

**Étude de faisabilité technique pour la  
réalisation d'une œuvre d'art (collaboration  
avec Jean Luc Goupil, un artiste plasticien)**



**Etudiants :**

**Emma DELETTRE  
Mila JEUNEHOMME  
Solène LECLERC  
Gaëlle LEROUX**

**Lucas Lezy  
Romane PONSIN**

---

**Enseignant-responsable du projet :  
David HONORE**

*Cette page est laissée intentionnellement vierge.*



Date de remise du rapport : **08/06/2020**

Référence du projet : **STPI/P6/2020 - 24**

Intitulé du projet : **Étude de faisabilité technique pour la réalisation d'une œuvre d'art (collaboration avec un artiste plasticien)**

Type de projet : **Bibliographique**

Objectifs du projet :

Les objectifs du projet sont multiples. Notre rôle est d'aider Jean-Luc GOUPIL dans la réalisation de sa future oeuvre d'art. Grâce à nos connaissances, et aux recherches que nous pouvons mener, nous devons étudier la faisabilité de cette oeuvre et établir des solutions techniques répondant au mieux aux attentes qu'elles impliquent. Ce projet nous permet également d'apprendre à travailler en groupe.

Mots-clefs du projet (4 maxi) : **Autonomie, accrochage, éclairage, oeuvre d'art**

**INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE ROUEN**  
**Département Sciences et Techniques Pour l'Ingénieur**

avenue de l'Université - 76801 Saint-Etienne-du-Rouvray - tél : +33 (0)2 32 95 97 00 - fax : +33 (0)2 32 95 98 60

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1.</b>	Introduction .....	5
<b>2.</b>	Méthodologie / Organisation du travail.....	5
<b>3.</b>	Travail réalisé et résultats .....	7
3.1.	Eclairage de l'oeuvre.....	7
3.1.1.	Système d'éclairage par lentille de Fresnel et fibre optique .....	7
3.1.2.	Système d'éclairage électrique.....	9
3.1.3.	Diffusion homogène de la lumière .....	12
3.2.	Autonomie Énergétique.....	12
3.2.1.	Recherche des différentes sources d'énergie .....	13
3.2.2.	Etude du système électrique.....	13
3.2.3.	Choix final des différents composants .....	16
3.3.	Accrochage de l'oeuvre.....	17
3.3.1.	Recherches des systèmes d'accrochage existants .....	17
3.3.2.	Etude approfondie du système sélectionné .....	18
3.3.3.	Recherche d'alternatives aux limites précédemment remarquées .....	21
3.4.	Structure globale .....	22
3.4.1.	Matériaux et assemblage (estimation de la masse).....	22
3.4.2.	Prix de l'oeuvre.....	24
<b>4.</b>	Conclusions et perspectives.....	25
<b>5.</b>	Bibliographie .....	26
<b>6.</b>	Annexes .....	28
6.1.	Lentille de Fresnel, création, histoire et utilisation.....	28
6.2.	Détermination de l'ouverture numérique d'une fibre optique en fonction des indices de réfraction du coeur et de la gaine .....	28
6.3.	Fibres optiques polymère .....	28
6.4.	Deux expériences du calcul de la distance focale d'une lentille de Fresnel .....	28
6.5.	Les relations entre les principales grandeurs photométriques .....	28
6.6.	Démarche à suivre pour déterminer l'intensité nécessaire pour qu'une personne perçoive correctement l'oeuvre éclairée.....	28
6.7.	Différents modèles d'éclairage LED.....	28
6.8.	Prix des différents composants et sites potentiels d'achat .....	28
6.9.	Pour aller plus loin ... Matériaux hyper-uniformes .....	28
6.10.	Utilisation de l'énergie solaire et tableau comparatif des panneaux solaires.....	28
6.11.	Comparatif des différents types de batterie.....	28
6.12.	Tableau comparatif des batteries.....	28
6.13.	Comparatif des différents types de détecteurs .....	28
6.14.	Calcul détaillé du diamètre de la ventouse.....	28
6.15.	Détermination de la surface d'aspiration d'une ventouse rectangulaire .....	28
6.16.	Détermination de la masse de la structure .....	28
6.17.	Support de la présentation faite à M. GOUPIL le 3/06/2020.....	28

## 1. INTRODUCTION

Dans le cadre de l'EC de Projets de Physique (P6), nous avons été amenés à travailler sur un projet qui a attisé notre curiosité. Celui-ci concerne une étude de faisabilité technique pour la réalisation d'une œuvre d'art. Ce projet se démarque des autres projets proposés habituellement car celui-ci est en collaboration avec un artiste plasticien, Jean-Luc GOUPIL. M. GOUPIL a fait appel à nous pour l'aider dans la réalisation de sa future oeuvre d'art.

L'objectif est donc double : répondre au mieux aux attentes de l'artiste tout en utilisant nos capacités techniques et scientifiques pour proposer une solution viable.

Pour cela nous avons tout d'abord réalisé un cahier des charges, qui rassemble toutes les volontés de M. GOUPIL pour ensuite les répartir en plusieurs tâches et domaines techniques.

M. GOUPIL souhaite créer un trompe-l'œil lumineux qui serait présent sur les façades de divers bâtiments dans le but d'attirer l'attention des personnes dans la rue. Celui-ci consiste en un cadre de fenêtre contenant l'image d'un ciel bleu et de nuages. Afin que cette fenêtre attire l'attention, l'image doit être suffisamment éclairée, de jour comme de nuit. M. GOUPIL nous a demandé de réfléchir à une installation autonome énergétiquement, étanche, sécurisée et enfin fine en épaisseur.

A partir des souhaits de l'artiste, nous avons commencé à réfléchir à des pistes variées. Notre rôle consiste également à lui fournir les limites potentielles de son projet. En effet, il va probablement falloir faire des compromis pour satisfaire au maximum les attentes de M. GOUPIL.

## 2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Tout d'abord, nous avons dressé le cahier des charges de notre projet, celui-ci nous a permis de synthétiser les souhaits de M. GOUPIL et de voir si nous les avons bien compris. Notre objectif tout au long du semestre, a été de trouver des solutions envisageables respectant au mieux ces différents critères.

Trois grands axes d'études se sont alors dessinés, afin de travailler efficacement sur ce projet, nous avons divisé le travail en trois parties et travaillé en binôme sur chacune d'elles. Celles-ci sont :

- Éclairage de l'œuvre : Mila et Lucas
- Autonomie énergétique : Gaëlle et Emma
- Accrochage de la structure : Solène et Romane

En effet, Ces trois thèmes regroupent un nombre important de problématiques auxquelles nous devons répondre. Le cahier des charges, [figure 1](#), est présenté ci-dessous sous forme de tableau

Catégories	Critères à respecter
Système d'accroche	Accrochage facile (possible pour une personne seule)
	Accrochage sur toutes surfaces, y compris en extérieur (crépis, béton...)
	Système sécurisé : seul l'artiste doit pouvoir détacher l'œuvre du mur
	Système résistant, solide : la structure ne doit surtout pas tomber
	Aucun impact sur le mur : pas de trace, de trou...
Système lumineux	Plexiglas imprimé : ciel bleu et nuages (image/statique ou projection/dynamique)
	Oeuvre visible de jour comme de nuit
	Eclairage homogène dans tout le cadre
	Réfléchir à l'utilisation de la lumière du soleil/ambiante pour éclairer l'œuvre

Autonomie énergétique	L'œuvre doit être autonome énergétiquement Circuit électrique fiable Pas de risque de surchauffe
Caractéristiques/résistance des matériaux	L'œuvre doit résister aux intempéries (vent, pluie) Structure étanche et hermétique (pas de condensation) Faible épaisseur (trompe l'œil)
Budget	Prix inférieur à 8 000 euros

Figure 1: Cahier des charges fonctionnel

Avant de commencer notre travail en binôme, nous avons réfléchi à notre organisation sur le long terme, afin de ne pas être surpris par les échéances que nous rencontrerons. Pour cela nous avons créé un diagramme de Gantt, qui représente l'avancement de notre travail au fil des semaines.

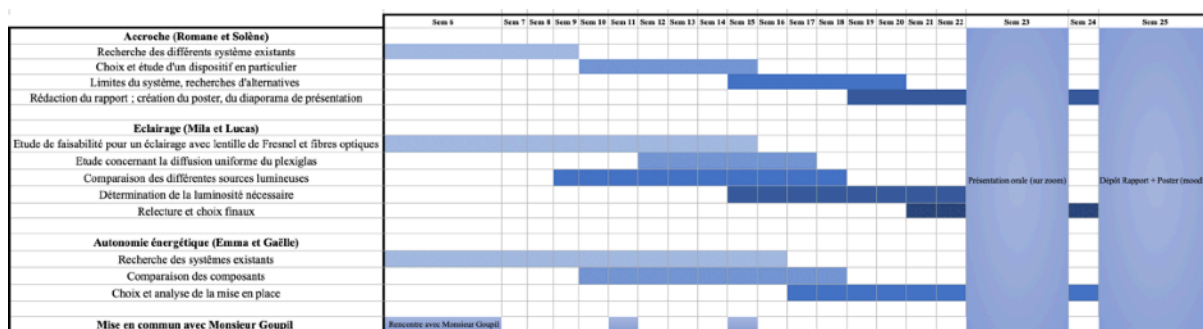


Figure 2: Diagramme de Gantt

Bien sûr, ce diagramme a subi des modifications au fil du temps mais il nous a permis d'avoir une vision globale de notre projet, sur plusieurs semaines. Malgré la séparation du travail en binôme, nous avons mis en commun nos recherches chaque semaine pour que chacun puisse donner son avis sur les solutions trouvées. Toutes questions ou remarques venant d'un membre du groupe permettent d'avancer sur les recherches et de trouver d'autres pistes d'étude. De plus, cela nous a également permis d'assurer une cohérence entre les différentes parties. En effet, cette étude est avant tout une étude globale.

Nous avions au départ prévu de faire des expériences pour le système d'accrochage, afin de vérifier son efficacité ou encore pour le système d'éclairage, mais au vu de la situation exceptionnelle nous n'avons pas pu les réaliser. Mais nous nous sommes adaptés pour rendre un travail le plus complet possible.

### 3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

#### 3.1. Eclairage de l'oeuvre

Cette partie de l'étude a pour but de choisir au mieux les matériaux et le type d'éclairage dans le but de satisfaire le cahier des charges. Il faut alors mettre en place un éclairage permanent et homogène, qui permet de voir le ciel bleu à l'intérieur de la fenêtre de façon claire et nette. Pour cela, il faut étudier le matériau sur lequel est imprimé le motif ainsi que les sources de lumières, qui peuvent exister, et qui respectent les possibilités techniques de l'autonomie énergétique.

Le soleil est une source d'énergie très précieuse qui peut-être exploitée de nombreuses façons différentes. C'est pourquoi dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à l'utilisation d'un système d'éclairage naturel grâce aux rayons du soleil. Pour compléter ce système nous avons comparé différents systèmes d'éclairage électrique. Enfin nous nous sommes intéressés à la diffusion homogène de la lumière.

##### 3.1.1. Système d'éclairage par lentille de Fresnel et fibre optique

###### Les lentilles, modèle considéré

[1] Dans le cadre de cette étude nous avons fait une approximation concernant les lentilles minces. Celles-ci permettent d'utiliser les notions vues dans le cadre de l'EC de P4.1 vu en première année de STPI. Nous utilisons donc les approximations de Gauss, c'est à dire que les rayons sont peu inclinés et proche de l'axe optique de la lentille. De plus, celles-ci sont stigmatiques et aplanétiques, l'image d'un point est un point et tout objet perpendiculaire à l'axe optique le reste suite au passage dans la lentille. Nous pouvons ainsi exploiter les notions de foyers, de lentilles convergentes et divergentes, et si besoin les formules de conjugaison, pour tracer les rayons lumineux.

###### [2,3] La lentille de Fresnel, création et histoire (annexe 1)

###### La lentille de Fresnel, particularité

Une lentille de Fresnel est une lentille optique mince et plate constituée de plusieurs sections annulaires concentriques, chaque anneau est de plus en plus fin que le précédent, ce qui permet à la lumière de converger vers le point focal.

A l'origine en verre, elle est maintenant fabriquée en plastique, en PMMA, en poly-carbonate (PC), en poly-chlorure de vinyle (PVC). Une lentille en plastique est plus légère, plus résistante qu'une lentille en verre, de plus elle est plus économique. C'est pourquoi, nous choisirons d'utiliser une lentille en plastique plutôt qu'en verre.

