseau. L'avantage de l'application mobile est sa simplicité d'utilisation sur tout appareil mobile. La sécurité des informations du dispositif d'éclairage est prise en compte lors de la conception du système permettant l'accès à distance. Les cinq employés posséderont les informations nécessaires ce qui limitera l'usage à ces derniers uniquement.

L'accès à distance est fiable et rapide en tout temps, la note attribuée est donc de 1.

Convivialité du dispositif local : Le Moniteur IPS DEL de HP couplé avec la combinaison clavier et souris Logitech MK120 présente une solution standard. L'affichage 20 po de 1600x900 pixels offre une bonne qualité d'image et la souris avec le clavier propose une interaction moins simple qu'un écran tactile. La demande en prises électriques pour son fonctionnement est aussi plus importante. Pour sa convivialité cette solution se voit une note de 0,5. En pourcentage, elle est donc de 1,17

Convivialité du dispositif mobile : Le PC 2-en-1 Lenovo Miix 2 10-20377 édition Signature est un pc convertible de 10,1 po. Son écran tactile a une résolution native de 1080p. Il fonctionne sous Windows 8.1 32 bits. L’affichage est donc agréable pour l’utilisateur et permet d’afficher toutes les données nécessaires sur une page. Toutefois, un PC est un peu plus compliqué à utiliser et demande plus de temps qu’un appareil mobile comme un téléphone intelligent ou encore une tablette. Ainsi, le Lenovo Miix 2 se voit donner une cote de 0,5 pour sa convivialité, ce qui représente 1,17

6.2.4.6 Coûts et échéances

Respect de l’échéance : La solution comporte des composantes qui seront disponibles et livrées au maximum en 20 semaines pour la composante qui prend le plus de temps. Ceci permet à cette solution d’obtenir une note de 1 soit 10% sur les 10% alloués à ce critère.

Coût du projet : Les coûts du projet sont évalués dans le tableau 6.11 :

Concept	Prix(\$)
Application mobile	60000
Lenovo	1579
ISL29125	182.92
Arduino Due	55.85
IPS DE1 et LG 120	380
MR16 RGB DMX HF	922
Serveur Iweb	948
Ipad air 2	12745
TOTAL	76812.77

TABLE 6.11 – Évaluation du prix de la solution 4

Ceci confère à la solution 3 un résultat de 2% sur les 5% alloués à ce critère.

6.3 Synthèse des résultats

<i>Critères</i>	<i>Sol.1</i>	<i>Sol.2</i>	<i>Sol.3</i>	<i>sol.4</i>
Qualité de l'éclairage				
4.1.1 Éclairage lumineux	375 lux	650 lux	650 lux	360 lux
4.1.2 Précision de mesure	1.86 lux	0.1 lux	1 lux	1.86 lux
4.1.3 Puissance consommée	200 W	464 W	464 W	160 W
4.1.4 Durée de vie des DEL	35 000 h	85 000 h	85 000 h	30 000 h
4.1.5 Dimensions du système	0.118 m^2	0.36 m^2	0.36 m^2	0.0768 m^2
4.1.6 Intégration du système	grise	aluminium	aluminium	gris de lin
Centre de gestion				
4.2.1 Fréquence d'exécution	84 MHz	900 MHz	900 MHz	84 MHz
4.2.2 Nombre de signaux d'entrée	46	32	32	46
4.2.3 Nombre de signaux de sortie	46	32	32	46
Communication locale et à distance				
4.3.1 Accès à distance (5 personnes)	fiable	fiable	fiable	fiable
4.3.2 Dispositif local et mobile	Simple	Simple	Simple	Difficile
Sécurité				
4.4.1 Protection de l'accès à distance	Confid.	Confid.	Confid.	Confid.
4.4.2 Protection des données du client	Confid.	Confid.	Confid.	Confid.
Mémoire du système				
4.5.1 Durée de l'archivage des données	∞	∞	∞	∞
4.5.3 Capacité de stockage	1 To	1 To	1 To	1 To
4.5.2 Capacité de mémoire RAM	8 Go	15 Go	15 Go	8 Go
Coûts et échéances				
4.6.1 Respect de l'échéance (jours)	140	140	140	140
4.6.2 Coût du projet (\$)	45968.77	110132.08	55242.88	76812.77