La lentille de Fresnel dispose d'un avantage contrairement aux lentilles convergentes ordinaires. En effet, c'est grâce à sa conception que la lentille dispose d'une distance focale courte pour un diamètre important. Une lentille convergente avec une distance focale équivalente aurait une très forte courbure et serait très fragile. Cette particularité est ce que nous recherchons, car notre fenêtre doit être la plus fine possible pour jouer le rôle de trompe-l'oeil. Mais également, le poids sera plus faible qu'une lentille conventionnelle grâce à son petit volume. Cette caractéristique est très importante car notre fenêtre sera moins lourde facilitant l'installation de cette dernière et soulageant le poids pour le système d'accroche.

###### Fibre optique, fonctionnement, usages, limites

Une fibre optique est composée principalement de 3 éléments:

- d'un coeur cylindrique où se transmet le signal/ la lumière
- d'une gaine réfléchissante
- d'une couche protectrice

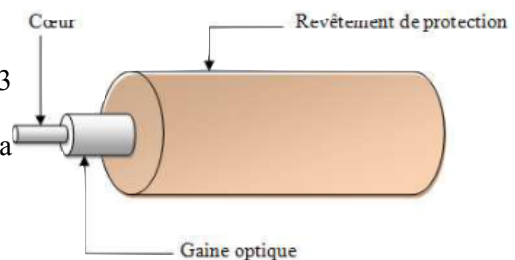


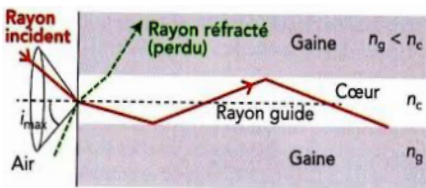
Figure 3: Composition d'une fibre optique

[4-7] Décryptons le phénomène optique utilisé par les fibres optiques à saut d'indice:

Les rayons lumineux ne se propagent pas de façons parallèles le long du cylindre que forme le coeur. La loi de réfraction de Snell-Descartes est le coeur du fonctionnement d'une fibre optique, et plus particulièrement lorsque les rayons passent d'un milieu plus réfringent vers un milieu moins réfringent. Dans ce cas, il existe un angle à partir duquel les rayons ne sont plus réfractés mais en réflexion totale interne. C'est exactement le phénomène entre le coeur et la gaine la fibre optique. Mais il faut en prendre en compte également les indices de réfraction du coeur et de la gaine car ces derniers déterminent l'ouverture numérique de la fibre, révélateur des rayons incidents qui peuvent traverser la fibre. Cette donnée est l'ouverture numérique et est obtenue grâce à cette expression: les détails sont en [annexe 2](#).

$$ON = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$$

Cette ouverture numérique correspond au sinus de la valeur absolue de l'angle entre la normale à la surface d'entrée et le rayon limite. Cette ouverture forme un cône d'acceptance des rayons lumineux. Celui-ci est valable aussi bien pour l'entrée et pour la sortie des rayons lumineux.



Ainsi tout rayon ayant un angle (en valeur absolue) supérieur à  $\arcsin(ON)$  ne sera pas guidé dans la fibre optique. Ce système est extrêmement fiable, il peut se déployer sur plusieurs kilomètres selon les modèles de fibres et sont aussi bien utiles pour les transports de lumière que d'informations.

Figure 4: tracé de rayon dans une fibre optique

De nombreuses contraintes sont à prendre en compte dans le cadre d'utilisation de fibre optique, les indices de réfraction des matériaux sont dépendants de la longueur d'onde, mais nous pouvons les supposer constants lors de cette étude. L'atténuation d'une fibre est aussi un critère important mesurée en  $km/dB$ , il faut essayer de limiter les pertes et transmettre le signal à l'identique entre l'entrée et la sortie de la fibre.

**Comparaison fibre optique en verre et en plastique**

Il existe des fibres optiques en verre et en plastique, comparons ces deux fibres. Ce comparatif est présenté dans ce tableau: [8]

Types de fibres optiques	Fibre en verre	Fibre en plastique
Atténuation en dB/km	150-200	150
Finesse	50 à 70 microns	diamètre 1 à 3 mm
Flexibilité	peu flexible	grande flexibilité
Utilisation	Découpe difficile	Manipulation facile, découpe facile
Ouverture numérique	80°	50°
Résistance à la chaleur	inaltérable, résistance au feu, jusqu'à 250°	peu de résistance à la chaleur*
Remarques	Fragile et forte courbure impossible	très bonne restitution du spectre visibles filtre les ultraviolets et infrarouges
Prix	3.76 euros/m	0.04euros/m

Figure 5: Tableau comparatif de fibres optiques

*\*la fibre en plastique peut résister à des chaleur de plus de 850° grâce à un surgainage en verre silicone*

La fibre optique ne transporte pas l'électricité, elle n'émet pas de chaleur ni de rayons UV et IR. Elle peut être ainsi dans des endroits humides aussi bien à l'intérieur que à l'extérieur. Parmi les modèles de fibre optique en polymères, deux sont intéressantes dans le cadre du projet. Ce sont les PG et PS (annexe 3). Elles sont premièrement éligibles à l'éclairage et de plus possède une ouverture numérique importante pour transporter un maximum de lumière. La PS est de plus diffusante qui permet de les placer directement dans le cadre sans diffuseur.

### Positionnement de la fibre optique

Le but maintenant est de placer correctement le lentille et la fibre optique. Mais il faut dans un premier temps déterminer la distance focale de la lentille. Deux méthodes sont alors possibles la méthode de Bessel et l'auto collimation. Celles-ci sont détaillées en annexe 4. [3]

Nous n'avons malheureusement pas pu réaliser ces expériences. En réalisant les expériences, nous aurions du trouver une valeur de  $f'$  comprise entre 12,4 et 13,6 cm. D'après un rapport de projet de p6 d'année précédente ou les élèves avaient réalisé les mêmes expériences

[10] À partir de cette distance focale et de l'ouverture numérique d'une fibre optique, nous pouvons placer cette dernière de manière à ce que tous les rayons qui arrivent sur la lentille soient dirigés à l'intérieur de la fibre. Aucun rayon ne peut se dirigé ailleurs que dans la fibre.

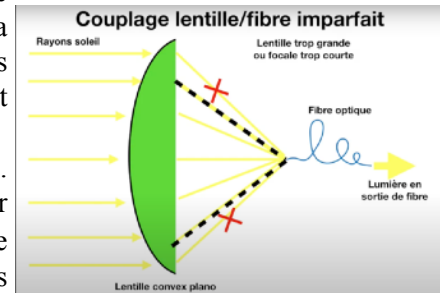


Figure 6: Couplage lentille et fibre optique

Pour obtenir un bon couplage fibre-lentille, il faut donc que la hauteur de la lentille de Fresnel ( $D$ ) soit égale au diamètre de la base du cône ( $D'$ ) et que la hauteur du cône soit égale à la distance entre la lentille et le point de focalisation des rayons. Ce que nous pouvons observer sur cette figure est un couplage imparfait car  $D \neq D'$ . Si  $D$  est trop grand ou la focale trop petite, alors une partie de la lumière se situera à l'extérieur du cône d'injection, elle sera alors perdue. C'est pourquoi, il est important d'avoir un bon couplage entre la fibre optique et la lentille pour un meilleur rendement et le moins de pertes possibles.

### Limite et conclusion de ce système d'éclairage

Ce système utilisé depuis quelques années dans de grands bâtiments telles que des entreprises ou des hôpitaux est une innovation prodigieuse dans le monde de l'éclairage, il est adaptable à plus petite échelle avec seulement une lentille de Fresnel et concentre de nombreux avantages. Cette source de lumière ne nécessite pas d'électricité, il n'y a donc pas de problème pour l'autonomie, de plus c'est assez peu encombrant et nécessite assez peu de matériels. Nous respectons aussi le critère d'une lumière très froide, c'est à dire blanche, car le soleil nous fournit une lumière avec une température de couleur élevée. Mais ce système est très variable, en effet il dépend de l'ensoleillement. Si celui-ci est trop faible nous ne verrons pas bien l'image souhaitée. De plus, comme le système concentre les rayons du soleil, il y a des risques de surchauffe et d'incendie potentiel si le système n'est pas correctement mis en place. L'installation nécessite un professionnel. Nous pourrions contacter Solux® ou [11] Échy®, mais ils traitent des chantiers de bâtiment. Ce système peut bien sûr être couplé avec un éclairage artificiel, c'est ce qui est généralement fait, mais le système de régulation serait trop énergivore dans ces conditions.

C'est pourquoi nous ne recommandons pas cette installation en priorité mais pourquoi pas pour une future oeuvre.

### 3.1.2 Système d'éclairage électrique

Le système présenté précédemment n'est bien sûr pas exploitable pendant la période de nuit. Or, M. GOUPIL nous demande que l'oeuvre soit aussi éclairée la nuit. Évidemment le ciel nuageux sera plus visible ainsi, mais le critère de l'homogénéité de diffusion reste une priorité.



Après une première réflexion, les éclairages LED semblent plus adéquates, mais il est nécessaire de bien les utiliser, et de connaître les grandeurs physiques autour de la lumière et en particulier la photométrie dans le but de déterminer la quantité de matériel à adopter.

### Définition des grandeurs

[12-16] Pour mieux comprendre les caractéristiques fournies pour le système lumineux nous devons définir correctement les grandeurs physiques avec lesquelles elles sont associées.

L'intensité lumineuse : l'intensité se mesure dans une direction donnée et caractérise l'éclat d'une source de lumière. Cette valeur d'intensité ne dépend pas de la distance à laquelle se trouve la source de lumière. On utilisera comme symbole  $I$  et son unité est le *candela*.

L'éclairement : L'éclairement est le flux lumineux sur la surface éclairée considérée. On utilisera comme symbole  $E$  et son unité est le *lux*. Cette grandeur est utile pour déterminer la quantité de lumière sur une surface.

La luminance : la luminance est l'intensité lumineuse dans une direction donnée par unité de surface. Cette grandeur correspond à la clarté d'une source lumineuse par rapport à l'oeil humain. On utilisera comme symbole  $L$  et son unité est le *candela/m<sup>2</sup>*.

La température de couleur : Cette notion est liée au modèle des corps noirs, quand il est chauffé il émet une certaine qualité de lumière. Nous utiliserons cette notion ici simplement dans le cadre de définir la couleur voulue par M. GOUPIL pour l'éclairage LED pour le système de nuit. Cette température est ainsi en *Kelvin*.

Il existe bien sûr d'autres grandeurs et des liens entre ces différentes grandeurs détaillées [annexe 5](#).

### Support pour le ciel nuageux, comparaison de différents matériaux

Dans un premier temps, il faut déterminer le matériau sur lequel sera imprimé le motif. Nous savons que M. GOUPIL utilise du Plexiglas, nous avons voulu comparer d'autres matériaux si d'autres pouvaient être plus adaptés. Nous avons choisi d'en prendre trois qui sont assez courants parmi les matériaux transparents. Nous avons ainsi un tableau récapitulant ces informations:

Plaque pour la vitre	Plexiglass (acrylique)	Verre	Polycarbonate
Caractéristiques générales			
Nom scientifique	Polyméthacrylate de méthyle	Verre	Polycarbonate
Densité	1,19	2,5	1,2
Inflammabilité	Oui	Non	Difficilement (M1)
Aspect général	Surface brillante, aspect cristal	dur	lisse brillant ou mat
Propriétés mécaniques			
Résistance aux chocs J (pour 4 mm d'ep)	12	10	200
Propriétés thermiques			
Coefficient de dilatation thermique x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	70-77	9	6,6
Conductivité thermique W/(m K)	0,17-0,19	0,065	0,2
	Protection des UV	effet étuve	Protection des UV, pas effet étuve
Propriétés optiques			



Transmission lumineuse	92% (3mm d'épaisseur)	80 à 90%	86 à 88%
indice de réfraction	1,49	1,5	1,59
Propriétés électriques			
Rigidité diélectrique kV/mm	15	10	30
Impression ou gravure possible	Oui	Oui	Oui (sérigraphie)
Vieillessement	Tendance à jaunir au soleil, durcir et fissurer		Moins tendance à jaunir
Remarques autres	Raye facilement	grande fragilité	Ne se raye pas

Figure 7: Comparaison des différents matériaux transparents

Parmi les propriétés qui nous intéressent ici, nous remarquons que le Plexiglas et le polycarbonate sont bien moins dense que le verre, de plus le verre est cassant. Dans le cas où nous souhaitons une oeuvre la plus légère possible pour qu'elle puisse être plus facilement accrochée, le verre n'est pas le matériau idéal. Nous remarquons que la transmission lumineuse, utile pour diffuser un maximum de lumière, est plus importante pour le Plexiglas que pour le polycarbonate. Bien que celle-ci dépende du modèle de Plexiglas, il existe de plus nombreuses gammes de ce matériau. C'est pourquoi nous avons cherché des modèles spécifiques de Plexiglas.

### Intensité nécessaire pour l'oeuvre

[17] Pour déterminer l'intensité lumineuse qu'il doit y avoir pour que l'oeuvre soit perçue rapidement par les passants nous nous sommes basés sur un rapport de recherche de 1981 de Roger HUBERT portant sur la signalisation routière. Nous avons trouvé un rapport intéressant car les feux tricolores sont des sources qui sont suffisamment lumineuses.

Leur but est de déterminer l'intensité donnée d'un feu rouge pour qu'il détecté rapidement en fonction de la position du feu par rapport à la route. Nous utiliserons la même démarche pour déterminer l'intensité délivrée par l'oeuvre. Cette démarche et les calculs sont ainsi détaillés [annexe 6](#).

### Couleur de la source lumineuse

Le choix de la couleur de la source est un choix purement esthétique. M. GOUPIL souhaite une lumière très blanche, c'est-à-dire avec une température de couleur correspondant au blanc froid, une température élevée entre 5030 et 6500 K. Nous devons ainsi trouver une source de lumière qui émet ce type de lumière. Les couleurs plus chaudes avec des températures plus basses sont des sources plus jaunes.

### Choix de notre source lumineuse

Nous nous sommes intéressés aux sources LED, car celles-ci sont les moins consommatrices et les plus facilement adaptables et surtout n'émettent pas de chaleur. Elles existent sous différentes formes, ruban, projecteurs ... Nous avons regroupé plusieurs modèles dans un tableau [annexe 7](#). Ceux qui ont le plus attiré notre attention sont les rubans LED, car nous pouvons définir une distance à inclure. De plus ils sont directifs, toute la lumière est dirigée vers la fenêtre et non dans toutes les directions comme une ampoule. De plus comme ils sont fins, ils peuvent facilement se disposer comme nous le souhaitons contrairement à une plaque ou un projecteur.

Pour déterminer la distance nécessaire il faut se référer à l'efficacité lumineuse, ici 1080 lm/m. Or nous souhaitons 500 cd. Or  $1lm = 1cd * 1st$  donc si on considère que l'angle solide est de  $2\pi$  soit une demi-sphère il faut 171 cd/m, soit environ 3 mètres de rubans. Cette distance de ruban reste variable suivant les volontés de M. GOUPIL et peut être augmentée si nécessaire.

### 3.1.3 Diffusion homogène de la lumière

[18] La fenêtre doit être éclairée de façon homogène sans point de sur luminosité. Nous avons une contrainte importante qui est l'épaisseur totale de l'oeuvre. Pour avoir une bonne diffusion il faudrait suffisamment de recul entre la source de lumière et la vitre, mais ce n'est ici pas possible.

Le Plexiglas dit « classique » en matière de PMMA est beaucoup utilisé pour les vitrines grâce à sa transparence même avec une épaisseur importante. La transmission diminue beaucoup pour le verre par exemple. Mais le problème étant la diffusion. Avec une source de lumière derrière la vitre qui est ponctuelle, celle-ci reste ponctuelle c'est à dire que l'on discerne encore d'où vient cette source. Une vitre de Plexiglas à l'inconvénient de ne pas diffuser la lumière partout sur sa surface.

Heureusement il existe une notion optique, l'opalescence. Le degré d'opalescence se traduit par un caractère laiteux dans le matériau. Cela donne un aspect limpide à la vitre, c'est un traitement supplémentaire qui lui est appliqué. L'utilisation première de ce type de vitrage est d'éviter les éblouissements. Ainsi la diffusion est bonne mais la transmission est mauvaise et une perte importante de lumière est à prévoir. Cette solution n'est pas envisageable car cela entraîne une consommation électrique plus importante.

Il faut donc trouver un compromis entre ces deux technologies, et il en existe un. Il s'agit du Plexiglas SATINICE®DF. Tout se passe à la fabrication: des particules de polymère avec un indice de réfraction différent de celui du Plexiglas sont coulées à l'intérieur de celui-ci de façon à ce qu'il y ait de la réfraction dirigée seulement vers une surface utile. En conséquence, ce procédé limite les pertes dues à la réflexion et l'absorption. Ces dernières étaient le principal défaut de la vitre opale. L'illustration de nos propos se situe *figure 8* tirée de la fiche technique:

On peut ainsi atteindre une bonne transmission soit environ 82% la lumière couplée à une diffusion plus importante.

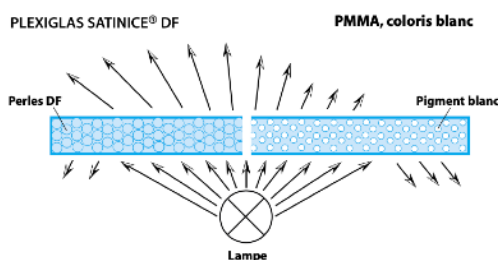


Figure 8: Principe de diffusion du Plexiglas SATINICE®DF

L'autre avantage également est qu'il conserve toutes les propriétés du Plexiglas qui est très utile, comme le perçage ou encore le collage, qui va permettre l'étanchéité de notre structure. Il est également facilement lavable donc même en cas de salissure due aux intempéries, entre deux mises en place. L'impression et la sérigraphie sont également possibles. Il faut voir ensuite avec l'imprimeur s'il est capable de le faire. Le prix de l'ensemble des matériaux est détaillé en [annexe 8](#).

**Pour aller plus loin ... Matériaux hyper-uniformes ([annexe 9](#))**

## 3.2. Autonomie Énergétique

Notre rôle dans ce projet a été d'étudier les différentes méthodes permettant de fournir de l'énergie ainsi que de déterminer un système qui conviendrait pour que l'oeuvre soit autonome énergétiquement. Après discussion avec M. GOUPIL, nous avons déterminé deux contraintes essentielles que nous devons respecter : notre système devait pouvoir fournir une intensité lumineuse suffisante pour que le ciel bleu soit bien visible (intensité déterminée par le binôme en charge de l'éclairage) et cela pour une durée allant de 24h à 48h.

### 3.2.1 Recherche des différentes sources d'énergie

La première étape de nos recherches a été de se renseigner sur les différents moyens de fournir l'œuvre en énergie. L'utilisation de l'énergie électrique, par le biais de batteries par exemple, nous est tout de suite venue à l'esprit. Cependant de nombreuses autres sources d'énergie existent et celles-ci pouvaient être plus avantageuses.

Nous nous sommes intéressées à l'énergie éolienne, mécanique et solaire.

M. GOUPIL nous a précisé qu'il était possible d'ajouter un élément à son œuvre, élément source d'énergie, si celui-ci s'intégrait esthétiquement à l'œuvre et respectait le cahier des charges notamment au niveau de la sécurité. Cependant, même avec cet ajout, nous avons exclu les énergies éolienne et mécanique. Pour la première, il existe certes des « petites éoliennes » mais elles restent tout de même extrêmement imposantes et ne sont pas conçues pour être déplacées<sup>[20]</sup>. Et pour la seconde, nous avons étudié l'énergie que pourrait fournir le passage des piétons sur une plaque qui emmagasine cette énergie mais le dispositif n'est pas déplaçable ni sécurisé.

L'énergie solaire en revanche est exploitable. En effet, il est possible d'installer un panneau solaire dans un cadre de fenêtre pour qu'il fasse office de seconde fenêtre au sein de l'œuvre. Cette option implique de devoir relier les deux fenêtres par un câble et une installation de l'œuvre dans son ensemble plus compliquée. Nous avons donc étudié l'option (annexe 10) mais nous avons décidé que cela ne serait pas la solution première à la demande de M. GOUPIL qui souhaitait pouvoir installer son œuvre lui-même et sans trop de difficultés.

Nous avons ainsi sélectionné l'énergie électrique et orienté notre étude sur les composants dont nous avons besoin pour réaliser un système électrique répondant au cahier des charges.

### 3.2.2 Etude du système électrique

#### Les batteries

L'élément principal de notre circuit électrique est la source d'électricité. Dans notre cas, seules des batteries portables peuvent avoir cette fonction en raison du besoin de mobilité de l'œuvre.

Il existe différents types de batteries séparées en trois familles selon le métal utilisé pour leur conception : le plomb (Pb), le nickel (NiMH ou NiCd) et le lithium (Li-ion, Li-Po, LiFePO4)<sup>[21]</sup>.

A ce jour, aucun type de batterie ne peut être considéré parfait, chacun possédant des inconvénients qui sont directement liés au choix du métal. (annexe 11)

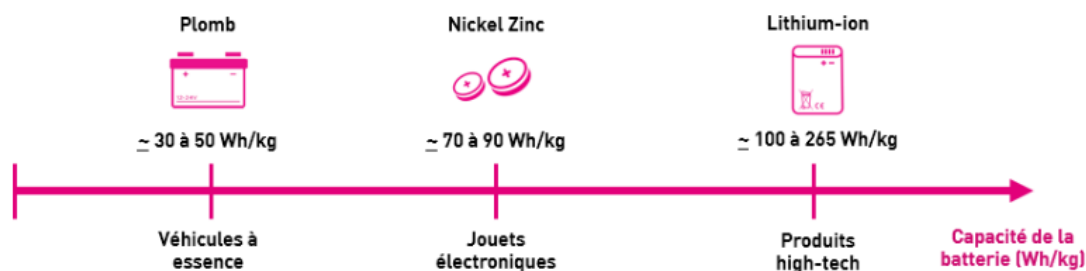


Figure 9: Schéma comparatif de la puissance des batteries

Il faut ainsi choisir la batterie qui correspond le mieux aux besoins de chaque système. Les batteries au plomb sont les plus lourdes, or pour optimiser l'accrochage il est nécessaire de minimiser le poids de l'œuvre. De plus, les batteries au nickel ont une faible capacité qui ne nous permettrait pas un éclairage sur 48h. Ces caractéristiques nous ont donc menées à choisir les batteries au lithium et plus précisément les batteries Lithium-ion (Li-ion) car ce sont les plus compactes<sup>[22,25]</sup>.

La suite de notre étude a consisté à dimensionner la batterie, c'est-à-dire déterminer les caractéristiques nécessaires pour garantir une autonomie de 48h. Deux paramètres de la batterie entrent en compte dans le calcul de l'autonomie : la capacité et la tension.

$$\frac{\text{Capacité} * \text{Tension} * \text{Décharge}}{\text{Puissance des Led}} = \text{Autonomie} \iff \frac{[Ah][V][\%]}{[W]} = [h]$$

Figure 10: Formule pour le calcul de l'autonomie<sup>[23]</sup>

Le résultat dépend évidemment du système qu'on veut alimenter, c'est-à-dire de la puissance consommée par les LED. Mais ce qu'il est important de remarquer, c'est qu'il ne suffit pas d'avoir une très grande capacité ; la tension doit également être la plus élevée possible. De plus, il faut prendre en compte qu'une batterie ne se décharge, dans les faits, pas complètement. Cette décharge est généralement à hauteur de 70% voire 50% dans les cas les moins bons.

Nous avons recherché sur différents sites de ventes des batteries allant de tensions faibles en courant continu (5V, 12V) à des tensions comparables à une prise secteur en courant alternatif (220V) dans le but d'avoir une vision d'ensemble des solutions envisageables. Puis, nous avons appliqué la formule précédente à chaque batterie. (annexe 12)

Deux méthodes se sont ainsi distinguées, la première reposant sur des batteries à faible tension et la seconde sur une forte tension.

**Les batteries : faible tension**

Les batteries de 12V trouvées allaient jusqu'à environ 25 000 mAh. Nous nous sommes aperçues à l'aide de nos calculs qu'une seule batterie avec ces caractéristiques était insuffisante pour garantir l'autonomie demandée. Pour remédier à ce manque de capacité, il est possible de relier plusieurs batteries entre elles, processus appelé couplage de batteries.

D'un point de vue technique, il est possible de faire deux types de branchement : en série ou en dérivation. Le branchement en série permet l'addition des tensions tandis que le branchement en dérivation entraîne l'addition des capacités<sup>[24,25]</sup>.

Nous souhaitons ici l'augmentation de la capacité du système et avons donc retenu le montage en dérivation.

Ce montage consiste à relier les bornes positives ensemble et de même pour les bornes négatives. Le processus peut sembler simple mais de nombreuses précautions sont à respecter pour garantir la durabilité du système.

En effet, l'installation de batteries en dérivation ne fonctionne qu'avec des batteries neuves et avec des caractéristiques identiques de tout point de vue : technologie (modèle, lot), capacité et tension.