TABLE 6.12 – Tableau synthèse des résultats

Chapitre 7

Concept retenu

7.1 Matrice de décision

Ce chapitre présente une synthèse des solutions retenues à travers la matrice de décision [7.1](#). Cette dernière présente les notes que chaque concept a obtenues en pourcentage selon tous les critères à respecter du cahier des charges [4.1](#). Tous les résultats présents dans le tableau ont été évalués selon les barèmes définis dans la section du cahier des charges. La solution retenue pour le SystArt est la troisième, puisque c'est celle qui a obtenu le meilleur pourcentage selon les barèmes.

<i>Critères</i>	<i>Pond.</i>	<i>Sol.1</i>	<i>Sol.2</i>	<i>Sol.3</i>	<i>sol.4</i>
Qualité de l'éclairage	35%				
4.1.1 Éclairage lumineux	10%	2.9%	9.54%	9.54%	1.31%
4.1.2 Précision de mesure	5%	4.3%	4.8%	4.99%	4.3%
4.1.3 Puissance consommée	10%	9.84%	9.16%	10%	9.9%
4.1.4 Durée de vie des DEL	5%	4%	4.84%	4.84%	1.75%
4.1.5 Dimensions du système	2.5%	1.875%	0%	0%	2.5%
4.1.6 Intégration du système	2.5%	2%	2%	2%	1.25%
Centre de gestion	15%				
4.2.1 Fréquence d'exécution	5%	5%	5%	5%	5%
4.2.2 Nombre de signaux d'entrée	5%	4.95%	4,90%	4,90%	4.95%
4.2.3 Nombre de signaux de sortie	5%	4.95%	4,90%	4,90%	4.95%
Communication locale et à distance	15%				
4.3.1 Accès à distance (5 personnes)	8%	8%	8%	8%	8%
4.3.2 Convivialité des interfaces	7%	7%	7%	7%	5.8%
Sécurité	10%				
4.4.1 Protection de l'accès à distance	5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%
4.4.2 Protection des données du client	5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%
Mémoire du système	10%				
4.5.1 Durée de l'archivage des données	3%	3%	3%	3%	3%
4.5.3 Capacité de stockage	4%	4%	4%	4%	4%
4.5.2 Capacité de mémoire RAM	3%	0%	2.625%	2.625%	0%
Coûts et échéances	15%				
4.6.1 Respect de l'échéance	10%	10%	10%	10%	10%
4.6.2 Coût du projet	5%	3%	0%	3%	2%
Total	100%	78.115%	74.915%	78.945%	72.01%

TABLE 7.1 – Matrice décisionnelle

7.2 Analyse décisionnelle

Au regard des résultats de la matrice décisionnelle, nous constatons que la solution qui se démarque est la solution 3(6.2.3) suivie de très près par la solution 1 (6.2.1). Viennent ensuite la solution 2 (6.2.2) et enfin la solution 4 (6.2.4). Les solutions 2 et 4 semblent relativement éloignées au niveau des résultats comparativement aux solutions 1 et 3 qui sont très proches l'une de l'autre avec une différence de seulement 0,83%. La différence semble s'être faite à

plusieurs niveaux, tout d'abord au niveau de la qualité de l'éclairage où la solution 1 a obtenu 6,455% de moins que la solution 3, notamment car cette dernière est plus performante dans les critères déterminant tels que l'éclairement lumineux tandis que la solution 1 obtient de meilleurs points dans des critères plus secondaires comme les dimensions du système entre-autre. Ensuite, malgré que la solution 1 obtienne une note plus élevée de 8,25% au niveau du centre de gestion, la solution 3 reprend un avantage au niveau de la mémoire du système où la capacité de mémoire RAM avec une pondération de 3% a permis de départager les 2 solutions. Du reste, on retiendra que les solutions 1 et 3 ont quasiment obtenu des notes similaires dans les autres critères et que les solutions 2 et 4 ont perdu beaucoup dans le centre de gestion et les coûts et échéances (pour la solution 2) et dans la qualité de l'éclairage et la mémoire du système (pour la solution 4).