Dans le cas contraire, l'une des batteries risque d'avoir une tension inférieure à l'autre. C'est ainsi qu'un courant va se mettre à circuler (en raison de la différence de tensions ) et l'une des batteries risque de se décharger dans l'autre. C'est pour cette même raison que s'il faut remplacer les batteries, il est nécessaire de les changer toutes en même temps <sup>[26]</sup>.

Bien qu'un peu contraignant, ce montage permet d'obtenir les caractéristiques nécessaires à une autonomie allant jusqu'à 48h.

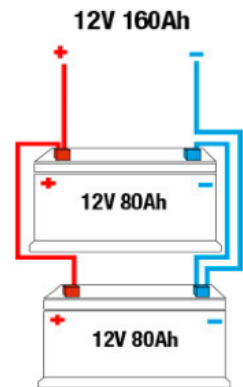


Figure 11: Branchement en dérivation

**Les batteries : forte tension**

Pendant nos recherches, nous avons également trouvé quelques batteries avec des sorties assimilables à des prises secteurs car c'est un courant alternatif qui est délivré à une tension de 220V<sup>[28]</sup>. Ces batteries sont présentées comme pouvant recharger un ordinateur en branchant directement le câble d'alimentation sur la batterie. L'utilisation d'une telle batterie présente l'avantage qu'il n'est pas nécessaire de recourir au couplage. En effet, la tension est si élevée qu'une capacité de 20 000 mAh, par exemple, se révèle suffisante.

## Conclusion

Lors de la mise en place d'un circuit électrique, il faut que tous les composants aient la même tension. Or, ils existent des LED pour les deux types de tensions. Les deux options sont ainsi envisageables pour cet aspect.

Cependant, les batteries portables commercialisées sont montées avec un ensemble d'autres composants qui forment les boîtiers que l'on connaît. Le couplage de ces batteries nécessiterait soit de les démonter pour les relier en faisant appel à un professionnel, soit de se procurer les cellules d'origines qui accumulent l'énergie, or nous n'en avons pas trouvé présentant de bonnes performances qui soient disponible à la vente.

C'est pourquoi nous avons retenu un système utilisant une forte tension comme solution la plus adéquate. M. GOUPIL pourra ainsi travailler lui-même sur la mise en place du système électrique de son œuvre.

## Les détecteurs de mouvement et luminosité : fonctionnement

Dans un second temps, nous nous sommes intéressées à des détecteurs de mouvement dans le but que l'œuvre s'allume aux passages des gens pour attirer leur attention plutôt qu'elle soit éclairée en permanence.

Les principaux détecteurs sur le marché sont les détecteurs de mouvements infrarouges, il existe aussi des détecteurs de mouvements à radar ou encore des détecteurs de mouvements à capteur photoélectrique. Nous avons choisi de nous concentrer plus précisément sur les détecteurs de mouvements infrarouges car leur nombre important sur le marché nous permettait d'avoir une multitude de possibilités.

Dans un premier temps, nous avons étudié le fonctionnement d'un détecteur de mouvement infrarouge. Le détecteur est composé d'un capteur infrarouge et d'une centrale électronique.



Le capteur infrarouge, lui, va réagir au rayonnement thermique dans un environnement déterminé. Puisque les corps humains dégagent de la chaleur, les capteurs infrarouges vont se mettre en marche lorsque l'individu va se déplacer. Ce sont des variations de température telles que celle-ci qui déclenchent le capteur (figure 12). Aucune réaction n'a lieu si la différence de chaleur est statique. Il faut qu'il y ait un réel mouvement pour engager l'activation du capteur infrarouge.

Figure 12 : Principe de fonctionnement d'un détecteur de mouvement

La centrale électronique, elle, va traiter le signal provenant du capteur. L'information est transmise à un réseau d'ampoules, dans notre cas des bandeaux LED. Un module dit de temporisation est également activé dans la foulée pour éteindre la lumière après un laps de temps défini<sup>[29]</sup>.

Dans notre cas, nous avons privilégié un détecteur qui, en plus de détecter le mouvement, s'assure de n'allumer les lumières que la nuit. Pour cela, l'utilisateur doit régler une valeur de l'éclairage lumineux en lux à partir de laquelle il désire que l'éclairage se déclenche. Il y a donc dans ce détecteur un capteur qui mesure la luminosité extérieure. A la suite d'une détection de mouvement, il transmet ou non un message électrique aux LED en fonction de cette luminosité mesurée<sup>[30-31]</sup>.

Les détecteurs peuvent être commercialisés sous diverses formes, ceux qui se placent à l'intérieur, à l'extérieur. Ceux dont le système lumineux est déjà intégré ou a contrario ceux auxquels il faut relier une source de lumière (projecteur, LED...). C'est ce dernier cas que nous avons choisi car il s'adapte à notre besoin d'un éclairage uniforme grâce aux LED. Il est intéressant d'utiliser ces détecteurs de mouvements car ils consomment très peu en comparaison de l'énergie qu'il faudrait utiliser pour alimenter continuellement l'éclairage du système. Bien entendu, si la rue dans laquelle nous disposons l'œuvre est très fréquentée, le gain d'énergie sera moindre. De plus puisque le détecteur que nous



prévoyons d'installer permet de déclencher les LED à la nuit tombée, ainsi, le jour il n'y a aucun éclairage inutile.

### Intégrer un détecteur à notre système.

Notre questionnement principal à propos des détecteurs fut de savoir comment en intégrer un à notre système. Selon nos besoins, il nous fallait une lumière uniforme et le binôme chargé de l'aspect Optique du projet avait décidé de l'utilisation de bandeaux LED. Il n'était donc pas utile pour nous de prendre un détecteur produisant directement de la lumière.

Un détecteur doit d'une part être relié aux bandes de LED pour que l'information d'une présence soit transmise et déclenche l'éclairage de la structure ; et d'autre part, il doit être relié à une source d'alimentation, en l'occurrence une batterie pour ce projet. Pour faciliter ces divers branchements nous avons choisi d'utiliser un détecteur de format dit "prise intermédiaire" (figure 13) et non pas un détecteur à pose en saillie ou plafonnier. Nous avons préalablement effectué un tableau comparatif de différents détecteurs (annexe 13).

Nous avons ainsi pu évaluer lequel correspondait le mieux à nos besoins. En effet, les détecteurs que l'on trouve sur le marché possèdent des caractéristiques très variées : tension nominale (12V à 240V), distance de détection (5 à 12m), angle (120° à 360°) et le temps d'allumage du dispositif lumineux. La puissance d'un de ces détecteurs est généralement de moins d'un Watt. Les prix varient également beaucoup selon les enseignes, cela vient notamment de la précision des réglages mais aussi de la durée de vie annoncée.



Figure 13 : Détecteur "prise intermédiaire"

### Arduino

Nous avons étudié une solution parallèle à celle des détecteurs de mouvement commercialisés : une carte Arduino (figure 14). Une carte Arduino est une carte électronique (un assemblage de plusieurs composants électronique) programmable en langage Arduino, c'est un langage qui s'approche du C+[33-34]. En y reliant des modules de type détecteur de mouvement et capteur de luminosité, nous aurions pu recréer un détecteur de fonctionnement identique à ceux commercialisés et avec une faible tension de sortie.

Les avantages de ce dispositif sont notamment le prix et la taille. En effet, une carte Arduino s'élève à 20 euros voire 7 pour les moins chères, un module « détecteur de mouvement » ou « capteur de luminosité » coûtera quant à lui environ 4 euros pièce. Le point négatif qui fait que nous n'avons pas retenu cette option comme une solution est la connaissance du langage Arduino qu'il faut posséder.



Figure 14 : Carte Arduino

### 3.2.3 Choix final des différents composants

En conclusion, nous avons choisi de retenir pour la partie autonomie le circuit suivant. Le circuit commence donc par la batterie qui est reliée à une rallonge elle-même reliée à un adaptateur qui permet à la suite le branchement du détecteur. La rallonge (d'environ 50 cm) permet de placer librement le circuit électrique à l'arrière de la fenêtre et de ne pas avoir à faire à un "bloc" de composants. Un trou dans le cadre en Plexiglas de la fenêtre sera présent pour permettre au détecteur de capter les mouvements autour de lui. Enfin, ce détecteur étant une prise intermédiaire il sera relié à une multiprise qui accueillera les liaisons des différents bandeaux de LED comme sur le schéma suivant.

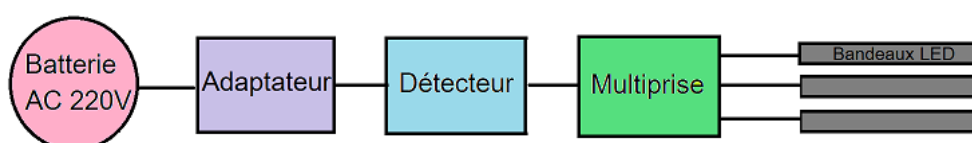


Figure 15: Schéma du montage final

Voici quelques précision sur la batterie Lithium “EPOW Plug me”<sup>[35]</sup> et le détecteur de mouvement<sup>[32]</sup> et luminosité “. Pour ce qui est de la batterie, elle pèse 0.63 kg, a une capacité de 24000 mAh et coûte 150€. Le détecteur quant à lui a une portée et un angle de détection de respectivement de 2 à 9 m et 140°. Nous pouvons grâce à lui régler le temps pendant lequel les LED resteront allumées (entre 10 sec et 7 min) ou encore la luminosité à partir de laquelle elles se déclenchent (entre 3 et 2000 lux). Il coûte 10.13€.

Comme mentionné précédemment, nous avons choisi une tension de 220V pour notre système, évitant ainsi le couplage de batteries. En tenant compte des LED d’une puissance de 30W et du détecteur d’une puissance inférieure à 1 W, nous avons estimé l’autonomie du système à 3 jours et demi (88 h), résultat retrouvable dans le tableau [annexe 13](#). De plus, il est possible d’ajouter à ce système un panneau solaire mais il n’est pas obligatoire car la batterie pourra être rechargée environ tous les deux jours

Les avantages de ce système sont avant tout son poids et sa dimension relativement faibles, ce qui était primordial dans ce projet où nous visons un format fenêtre. De plus, il est facile de le faire évoluer, les branchements sont très simples (type prise), il est donc possible de rajouter et enlever les composants pour les remplacer ou améliorer le système ( comme avec le panneau photovoltaïque)

Cependant il possède également quelques inconvénients notamment le fait qu’il ne repose que sur une seule batterie en tant que source d’alimentation et donc qu’en cas de défaut de cette dernière, tout le système d’éclairage en serait affecté. La tension de manipulation elle aussi peut s’avérer être un problème dans le sens où ce système ne possède pas de terre et fonctionne à 220V. Toutefois, nous nous sommes assurées auprès de M. GOUPIL que travailler avec cette tension ne le dérangeait pas et nous lui avons précisé les dangers que cela entraînait. Enfin, nous aurions aimé pouvoir tester plus amplement le circuit afin de s’assurer du bon fonctionnement de celui-ci. En effet nous avons envisagé de vérifier l’éventuelle surchauffe des composants ainsi que l’autonomie en pratique du circuit.

### 3.3.Accrochage de l’œuvre

Notre rôle au sein de ce projet est de déterminer et d’étudier un système d’accroche sûr et sécurisé, utilisable sur de nombreux types de surfaces, et ne détériorant pas les surfaces au cours de son utilisation. Ce système ne doit pas être complexe d’usage et être suffisamment léger.

#### 3.3.1 Recherches des systèmes d’accrochage existants

Lors des premières semaines de réflexion sur ce projet, nous avons recherché les différents systèmes existants et avons dressé un tableau nous permettant de savoir si un système d’accroche en particulier pouvait répondre ou non aux différents critères que nous possédons. Ainsi nous obtenons un tableau récapitulatif:

Systèmes existants	Surfaces possibles	Surfaces impossibles	Système qui impacte le mur : oui/non/à tester
crochets, vis	parois creuses, bétonneuses	surfaces planes, lisses ; exemple : verre	oui
clous, vis	parois creuses, bétonneuses	surfaces planes, lisses ; exemple : verre	oui
vis/chevilles	parois creuses, bétonneuses	surfaces planes, lisses ; exemple : verre	oui
patafix	surfaces intérieures	surfaces présentes en extérieur	à tester
patafix pro	toutes surfaces		à tester
languettes adhésives/ double-face	carrelage, murs peints, inox...	parois poreuses/rugueuses	non

colle (type colle de construction)	toutes surfaces		oui
aimant	surfaces métalliques		non
corde de suspension (acier) + crochets	parois creuses, bétonneuses	surfaces planes, lisses ; exemple : verre	oui
corde (acier) suspendue à une plaque posée stablement en hauteur	toutes surfaces		non
ventouse	toutes surfaces (selon les installations)		non

Figure 16: tableau des systèmes existant

Ci-dessus est présenté le tableau que nous avons dressé au début de notre projet. Son objectif était de sélectionner des dispositifs pouvant correspondre aux critères définis dans le cahier des charges. Nous remarquons que la plupart des systèmes ne répondent pas aux différents critères.