7.3 Description du concept retenu

La solution 3 (6.2.3) est le dispositif d'éclairage retenu par notre équipe. Tout d'abord, cette solution comporte 8 capteurs Atlas scientifique ENV-RGV (5.2.2) qui mesurent l'intensité lumineuse ainsi que la couleur selon la discrimination tri-chromatique XYZ du signal lumineux pour chaque tableau. Le système est compatible avec le micro-contrôleur Raspberry pi 2 (5.3.3) sélectionné. L'échange d'information sur l'état actuel de l'éclairage se fait donc aisément. Le technicien responsable peut envoyer des consignes au micro-contrôleur localement grâce à l'écran tactile Magic Touch Deluxe (5.4.3) préalablement programmé. Cet écran a l'avantage d'être compatible avec le Raspberry pi 2. De plus, le technicien responsable peut communiquer à distance avec le dispositif local grâce à un téléphone mobile Nexus 5 (5.5.1) sur lequel il est possible d'accéder à une application web mobile (5.1.3) conçue pour afficher les informations sur l'éclairage actuel du musée et les modifier. Une fois toutes les informations envoyées au micro-contrôleur, des consignes seront émises afin d'ajuster l'éclairage. Ces commandes dépendent des signaux analogiques provenant des capteurs de lumière et du technicien responsable. Les signaux sont convertis en signaux numériques par un convertisseur analogique-numérique puis transmis aux DEL. L'éclairage de chaque tableau est produit par un projecteur professionnel Pyros RGB avec système de fixation à rails (5.6.3). Le nouvel état de l'éclairage est affiché sur l'écran tactile Magic Touch Deluxe et mis à jour sur le site internet (5.1.3) conçu à cet effet. Le site internet et l'application web mobile sont sécurisés par un protocole LDAP. De cette manière l'accès est limité à cinq techniciens qui possèdent une clé d'authentification. Les données émises seront archivées sur Google Cloud (5.7.2) pour une période de 1 an. Ce système de stockage utilise des serveurs à distance pour conserver nos données à l'aide d'Internet. Les informations sont sécurisées par un cryptage AES et un système d'authentification. Afin de connaître l'opinion des visiteurs sur le nouveau dispositif d'éclairage, leurs commentaires et leurs renseignements seront recueillis. Le tout est réalisé par une tablette Surface 2 accompagnée d'une application Windows 8 (5.8.2). Ce concept est compatible avec la base de données du Centre d'arts visuels de Québec, ce qui permet aux visiteurs membres de ne pas rentrer à nouveau leurs renseignements personnels. Les commentaires sont eux aussi archivés dans le Cloud.

7.4 Diagramme physique

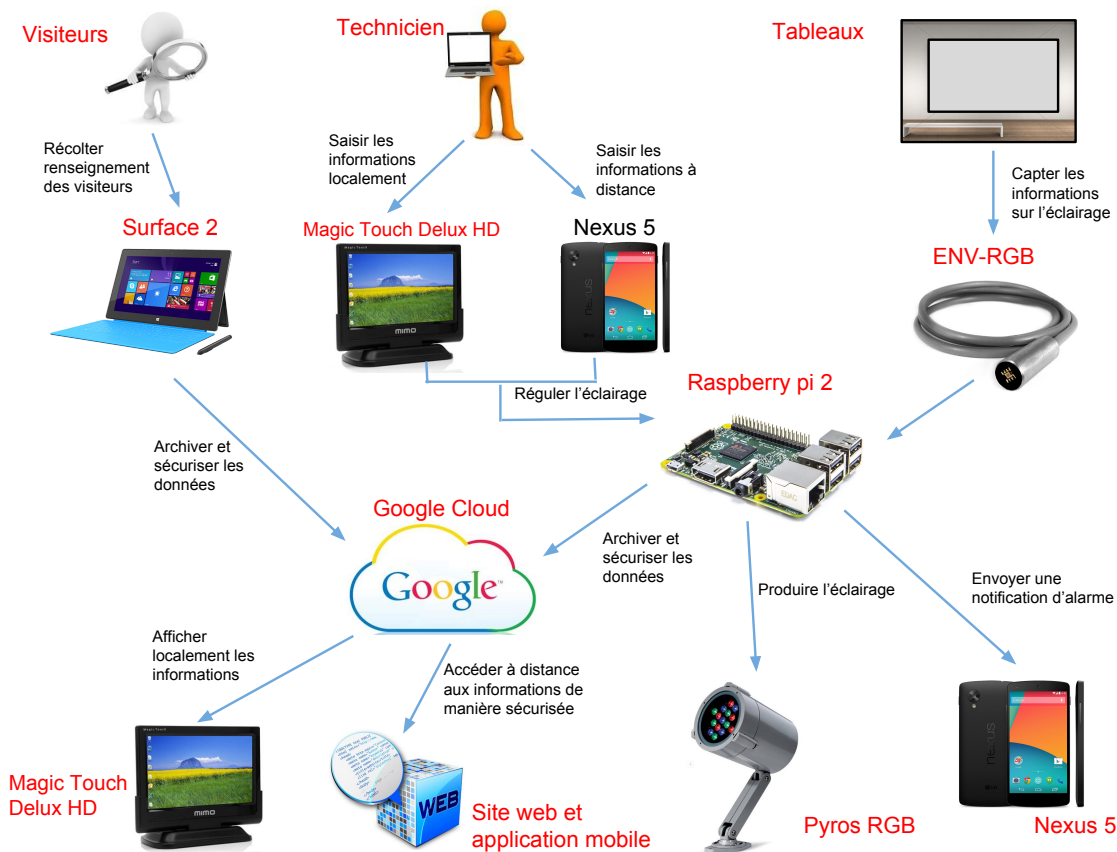


FIGURE 7.1 – Diagramme physique

7.5 Conclusion

L'équipe de LuxÉclairage avait reçu comme mandat de développer le systArt, un système d'éclairage adaptatif à DEL pour le Centre d'arts visuels de Québec. Une rigoureuse méthodologie a été utilisée afin de définir le meilleur concept de solution à retenir. Tout d'abord, une analyse des besoins a été faite, puis un cahier des charges suivis d'une analyse de faisabilité et d'une étude préliminaire. Ce qui a permis d'évaluer selon les contraintes et besoins du client, la solution qui lui convenait le mieux. La solution retenue est celle qui a été imaginée à partir des concepts évalués comme étant les plus plausibles à la réalisation du projet. Selon son évaluation, c'est la solution optimale pour satisfaire les attentes du client.

Bibliographie

- [1] Calculateur d'espace mémoire
<http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=36828>, Page consultée le 10 février
- [2] Liste des noms de couleurs
http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_de_noms_de_couleur, Page consultée le 12 février
- [3] Informations diverses et générales sur les LED
http://fr.wikipedia.org/wiki/Lampe_%C3%A0_diode_%C3%A9lectroluminescente.
- [4] Durée de vie réelle des DEL , Page consultée le 12 février
<http://www.natura-sciences.com/energie/duree-de-vie-ampoules-led-394.html>.
- [5] Sécurité des communications
<http://ca-fr.norton.com/mobile-safety/article>,Page consultée le 10 mars
- [6] Applications natives <http://marketing-webmobile.fr/2011/12/developper-une-web-app-html5-avantages-inconvenients-bonnes-pratiques/>,Page consultée le 10 mars
- [7] Coût des applications <http://www.combiencoutemonapp.com/>,Page consultée le 10 mars
- [8] Applications web <http://www.xul.fr/application-web.html>, Page consultée le 12 mars
- [9] Sécurité des communications http://www.canadavie.com/003/Accueil/Renseignementsjuridiques/S5_010096FR, Page consultée le 12 mars
- [10] Applications natives et web
http://www.alliga-media.fr/Site_web_mobile_ou_application_native_%3F
- [11] Radio-Canada, *Test du Nexus 5 : performant et abordable*, [en ligne],
<http://blogues.radio-canada.ca/triplex/2013/11/07/test-du-nexus-5-performant-et-abordable/>,Page consultée le 14 mars 2015.
- [12] Vidéotron, *Forfaits mobilité affaires à partir du Québec*, [en ligne], <http://affaires.videotron.com/web/pme/mobile/forfaits/accueil.do?locale=fr>,Page consultée le 14 mars 2015.