Comme nous pouvons le voir, l'utilisation d'aimants ou d'une corde en acier suspendue à une plaque posée en hauteur représentent deux méthodes théoriques paraissant possibles. Seulement, dans la pratique ces installations auraient été trop complexes à mettre en place, ou trop encombrantes. C'est pour cela que nous ne les avons pas sélectionnées.

Ne trouvant pas de système correspondant parfaitement à la demande, il nous a fallu sélectionner le système qui nous paraissait répondre à un nombre maximal de critères. Notre choix s'est porté sur l'utilisation de ventouses. Cependant, ce système possédant certaines limites, nous avons dû chercher différentes méthodes d'accrochage à l'aide de ces ventouses, que nous pouvons proposer à M. GOUPIL dans le cadre de la réalisation de son œuvre. En effet, il ne nous a pas été possible de déterminer une méthode sûre qui pourrait fonctionner sur tous types de surfaces.

### 3.3.2 Etude approfondie du système sélectionné

Nous allons présenter notre étude consistant en un système de ventouse à vide qui peut fonctionner sur surface lisse, plate, mais aussi sur d'autres types de surfaces (comme rugueuses) sous certaines limites.

Interrogeons-nous tout d'abord sur la question suivante, qui nous permettra par la suite de justifier notre étude : En quoi la dépression permet la tenue de la ventouse ? [39,40]

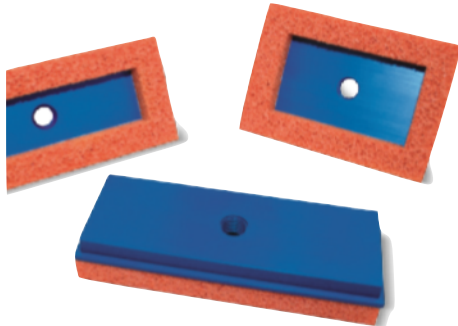
En physique, le vide est l'absence de toute matière. Ainsi, le vide absolu est un milieu statistiquement sans particule élémentaire. La pression atmosphérique est de  $1,013 \text{ bar}$ . Celle-ci représente une force par une unité de surface de  $1 \text{ kg/cm}^2$ . Prenons l'exemple d'une ventouse classique, en caoutchouc par exemple. Sans faire le vide, la pression interne et la pression externe se compensent : en effet, deux forces de même intensité des deux côtés sont exercées. Donc, la ventouse ne subit aucune force de la part de l'atmosphère, et ne colle pas. Au contraire, si nous « faisons » le vide sur notre ventouse, l'équilibre est ici rompu car la pression interne est très faible. En fait, la force exercée initialement expulse l'air entre le caoutchouc et la surface plane (ex : du verre). La pression de l'air à l'extérieur fait « coller » la ventouse sur le mur. Si une fuite apparaît, l'adhésion créée disparaît. Cela induit la non-tenue de la ventouse. Ainsi, sur une surface rugueuse, on ne peut pour le moment pas assurer l'étanchéité, car l'air peut pénétrer aux points de non-contact entre la ventouse et la surface.

Nous avons ici une première indication : une ventouse à vide permet un bon maintien sur une surface lisse et plane. Ainsi on peut se demander comment permettre l'étanchéité de la ventouse lorsque la surface utilisée est « rugueuse » ou irrégulière.

Au cours de nos recherches, nous avons découvert l'existence de « bandes de mousse ». Ces bandes de mousse à cellules fermées (imperméables), spécifique pour le vide, peuvent être collées à un support métallique. Celles-ci augmentent la capacité des ventouses standards à s'adapter à des objets de formes ondulées ou irrégulières. Dans notre cas, la mousse pourrait être collée à notre ventouse (si celle-ci est



en métal), et permettraient d'adhérer au mur même si celui-ci est « rugueux ». En effet, la mousse permettrait à la ventouse de « s'adapter » à la forme du mur. Ainsi, et en faisant le vide, il nous serait possible de permettre l'étanchéité de notre ventouse face au mur.



[6] Figure 17: Type de mousse permettant une adhérence certaine au mur

Cette méthode possède néanmoins une limite : si la forme du mur présente de trop grosses irrégularités (présence de briques avec un grand creux au niveau du mortier par exemple), la mousse risque de ne pas pouvoir s'adapter suffisamment au mur, et il ne sera alors pas possible de faire le vide efficacement entre la ventouse et le mur.

Nous savons à présent que l'utilisation de ventouses et de bandes de mousse sont une solution à notre problème. Il nous faut maintenant définir quelle ventouse serait la plus adaptée quant à l'utilisation de notre système. En effet, il existe différents critères importants à déterminer pour choisir la ventouse qui convient le mieux comme le matériau, la forme, et le diamètre. [36,38]

### Caractéristiques des ventouses

Nous avons vu auparavant qu'une ventouse en métal conviendrait le mieux. En effet, elle permettrait l'utilisation de la mousse adhésive, et pourrait être soudée à notre œuvre. De plus, le métal est un matériau assez léger ce qui nous convient ici.

Concernant la forme de notre ventouse, il en existe différentes sortes : des ventouses plates, à soufflet, rectangulaires... Nous choisirons une ventouse ronde et plus particulièrement plate sans butée. En effet, cette sorte de ventouse est idéale pour la manipulation d'objets plats ou légèrement déformés. Ce critère convient à notre mur d'immeuble sur lequel on souhaite fixer la ventouse.

Il nous faut à présent déterminer le diamètre (en cm) de notre ventouse. Dans le cas d'une aspiration verticale, comme c'est le cas ici, nous avons la formule suivante : [42]

$$d = 1,12 \sqrt{\frac{mS}{PU_n}}$$

Avec  $m$ : masse de la structure en  $kg$ ;  $S$ : le coefficient de sécurité;  $PU$ : la dépression en  $bar$ ;  $n$ : le nombre de ventouse

Comme visible en [annexe 14](#), nous obtenons pour notre ventouse  $d = 17,8 \text{ cm}$ .

Il nous aurait été possible d'utiliser des ventouses rectangulaires car celles-ci conviennent au maintien de surface plane, étroite et longue, ce qui correspond bien à notre situation. Nous avons donc effectué différents calculs concernant la surface d'aspiration que devrait avoir notre ventouse. Comme nous pouvons le remarquer dans les calculs effectués en [annexe 15](#), la surface d'aspiration varie en fonction de la surface de fixation. Cela représente un défaut notable d'un point de vue pratique car un changement de ventouses (et donc de dispositifs) devra avoir lieu. Ainsi, après avoir étudié ces deux formes de ventouses, nous pensons que les ventouses rondes permettront une bonne tenue de la structure. Les ventouses rectangulaires étant, de plus, moins répandues sur le marché.

### Mise en place et sécurisation de la structure

Il nous faut maintenant détailler la mise en œuvre de cette installation. En effet, nos ventouses seront fixées (plus particulièrement soudées) à notre structure par le biais d'une plaque en métal (elle-même fixée au cadre de la fenêtre). Il faudra, lors de l'installation, faire le vide dans la ventouse à l'aide d'une pompe à vide et d'un vacuomètre (appareil qui mesure le vide). Un exemple de pompe convenant à cet usage est une pompe à vide à pistons, idéale pour les niveaux de vide élevé.

A présent, nous devons déterminer un moyen facile et efficace de créer un système anti-retour afin d'empêcher l'air de rentrer dans notre ventouse lorsque l'œuvre est accrochée. Cependant, rappelons-nous qu'il est nécessaire de pouvoir la détacher (et donc faire rentrer l'air) facilement. Ainsi, nous avons décidé d'utiliser des vannes quart-de-tour car elles sont étanches, peuvent supporter des pressions élevées et permettent de passer facilement de la position « ouvert » à « fermé ». Nous raccorderons donc une vanne quart-de-tour à chaque ventouse. Il en existe de nombreux formats, ce qui nous permettrait de trouver un modèle qui correspond parfaitement à la connexion de notre ventouse, et de notre pompe. Bien sûr, nous devons pouvoir manipuler aisément la poignée de la trappe afin que ce système soit une réussite. Nous souhaitons obtenir une épaisseur minimale de la structure, nous pouvons donc envisager de couper la poignée de notre vanne quart-de-tour afin que celle-ci soit plus courte. Il existe également des modèles possédant des poignées réversibles, ce qui réduit considérablement la hauteur des vannes.

Ci-dessous, une représentation schématique de notre système :

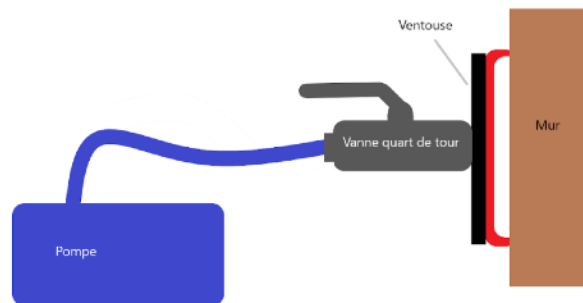


Figure 18: Schéma du dispositif d'accroche

Un autre critère important présent dans le cahier des charges était que l'attache soit sécurisée. Nous avons pu trouver des solutions adaptées à ce problème, permettant que la structure ne puisse être enlever de son support que par l'artiste. Pour notre système de ventouse (qui concerne les surfaces lisses, ou peu rugueuses), les vannes permettant de créer le vide seront accessibles par des ouvertures présentes dans le cadre de la fenêtre. Il suffira donc simplement de créer des serrures permettant de bloquer ces parties du cadre. Ainsi, il sera impossible pour quiconque de désactiver le système de vide laissant ainsi la structure accrochée au mur.

Une représentation du système de sécurité nous paraissant le plus adapté est présenté [figure 19](#):

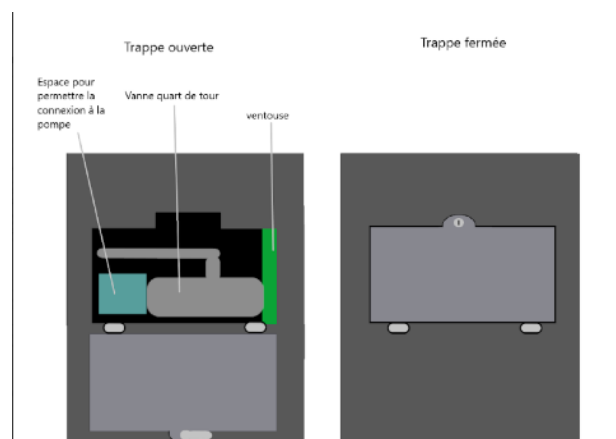


Figure 19: Schéma du dispositif de sécurité

### **3.3.3 Recherche d'alternatives aux limites précédemment remarquées**

A présent, une question reste sans réponse : Comment peut-on accrocher l'œuvre sur une surface qui n'est pas lisse, comme par exemple sur un mur en brique ?

Après de nombreuses recherches, nous savons qu'un système d'aspiration continue existe et pourrait permettre à la ventouse d'adhérer à la surface sans risque de tomber. Ce système, très utilisé en industrie, permettrait à l'œuvre d'être maintenue au mur grâce à un niveau de vide continu allant de 50% à 75% de vide. Cependant, cette alimentation continue inclue l'usage constant de grosses pompes (une par ventouse), ce qui ne convient pas à notre projet. En effet, nous souhaitons que la structure soit fine, suffisamment légère et que les éléments ne soient pas visibles. Ainsi, ce système ne convient pas au souhait de l'artiste. De plus, les pompes concernées dépensent une quantité importante d'énergie et notre œuvre ne serait alors plus autonome énergétiquement.

Ainsi, nous ne pouvons pas nous appuyer sur cette solution qui est bien trop complexe d'usage.

Une solution existe cependant mais elle s'oppose à un critère essentiel présent dans le cahier des charges. En effet, lors de la présence de surfaces très irrégulières, il serait possible pour M. GOUPIL d'utiliser un système de vis et de chevilles afin de fixer sûrement sa structure au mur. Cette méthode est connue et détériore la surface en question. Ainsi, sachant que ce n'est pas le souhait de l'artiste, nous ne détaillerons pas d'avantage cette alternative.