- [13] Engadget, *Nexus 5 review : the best phone \$350 can buy*, [en ligne], http://www.engadget.com/2013/11/05/nexus-5-review/?ncid=rss_truncated, Page consultée le 14 mars 2015.
- [14] Apple, *Choisissez votre iPad mini*, [en ligne], <http://store.apple.com/xf/buy-ipad/ipad-mini/16go-gris-cosmique-wifi-cellular>, Page consultée le 14 mars 2015.
- [15] Engadget, *iPad mini review*, [en ligne], <http://www.engadget.com/2012/10/30/apple-ipad-mini-review/>, Page consultée le 14 mars 2014.
- [16] Microsoft, *PC 2-en-1 Lenovo Miix 2 10-20377 édition Signature*, [en ligne], http://www.microsoftstore.com/store/msca/fr_CA/pdp/PC-2-en-1-Lenovo-Miix-2-10-20377-edition-Signature/productID.297990300, (Page consultée le 15 mars 2014.)
- [17] Vidéotron, *INTERNET MOBILE FORAITS FLEXIBLES*, [en ligne], <http://www.videotron.com/residentiel/internet/internet-mobile/forfait-flexible#tab/presentation>, Page consultée le 15 mars 2015.
- [18] Alibaba, *15 inch open frame Professional Touch monitor manufacturer (COT150-AWF01)*, [en ligne], http://www.alibaba.com/product-detail/15-inch-open-frame-Professional-Touch_60100848691.html, Page consultée le 10 mars 2015.
- [19] Wikipédia, *Écran à cristaux liquides*, [en ligne], http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cran_%C3%A0_cristaux_liquides#Les_caract.C3.A9ristiques_d.27un_.C3.A9cran_.C3.A0_cristaux_liquides, Page consultée le 10 mars 2015.
- [20] Bestbuy, *Moniteur IPS rétroéclairé à DEL de 20 po de HP (20BW)*, [en ligne], <http://www.bestbuy.ca/en-ca/product/hewlett-packard-hp-20-ips-led-backlit-monitor-20bw-20bw/10241328.aspx?path=b0b32ec4d8bfe44df8495075a3f9043aen02>, Page consultée le 10 mars 2014.
- [21] Bestbuy, *Ensemble clavier et souris de Logitech MK120*, [en ligne], <http://www.bestbuy.ca/en-CA/product/logitech-logitech-keyboard-mouse-combo-mk120-920-002565/10207205.aspx>, Page consultée le 10 mars 2014.
- [22] Mimomonitors, *Magic Touch Deluxe HD*, [en ligne], <http://www.mimomonitors.com/products/magic-touch-deluxe-hd>, Page consultée le 17 mars 2015.
- [23] Samsung, *Disque électronique SSD 850 EVO 2.5*, <http://www.samsung.com/global/business/semiconductor/minisite/SSD/global/html/ssd850evo/overview.html>, Page consultée le 9 mars 2015.
- [24] Asus, *Ordinateur M32 d'Asus*, <http://www.asus.com/Desktops/M32AD/>, Page consultée le 12 mars 2015.

- [25] Google, *Informations sur Google cloud*
<https://cloud.google.com/why-google/>, Page consultée le 14 mars 2015.
- [26] Google, *Machine virtuelle de Google cloud*
<https://cloud.google.com/compute/?hl=fr-fr#machine-note3>, Page consultée le 14 mars 2015.
- [27] Iweb, *Serveur dédié par la compagnie IWEB*
<http://iweb.com/dedicated-server>, Page consultée le 15 mars 2015.
- [28] Description Sparkfun
<http://go.intersil.com/rgb-sensor.html> (page consultée le 10 mars 2015)
- [29] Datasheet Sparkfun
<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/isl29125.pdf>
(page consultée le 10 mars 2015)
- [30] Prix Sparkfun
<https://www.sparkfun.com/products/12829> (page consultée le 10 mars 2015)
- [31] Soudure Pin Sparkfun
<http://poste-a-souder.comprendrechoisir.com/?/location-post?> (page consultée le 10 mars 2015)
- [32] Boitier Sparkfun
<http://www.electroniccase.fr/devi> (page consultée le 10 mars 2015)
- [33] Description Atlas-Scientific
http://www.atlas-scientific.com/product_pages/probes/env-rgb.html (page consultée le 10 mars 2015)
- [34] Datasheet Atlas-Scientific
http://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/ENV-RGB.pdf
(page consultée le 10 mars 2015)
- [35] Description GigaHertz
<http://www.gigahertz-optik.de/29-1-HCT-99D+.html> (page consultée le 10 mars 2015)
- [36] Datasheet GigaHertz
http://www.gigahertz-optik.de/files/1-6_hct-99d_dse.pdf (page consultée le 10 mars 2015)
- [37] Prix GigaHertz
http://www.globaltestsupply.com/c/224/Gigahertz_Optik_Inc._HCT_99_D_Luminous_Color_Meter_.html (page consultée le 10 mars)
- [38] Informations I2C
<http://fr.wikipedia.org/wiki/I2C> (page consultée le 10 mars 2015)

- [39] Alimentation continue 12V pour les DEL
<http://www.boulevard-des-leds.fr/364-alimentation-led-250-watts-ip67.html>, (page consultée le 10 mars 2015)
- [40] Information sur la tristar
<http://www.wiedamark.com/tristarrgbdmx.aspx>, (page consultée le 10 mars 2015)
- [41] Mode de connection de la tristar
http://wdmlighting.com/pdf/dmxlamp/Connecting_Diagrams_For_TRISTAR-DMX.pdf, , (page consultée le 11 mars 2015)
- [42] Information sur la tristar du site sulekha
http://b2b.sulekha.com/tristar-rgb-dmx-led-lamps_product_249983, (page consultée le 11 mars 2015)
- [43] Information sur la tristar du site hiline
<http://hiline-trading.co.uk/32-led-mr16-rgb>, (page consultée le 12 mars 2015)
- [44] Catalogue sur les LED
http://www.application-led.com/catalogue-2015_1.pdf, (page consultée le 12 mars 2015)
- [45] Définition du DMX512
http://fr.wikipedia.org/wiki/DMX_%28%C3%A9clairage%29, (page consultée le 7 mars 2015)
- [46] Description sur la MR16 DEL RGB HF 2.4GHz <http://www.boutique-electroconcept.com/boutique/lampe-mr16-rgb-dmx-hf-2-4-ghz-5w.html>, (page consultée le 13 mars 2015)
- [47] KIT DMX HF E/R 2.4Ghz <http://www.application-led.com/dmx-hf.html>, (page consultée le 13 mars 2015)
- [48] <http://www.unipro.fi/shop/lighting-tracks/>, (page consultée le 10 avril 2015.)
- [49] <http://www.targetti.com/products>, (page consultée le 13 mars 2015)
- [50] <http://www.targetti.fr/produits/70143/pyros-rgb--ctc>, (page consultée le 13 mars 2015)
- [51] <http://fr.scribd.com/doc/140137685/Tarifa-Targetti#scribd>
- [52] <http://www.targetti.fr/products/70137/nano-pyros-rgb>, (page consultée le 13 mars 2015)
- [53] <http://www.lumenpulse.com/en/product/10/lumenbeam-medium-color-changing>, (page consultée le 13 mars 2015)
- [54] <http://www.lumenpulse.com/fr/produit/154/lumenalpha-spot-large>, (page consultée le 14 mars 2015)
- [55] http://www.seleconlight.com/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.product_details&flypage=shop.flypage.p1&category_id=186&product_id=10334&Itemid=1&lang=ru, (page consultée le 15 mars 2015)