#### **Expériences à réaliser**

Comme vu précédemment, nous avons envisagé d'effectuer des tests concernant la « patafix pro » dans le but d'étudier son efficacité et de savoir si celle-ci impacte la surface sur laquelle elle s'applique. Aux vues des circonstances, il ne nous sera pas possible de réaliser cette expérience et nous ne proposerons donc pas cette alternative à M. GOUPIL car nous pensons que ce système d'accroche n'est pas suffisamment efficace, et ne permet pas l'installation d'un système de sécurité.

Concernant nos ventouses, sachant que toutes les données employées sont théoriques, il aurait été intéressant d'effectuer des tests quant à la fiabilité de nos résultats. Nous aurions souhaité connaître le poids réel limite que nos ventouses d'un tel diamètre peuvent soutenir. Il aurait aussi été intéressant de connaître la durée de mise en place maximale de nos ventouses (à quel moment le niveau de vide n'est plus efficace).

Ainsi, notre travail de recherche nous a permis de comparer différents dispositifs, d'étudier leurs avantages et leurs inconvénients au regard du cahier des charges que nous avons dressé. Nous avons détaillé en profondeur la solution qui nous a paru être la plus adaptée au problème posé. Bien sûr, des expériences sont manquantes et une généralisation du fonctionnement de notre système sur toutes surfaces seraient un atout. Cela pourrait être envisageable dans le futur.

### 3.4 Structure globale

#### 3.4.1 Matériaux et assemblage (estimation de la masse)

A présent, il est important de penser à l'assemblage final de la structure, aux dimensions ainsi qu'aux matériaux que nous allons utiliser. Cela nous apportera aussi une meilleure vision du résultat final.

Nous avons dû déterminer le matériau que nous pourrions utiliser pour le cadre de notre fenêtre. Ce cadre entourera les vitres de notre fenêtre ainsi que notre Plexiglas imprimé et il nous permettra également de cacher nos ventouses qui dépasseront légèrement au dessus et en dessous du Plexiglas. Nous avons donc choisi de réaliser le cadre en PVC, car c'est un matériau léger, résistant et facilement manipulable. Nous aurions pu choisir de l'aluminium mais le métal chauffe rapidement sous le soleil et peut détériorer les circuits intérieurs.

Concernant les vitres de notre fenêtre, elles seront en Plexiglas. En effet, ce matériau est plus solide et plus léger que le verre.

Il est utile de déterminer les dimensions que nous utiliserons pour les différents éléments constituant le système. Cela nous servira, entre autres, à estimer le poids de la structure (la masse étant importante dans le calcul du diamètre de nos ventouses expliqué précédemment). Ainsi, nous avons dressé un tableau présentant les différentes dimensions des matériaux, ainsi que la masse de chaque élément constituant l'œuvre.

Les détails de calcul sont en [annexe 16](#). C'est ainsi que nous avons pu estimer la masse de notre structure à 21,6kg.

Pièces	Dimensions (en cm)	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	Masse (en kg)		
plaque aluminium	60*75*0,5	2,7	6,075		
plexiglas imprimé	60*75*0,3	1,19	1,6		
fenêtre en plexiglas x2	30*75*0,3	1,19	1,6		
cadre en PVC		1,38	8		
vanne quart de tour x4 (laiton)		8,73	3,2		
Ruban Led			0,36	car 120g par mètre	
Batterie			0,6		
Capteur			0,148		
Adaptateur prise			0,046		
Eléments supplémentaires : vis, cables, joints...			0,2		
			TOTAL :	21,829	kg

Figure 20: Détermination du poids de la structure

Concernant l'épaisseur de l'œuvre, qui est un critère important dans le cahier des charges, c'est l'accroche de la structure qui la détermine. En effet, les vannes que nous utiliserons possèdent une épaisseur d'environ 8 cm. Il faut cependant ajouter à cela quelques centimètres utiles pour connecter la pompe aux vannes. Ainsi, l'épaisseur maximale de la structure sera de 12 centimètres. Pour fixer les ventouses et optimiser l'espace, nous pouvons envisager de percer la plaque en métal pour permettre de connecter les vannes, et ainsi positionner les ventouses complètement derrière le cadre.

L'agencement de nos différents dispositifs ne sera pas difficile. L'éclairage sera fixé au cadre, tandis qu'une plaque en métal positionnée à l'arrière de la structure permettra de fixer et de soutenir les batteries. Les ventouses seront soudées, grâce à cette partie métallique, à cette plaque en métal afin de fournir au système une base solide. Le capteur utilisé devra se situer en dehors de la structure. Ainsi, une ouverture minimale sera faite dans le cadre pour permettre son bon fonctionnement. Pour assurer l'étanchéité du système, nous ajouterons simplement des joints à l'intérieur ou à l'extérieur du cadre aux points de jonction.

Ce dispositif est présenté sous forme de schéma figure ....

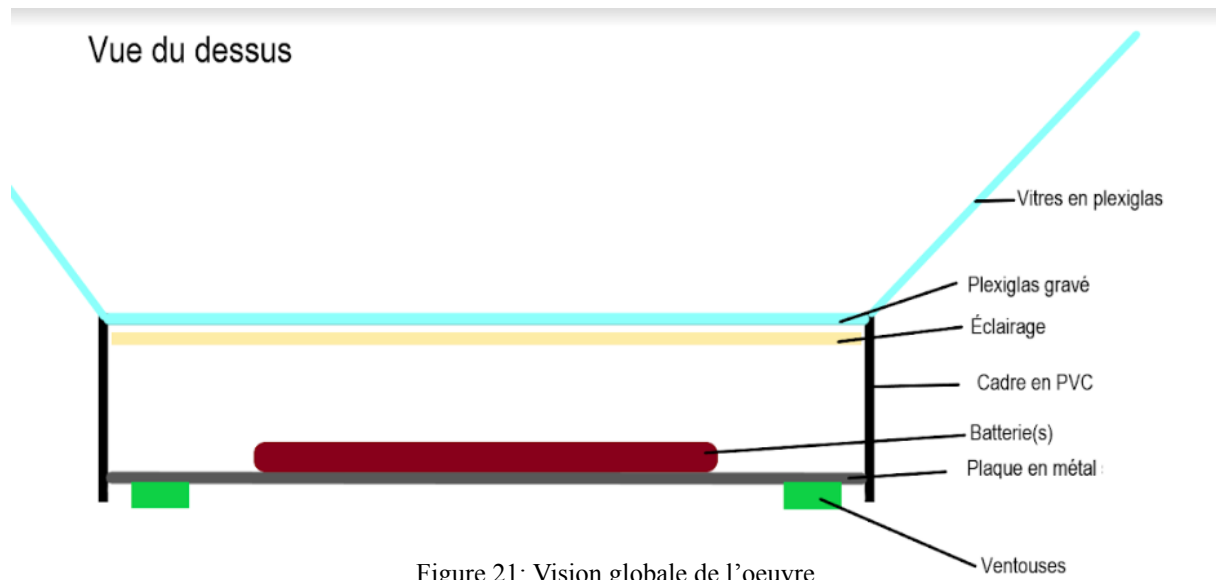


Figure 21: Vision globale de l'oeuvre

#### Disposition de la plaque en métal

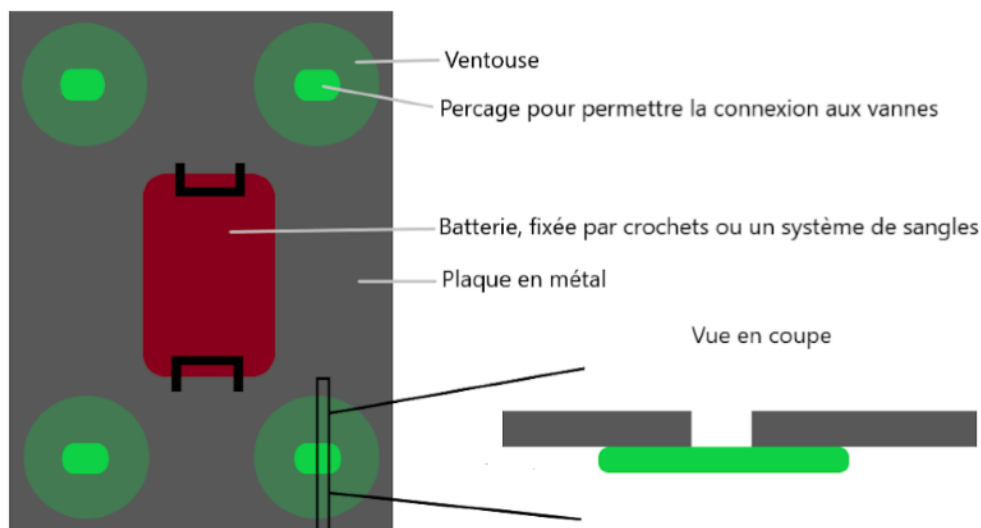


Figure 22: Dispositif de la plaque en métal

C'est donc ainsi que nous pensons assembler nos différents éléments. Des essais pratiques sont fortement souhaitables car toute notre étude regroupe de nombreuses données théoriques. Nous pensons cependant avoir trouvé les réponses les plus adaptées à toutes les problématiques auxquelles nous étions confronté.

### 3.4.2 Prix de l'oeuvre

Nous en mesurons d'estimer le prix de l'oeuvre grâce aux éléments cités tous au long de ce rapport. Nous avons résumé cette estimation dans ce tableau [figure 23](#).

	Prix en euros
<b>Eclairage</b>	
Ruban LED 25m	99,01
Plexiglas	52,86
Silicone	22,66
<b>Accrochage + cadre</b>	
Plaque aluminium cadre	90,62
PVC cadre	48,06
Quatre vanes	60
Pompe	125
Ventouse	?
<b>Autonomie</b>	
Batterie	150
Capteur	10,13
Rallonge	2,5
Adaptateur	3,36
Multiprise	2,05
Câble LED	8,7
<b>TOTAL sans les ventouses</b>	<b>674,95</b>
Estimation à +/-	45

Figure 23: Estimation du prix des matériaux pour l'oeuvre

Cette valeur est une estimation ne prenant pas en compte les étapes payantes pour la construction de cette oeuvre, comme par exemple l'impression du ciel bleu sur le Plexiglas. Elle représente le prix des différents matériaux utilisés, mais ne comprend pas celui des ventouses. En effet, le prix des ventouses dépend de leurs caractéristiques (forme, taille, matériau), et est à négocier avec les différents fabricants.

#### 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ainsi, nous avons étudié par binôme différents aspects de la faisabilité technique d'une œuvre d'art initié par M. GOUPIL. Grâce à l'écoute et à l'aide qu'il nous a apporté, nous avons su comprendre ses attentes et travailler avec les différents critères communiqués. Cela n'a pas toujours été simple, mais nous avons recherché les solutions répondant au mieux aux diverses problématiques imposées par cette œuvre. En effet, les solutions proposées possèdent des avantages mais aussi parfois des inconvénients. Notre rôle dans ce projet était d'apporter des réponses à M. GOUPIL sur ce qui était possible ou non de réaliser.

Ce projet nous a beaucoup apporté individuellement. Nous avons appris à travailler en groupe, à s'écouter afin de travailler efficacement pour un objectif commun. Nous manquions parfois de connaissances sur certains sujets et avons appris à faire des recherches intelligentes et construites afin d'avancer. Grâce à M. GOUPIL, nous avons découvert le monde de l'art, et avons mêlé art et science dans notre travail. Ainsi, nous avons compris l'important de la science dans l'art. Ce projet est rendu encore plus intéressant par le fait d'apercevoir, peut-être un jour, le résultat de nos recherches sur une œuvre d'art.

Nous sommes heureux d'avoir pu aider M. GOUPIL dans cette étude. Nous espérons que ce beau projet pourra aboutir et être exposé dans un espace urbain.

Les projets P6 en collaboration avec une tiers-personne, comme un artiste, sont très intéressants car ils apportent un but concret et des défis à relever dans l'objectif de satisfaire la personne avec laquelle nous travaillons.

Enfin, pour finir nous aimerions remercier M.GOUPIL pour l'intérêt et le temps qu'il nous a porté. Ainsi que M.HONORE qui a su nous aider et nous aiguiller durant ce projet. Tout comme Mme. CALDIN qui a été présente également tout le long de notre projet.