- [56] Nmédia, *Les écarts de prix des logiciels*, [en ligne], <http://www.nmediasolutions.com/blogue/developpement-dapplications/comment-expliquer-les-ecarts-de-prix-monstres-dans-les-soumissions-pour-le-developpement-logiciel/>, Page consultée le 11 mars 2015.
- [57] Samsung, *Samsung Chromebook 2*, [en ligne], http://www.samsung.com/ca_fr/consumer/office/chrome-devices/chromebooks/XE503C32-K01CA, Page consultée le 11 mars 2015.
- [58] Amazon, *Samsung Chromebook 2*, [en ligne], <http://www.amazon.com/Samsung-Chromebook-13-Inch-Luminous-Titan/dp/B00J49ZH1U>, Page consultée le 11 mars 2015.
- [59] 01net, *Microsoft Surface 2*, [en ligne], <http://www.01net.com/fiche-produit/fiche-technique-15678/tablettes-microsoft-surface-2-32gb/>, Page consultée le 11 mars 2015.
- [60] LesNumeriques, *Microsoft Surface 2*, [en ligne], <http://www.lesnumeriques.com/tablette-tactile/microsoft-surface-2-p16948/test.html>, Page consultée le 11 mars 2015.
- [61] CombienCoutemonapp, *Application Windows*, [en ligne], <http://www.combiencoutemonapp.com/>, Page consultée le 11 mars 2015.
- [62] Apple, *iPad Air 2*, [en ligne], <https://www.apple.com/ca/fr/ipad-air-2/performance/>, Page consultée le 11 mars 2015.
- [63] CombienCoutemonapp, *Application iOS*, [en ligne], <http://www.combiencoutemonapp.com/>, Page consultée le 11 mars 2015.
- [64] Adafruit, *MCP3008*, [en ligne], <http://www.adafruit.com/products/856>, Page consultée le 10 mars 2015.
- [65] Raspberry Pi, *Raspberry Pi 2 Model B*, [en ligne], <http://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/>, Page consultée le 10 mars 2014.
- [66] Arduino, *Arduino Due*, [en ligne], <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardDue>, Page consultée le 10 mars 2015.
- [67] Materthel, *Arduino Library*, [en ligne], <http://www.mathertel.de/Arduino/DMXSerial.aspx>, Page consultée le 10 mars 2015.
- [68] Texas Instrument, *Piccolo F28035*, [en ligne], <http://www.ti.com/product/tms320f28035>, Page consultée le 10 mars 2015.
- [69] Microsoft, *Lync Server 2013 Capacity Calculator*, <http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=36828>, Page consultée le 20 février 2015.
- [70] Kinvey, <http://www.kinvey.com/app-cost-estimator>, Page consultée le 20 février 2015.

- [71] Gracion Software, <http://www.gracion.com/server/whatldap.html>, Page consultée le 20 février 2015.

Annexe A

Liste des sigles et des acronymes

DEL ou LED	Diode electroluminescente
UV	Ultraviolet
IR	Infrarouge
RGB	Red, Green, Blue (Rouge, Vert, Bleu)
ROM	Read Only Memory (Memoire Lecture Seule)
RAM	Random Access Memory(Memoire à accès aléatoire)
AES	Advanced Encryption Standard(standard de chiffrement avancé)
ACL	Écran à cristaux liquides
SMBus	Bus de Controle du système
I2C	Bus de donnée
SCL	Pin de l'horloge séquentielle
ASCII	Code américain normalisé pour l'échange d'information
NEMA 6P	Association Américaine des Fabricants d'Electronique
IP68	Indice de Protection
USB	Bus en Serie universel
Win8	Windows 8
DMX512	Digital Multiplexing, norme de transmission de données pour l'éclairage
HF	Haute fréquence
LDAP	Lightweight Directory Access Protocol

Annexe B

Tableau du coût des fixations pour les LED et les Projecteurs

Matériels	Nombre nécessaires	Prix par unité
3-circuit lighting track, L=3m, white	2	90\$
3-circuit lighting track, L=2m, white	6	62\$
Middle connection unit, white	4	47\$
End cap, white (1set=10pcs)	2	2.4\$
L-corner, white	2	31.5\$
Ceiling bracket, white	8	3\$
Ceiling bracket with cup, white	8	7.7\$
Threaded rod M6 L=1m	8	7.6\$
Suspension clamp, white	8	3.2\$
Suspension hook	8	1.33\$

TABLE B.1 – Fixation sur rails des DEL