## 5. BIBLIOGRAPHIE

### Éclairage

- [1] Lien internet : <https://femto-physique.fr/optique/pdf/book-optgeo.pdf> (valide à la date du 14/05/2020)
- [2] lien internet: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Lentille\\_de\\_Fresnel](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lentille_de_Fresnel) (valide à la date du 21/04/2020)
- [3] Juliette BONHOMME, Maria VRELLOU, Lili DIMOVA, Yi ZHENG, Apolline COZETTE, Elise MOUSTARD, « La lentille de Fresnel: Histoire et mise en oeuvre », 2015.
- [4] lien internet: <https://sites.google.com/site/lafibreoptique/i--la-transmission> (valide à la date du 21/04/2020)
- [5] lien internet: <http://physique.unice.fr/sem6/2006-2007/PagesWeb/Telecom/index.html> (valide à la date du 25/04/2020)
- [6] lien internet: <http://www.chimix.com/an11/bts11/bio110.html> (valide à la date du 10/05/2020)
- [7] lien internet: <https://www.luxeri.fr/%C3%A9clairage-fibre-optique.htm> (valide à la date du 06/04/2020)
- [8] Solux éclairage hybride Design, équipe 3
- [9] lien internet <https://www.luxeri.fr/fibre-optique-plastique-c1200x66066> (valide à la date du 10/05/2020)
- [10] lien internet: <https://www.youtube.com/watch?v=eatSERv-xuc&t=70s> (valide à la date du 21/04/2020)
- [11] lien internet: <https://www.youtube.com/watch?v=tmx9xxHx-xI> (valide à la date du 21/04/2020)
- [12] Lien internet : [http://lyc-renaudeau-49.ac-nantes.fr/IMG/pdf/photometrie\\_et\\_ordres\\_de\\_grandeur.pdf](http://lyc-renaudeau-49.ac-nantes.fr/IMG/pdf/photometrie_et_ordres_de_grandeur.pdf) (valide à la date du 14/05/2020)
- [13] lien internet: <https://leclairage.fr/th-optique/>(valide à la date du 18/04/2020)
- [14] lien internet: <https://leclairage.fr/th-photometrie/> (valide à la date du 11/05/2020)
- [15] lien internet: [http://philippe.balladur.free.fr/Fiches\\_techniques/Temp\\_couleur\\_BdB.htm](http://philippe.balladur.free.fr/Fiches_techniques/Temp_couleur_BdB.htm)(valide à la date du 09/04/2020)
- [16] R.Floru, « Eclairage et vision », HAL, 2016
- [17] Lien internet : [https://www.ifsttar.fr/fileadmin/user\\_upload/editions/lpcp/RapportsDeRecherche/RapportDeRecherche-LCPC-RR102.pdf](https://www.ifsttar.fr/fileadmin/user_upload/editions/lpcp/RapportsDeRecherche/RapportDeRecherche-LCPC-RR102.pdf) (valide à la date du 14/05/2020)
- [18] lien internet: [https://www.thyssenkrupp-plastics.be/fileadmin/media/initial\\_upload/Downloads/PDF%20FR/Reclame/920\\_Plexiglas%20Satinice%20Produktbeschrijving\\_FR.pdf](https://www.thyssenkrupp-plastics.be/fileadmin/media/initial_upload/Downloads/PDF%20FR/Reclame/920_Plexiglas%20Satinice%20Produktbeschrijving_FR.pdf) (valide à la date du 09/05/2020)
- [19] lien internet : [https://www.espci.psl.eu/?page=article-print&id\\_article=7653](https://www.espci.psl.eu/?page=article-print&id_article=7653) (valide à la date du 28/05/2020)

### Autonomie

- [20] Lien Internet : <https://eolienne.ooreka.fr/astuce/voir/385527/mini-eolienne> (valide à la date du 21/02/2020)
- [21] Lien Internet : <https://www.lepanneausolaire.net/les-differentes-technologies-batteries.php>(valide à la date du 25/03/2020)
- [22] Audrey Robinel“ Système d'alimentation autonome sur batteries rechargeables”,2015, Lien Internet : <http://www.nagashur.com/wiki/doku.php?id=divers:energybox> (valide à la date du 27/03/2020)
- [23] Lien Internet : <https://www.ecohabitation.com/guides/2524/les-batteries-pilier-dun-systeme-electrique-autonome/>(valide à la date du 27/03/2020)
- [24] Fabrice DESCHAMPS , “ALIMENTER EN ÉNERGIE - ALIMENTATION AUTONOME”, page 4 à 7  
Lien Internet : [https://www.google.com/url?sa=t&ret=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjL9qfQgoHoAhUiDmMBHauzDzoQFjABegQIA\\_RAB&url=http%3A%2F%2Fsii-technologie.spip.ac-rouen.fr%2FIMG%2Fpdf%2Fbac\\_s\\_si\\_alimentation\\_autonome.pdf&usq=AOvVaw0GUUrQuK\\_zuqLhbAJZPsC](https://www.google.com/url?sa=t&ret=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjL9qfQgoHoAhUiDmMBHauzDzoQFjABegQIA_RAB&url=http%3A%2F%2Fsii-technologie.spip.ac-rouen.fr%2FIMG%2Fpdf%2Fbac_s_si_alimentation_autonome.pdf&usq=AOvVaw0GUUrQuK_zuqLhbAJZPsC) (valide à la date du 27/03/2020)
- [25] Lien Internet : [https://www.myshop-solaire.com/guide-de-montage-des-batteries-en-serie-parallele-r\\_80\\_a\\_20.html](https://www.myshop-solaire.com/guide-de-montage-des-batteries-en-serie-parallele-r_80_a_20.html)(valide à la date du 03/04/2020)
- [26] Lien Internet : <https://www.comptoireolien.fr/informations-batteries-les-limites-d-utilisation-d-une-batterie/index.html> (valide à la date du 03/04/2020)
- [27] Lien Internet : <https://conseil.manomano.fr/comment-calculer-la-puissance-et-la-taille-d-un-panneau-solaire-2880> (valide à la date du 18/04/2020)
- [28] Lien Internet : <https://destrucscool.com/batterie-externe-avec-prise-secteur-pour-brancher-nimporte-quoi-29.html>(valide à la date du 28/04/2020)
- [29] Lien Internet : <https://www.youtube.com/watch?v=B3dA3PGHLLk> (valide à la date du 07/05/2020)
- [30] Lien Internet : <https://www.installation-renovation-electrique.com/le-schema-electrique-branchement-detecteur-de-mouvement-infrarouge-ir/> (valide à la date du 24/03/2020)
- [31] Lien Internet : <https://www.hagerservices.fr/securite-intrusion/detecteur-mouvement-exterieur> (valide à la date du 24/03/2020)



- [32] Lien Internet : [https://www.reichelt.com/fr/fr/prise-intermediaire-avec-capteur-de-mouvement-pir-pa-0153-p217490.html?PROVID=2788&gclid=Cj0KCQjwhtT1BRCiARIsAGIY51KFpYTYIknjT4JkSmSOHz0Y9H9mvcIhIgHUEM-QjHgXcn4zsKh2Pm0aAjasEALw\\_wcB&&r=1](https://www.reichelt.com/fr/fr/prise-intermediaire-avec-capteur-de-mouvement-pir-pa-0153-p217490.html?PROVID=2788&gclid=Cj0KCQjwhtT1BRCiARIsAGIY51KFpYTYIknjT4JkSmSOHz0Y9H9mvcIhIgHUEM-QjHgXcn4zsKh2Pm0aAjasEALw_wcB&&r=1) (valide à la date du 07/05/2020)
- [33] Lien Internet : [https://shop.mchobby.be/4444-large\\_default/arduino-uno-r3e-atmega328-assemble.jpg](https://shop.mchobby.be/4444-large_default/arduino-uno-r3e-atmega328-assemble.jpg) (valide à la date du 17/04/2020)
- [34] C.Fréou et A.Grimault, « Découverte des cartes Arduino », Techmania, Date Inconnue, Lien Internet : [http://www.techmania.fr/arduino/Decouverte\\_arduino.pdf](http://www.techmania.fr/arduino/Decouverte_arduino.pdf) (valide à la date du 17/04/2020)
- [35] Lien Internet : <https://www.batteries-externes.com/batterie-externe-ordinateur/242-epow-batterie-externe-prise-220v-ordinateur-24000mah.html> (valide à la date du 21/04/2020)

### Accrochage

- [36] Lien internet: <https://www.coval.fr/technique-du-vide/guide-de-la-prehension-par-le-vide/> (valide à la date du 30/04/2020)
- [37] Lien internet: <http://ecommerce.clede13.fr/index.php/archive/file/inline/1/id/3> (valide à la date du 13/05/2020)
- [38] Lien internet: <https://www.lomag-man.org/levage/ventouse/documentation-ventouse/080-95guideventouse.pdf> (valide à la date du 10/05/2020)
- [39] Lien internet: <https://www.pannkoke.de/upload/17305457-VT-Info-12-Saugertragfahigkeit-F.pdf> (valide à la date du 10/05/2020)
- [40] MAYER Nathalie, « Pourquoi une ventouse colle-t-elle? », Futura Science, 2016, lien internet: <https://www.futura-sciences.com/sciences/questions-reponses/physique-ventouse-colle-t-elle-6679/> (valide à la date du 11/04/2020)
- [41] Lien internet : <http://www.vuototecnica.fr/product/46/fr/1.39%20-%201.40.pdf> (valide à la date du 30/04/2020) (photo de la ventouse mousse orange)
- [42] Lien internet : <https://www.schmalz.com/fr/connaissance-du-vide/le-systeme-de-vide-et-ses-composants/ventouses-a-vide/conception-des-ventouses/> (valide à la date du 12/05/2020)

## **6. ANNEXES**

- 6.1. Lentille de Fresnel, création, histoire et utilisation**
- 6.2. Détermination de l'ouverture numérique d'une fibre optique en fonction des indices de réfraction du coeur et de la gaine**
- 6.3. Fibres optiques polymère**
- 6.4. Deux expériences du calcul de la distance focale d'une lentille de Fresnel**
- 6.5. Les relations entre les principales grandeurs photométriques**
- 6.6. Démarche à suivre pour déterminer l'intensité nécessaire pour qu'une personne perçoive correctement l'oeuvre éclairée**
- 6.7. Différents modèles d'éclairage LED**
- 6.8. Prix des différents composants et sites potentiels d'achat**
- 6.9. Pour aller plus loin ... Matériaux hyper-uniformes**
- 6.10. Utilisation de l'énergie solaire et tableau comparatif des panneaux solaires**
- 6.11. Comparatif des différents types de batterie**
- 6.12. Tableau comparatif des batteries**
- 6.13. Comparatif des différents types de détecteurs**
- 6.14. Calcul détaillé du diamètre de la ventouse**
- 6.15. Détermination de la surface d'aspiration d'une ventouse rectangulaire**
- 6.16. Détermination de la masse de la structure**
- 6.17. Support de la présentation faite à M. GOUPIL le 3/06/2020**

## 6.1. Lentille de Fresnel, création, histoire et utilisation

[2,3] La lentille de Fresnel a été inventé par Augustin Fresnel, ingénieur et physicien français, en 1822. Conçu à l'origine pour la signalisation maritime, aujourd'hui les lentilles de Fresnel possèdent de nombreuses autres applications.

Elles sont utilisées notamment dans le domaine de la stéréoscopie permettant d'avoir plus de profondeur, de relief et la vision en 3D par exemple. Mais nous les trouvons également au quotidien, dans les caisses des supermarchés, dans les rétroviseurs, dans les projecteurs et rétroprojecteurs.

Pour notre projet, nous nous intéressons principalement à la collection et à la collimation des rayons lumineux.

La collection permet aux rayons lumineux parallèles incident d'être concentrés en un point après leur passage au travers de la lentille. Ce principe est entre autre utilisé dans le domaine de l'énergie solaire en concentrant les rayons sur des panneaux photovoltaïques. De plus, cela permet de chauffer des objets et même de le faire fondre (exemple des fours solaires).

Nous pensons utiliser le principe de collection, afin de collecter les rayons du soleil le jour. Les rayons du soleil arrivant suivant plusieurs angles sont collectés et concentrés autour d'un seul point, le point focale, auquel on disposera une fibre optique nous permettant de diriger la lumière vers notre fenêtre. Nous pouvons également utilisé le principe de collimation pour diffuser la lumière de manière homogène.

## 6.2. Détermination de l'ouverture numérique d'une fibre optique en fonction des indices de réfraction du coeur et de la gaine[6]

Détermination de l'ouverture numérique d'une fibre optique en fonction des indices de réfraction du coeur et de la gaine

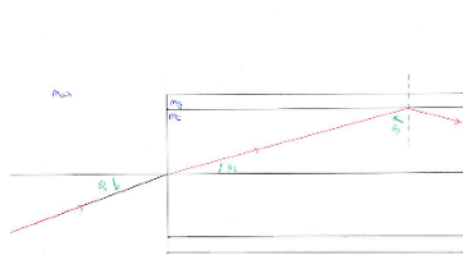


FIGURE 1 – Coupe de fibre optique

$n_{air}$ ,  $n_c$  et  $n_g$  sont respectivement les indices de réfractons de l'air, du coeur de la fibre et de la gaine.  
Dioptre air/coeur, on applique la loi de réfraction de Snell-Descartes :  $n_{air} \sin \theta_1 = n_c \sin \theta_2$   
En supposant que  $n_{air} = 1$ , on obtient

$$\sin \theta_1 = n_c \sin \theta_2$$

Dioptre coeur/gaine, on applique également la loi de réfraction de Snell-Descartes, mais on souhaite une réflexion totale interne :  $n_c \sin \theta_3 = n_g \sin 90^\circ$

Ainsi

$$n_c \sin \theta_3 = n_g$$

On remarque également que les angles  $\theta_2$  et  $\theta_3$  sont complémentaires, on peut écrire

$$\sin \theta_2 = \cos \theta_3$$

A partir de ces 3 expressions on peut déterminer  $ON = \sin \theta_1$   
On commence par la deuxième expression

$$\begin{aligned} \sin^2 \theta_3 &= \left(\frac{n_g}{n_c}\right)^2 \\ \cos^2 \theta_3 &= 1 - \sin^2 \theta_3 \\ &= 1 - \left(\frac{n_g}{n_c}\right)^2 \\ &= \frac{n_c^2 - n_g^2}{n_c^2} \end{aligned}$$

Par complémentarité on obtient

$$\cos \theta_3 = \sin \theta_2 = \frac{\sqrt{n_c^2 - n_g^2}}{n_c}$$

Or  $\sin \theta_1 = n_c \sin \theta_2$ , donc

$$\boxed{ON = \sin \theta_1 = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}}$$

### 6.3. Fibres optiques polymère

Type	Emission en bout de fibre					Diffusion latérale
	PK	PG	PF	PE	PQE	
Catégorie						
Matériau : Cœur / Cladding	Polyméthacrylate de méthyle (PMMA) / Polymère fluoré					
Diamètre de fibre (μm)	1000	250 - 3000	500 - 1500	500 - 1000	250-1000	250-1000
Ouverture numérique (NA)	0,5	0,5	0,46	0,58	0,64	0,46
Angle d'incidence	60°	60°	55°	71°	79°	55°
Atténuation à 650nm (dB/km)	≤ 200	≤ 150	≤ 150	≤ 150	≤ 150	≤
Température en °C	70	70	85	105	85	70
Principales applications						
Eclairage & décoration	X	X	X			X
Câbles audio & vidéo	X	X	X			
Capteurs à fibre optique	X	X	X	X		
Transmission de données				X		
Automobile				X		
Médical					X	

Figure 24: Tableau comparatif de fibres optiques en polymères

Source : [9]

## 6.4. Deux expériences du calcul de la distance focale d'une lentille de Fresnel

Expérience 1:

**Il faut  $D \geq 4 f'$  car pour  $D < 4 f'$ , il n'y a pas de position nette entre l'objet et l'écran.**

### Protocole

1. Placer la source lumineuse (l'objet) et l'écran aux extrémités du banc d'optique.
2. Noter la distance  $D$ , distance entre l'objet (lampe) et l'écran.
3. Placer la lentille à étudier au milieu du banc
4. Vérifier que les trois éléments soient sur le même axe optique
5. Rechercher les deux positions permettant d'avoir une image nette de l'objet sur l'écran. Calculer  $d_1$  et  $d_2$  la distance écran lentille correspondant à l'emplacement
6. En déduire  $d$  la distance séparant ces deux positions tel que  $d = d_1 - d_2$ .
7. En déduire la focale de la lentille et son incertitude à 95% avec les formules suivantes

### Montage expérimental :

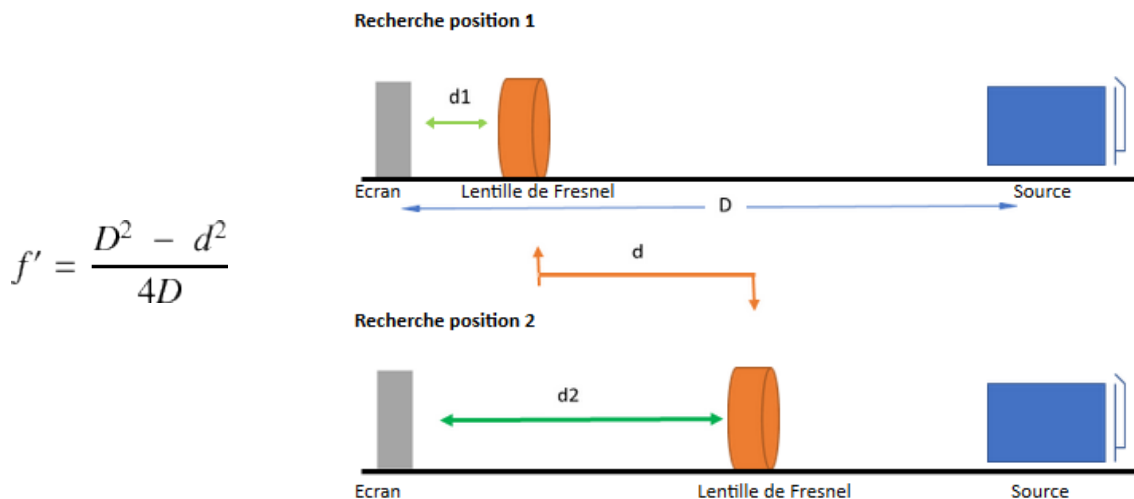


Figure 25: Montage expérimental méthode de Bessel

**Observations :** Expérience non réalisée

### Calcul d'incertitude

- incertitude de lecture

On a tout d'abord une incertitude de lecture lors de la mesure de  $D$  avec la règle soit  $0,5 \times 2 = 1 \text{ mm}$

Et 2 incertitudes de lecture pour  $d$  soit  $1 \text{ mm}$  aussi

On a donc  $2 \text{ mm}$  d'incertitude de lecture

- incertitude de netteté de l'image

On a deux incertitude de netteté correspondant à nos deux endroits où l'objet était nette sur l'écran

Soit  $2 \times 2 \text{ mm} = 4 \text{ mm}$  d'incertitude de netteté

Expérience 2:

### Méthode d'auto collimation

#### Protocole :

1. On place la lentille de focale inconnue sur le banc optique et on y accole un miroir derrière
2. On avance l'ensemble miroir et lentille jusqu'à l'endroit où on obtient une superposition de l'objet nette retourné de même taille. L'objet est alors au foyer objet de la lentille

3. La distance objet lentille est égale à la distance focale de la lentille
4. On calcule alors cette distance  $d$  sachant que  $d=f'$

**Montage expérimental :**

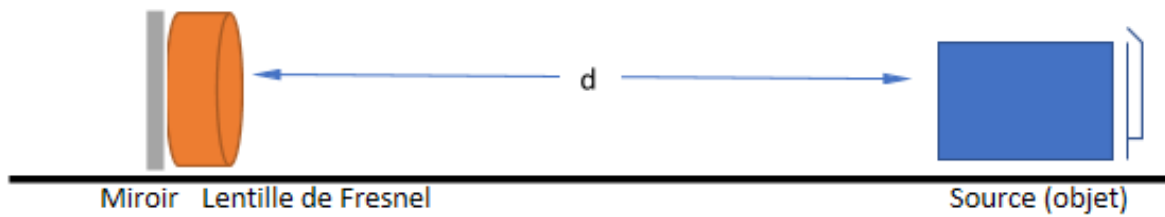


Figure 26: Montage expérimental auto-collimation

**Calcul d'incertitude**

- incertitude de lecture

On a tout d'abord une incertitude de lecture lors de la mesure de  $d$  avec la règle soit  $0,5 \times 2 = 1 \text{ mm}$

- incertitude de netteté de l'image

On a une incertitude de netteté correspondant à l'endroit où l'objet était net retourné de grossissement -1 sur l'écran

Soit 2 mm d'incertitude de netteté.

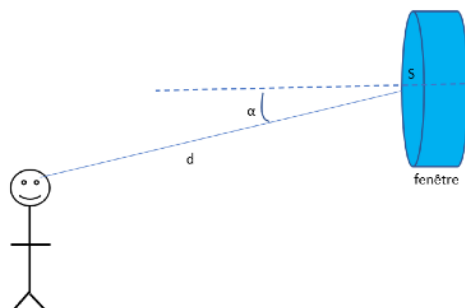
## 6.5. Les relations entre les principales grandeurs photométriques

Tout au long de notre étude, nous avons eu besoin de différentes grandeurs photométriques, mais également des relations entre chacune d'elles. Etudions donc les différentes formules qui permettent de passer d'une grandeur à une autre.

Le flux lumineux : la puissance totale le long des rayons lumineux dans toutes les directions. C'est une grandeur très visuelle, car elle permet une mesure globale de la lumière fournie par une source et se caractérise en *lumen*. On utilisera comme symbole  $\phi$ .

Efficacité lumineuse (en lien avec l'autonomie) : rendement d'une source lumineuse en fonction du flux lumineux de celle-ci. On la notera efficacité et son unité est le *lumen/Watt*. Cette grandeur sera surtout utile dans le but d'une consommation électrique moindre.

Notre situation:



Avec  $\alpha$  l'angle entre la normal de la surface de notre fenêtre éclairée et la direction d'émission

$S$  la surface éclairée de notre fenêtre

$d$  la distance entre l'observateur et la fenêtre

Figure 27: Mise en situation de l'observateur

Du flux lumineux (lumens) à l'éclairement (lux):

Le flux lumineux  $\phi$  exprime la quantité de lumière émise par une source.

L'éclairement se calcule grâce à au flux lumineux  $E = \frac{\phi}{S}$

De l'éclairement (lux) à la luminance (cd/m<sup>2</sup>):

L'éclairement est le flux reçu par unité de surface éclairée  $E = \frac{\phi}{S} = \frac{I * \cos(\alpha)}{d^2}$

La luminance s'exprime en candela/m<sup>2</sup> est se calcule  $L = \frac{I}{S}$

Les deux grandeurs sont liées, on peut en déduire deux formules pour passer de l'éclairement à la luminance et inversement.

$$L = \frac{E * d^2}{\cos(\alpha) * S}$$

$$E = \frac{L * S * \cos(\alpha)}{d^2}$$

En rentrant ces formules dans un tableau Excel, on peut chercher la luminance obtenue dans différent cas de figure, par exemple, en faisant varier les différents facteurs comme la position de l'observateur ou encore l'angle d'inclinaison, qui varie en fonction de la taille du passant. On peut alors vérifier que le système d'éclairage permet de se rapprocher au plus de la luminance souhaitée.



## 6.6. Démarche à suivre pour déterminer l'intensité nécessaire pour qu'une personne perçoive correctement l'oeuvre éclairée

Nous remarquons grâce à la géométrie que  $\tan(\theta_1) = \frac{l}{D}$  et que  $\tan(\theta_2) = \frac{H-h}{\sqrt{D^2+l^2}}$

De plus nous remarquons par géométrie que  $d^2 = (H-h)^2 + l^2 + D^2$ , d'où :

Les ingénieurs ont de plus déterminé une relation entre l'intensité souhaitée dans la ligne de vison et celle excentré de l'angle  $\theta$ ,  $\theta$  est en degré

$$I = I_{\text{ignevision}} * \left(\frac{\theta}{3}\right)^{1,33}$$

$$I = 2 * 10^{-6} * L_F * \left(\frac{\theta}{3}\right)^{1,33} * d^2$$

$$I = 2 * 10^{-6} * L_F * \left(\frac{\theta}{3}\right)^{1,33} * ((H-h)^2 + l^2 + D^2)$$

### Application dans le cadre de notre fenêtre

Les passants dans la rue ne seront pas en an face de l'oeuvre, celle-ci sera en hauteur, moyennant 5 mètres, une personne mesure en moyenne 1,8 mètres. Nous avons choisis que l'oeuvre soit détectable à environ 30 mètres avec un écart de 10 mètres par rapport à l'axe de vision. Ces valeurs sont des choix mais sont bien sûr adaptable à certaines situations s'il le faut.

D'après les choix fixés nous avons :

- $H = 5 \text{ mètres}$
- $h = 1,8 \text{ mètres}$
- $l = 10 \text{ mètres}$
- $D = 30 \text{ mètres}$

Nous pouvons en déduire :

$$\theta_1 = 6,45^\circ \quad \theta = 19,49^\circ$$

$$\theta_2 = 18,43^\circ$$

Ainsi

$$I = 2 * 10^{-6} * 10^4 * \left(\frac{\theta}{3}\right)^{1,33} * ((5-1,8)^2 + 10^2 + 30^2)$$

$$I = 243,4 \text{ cd}$$

Au final l'intensité idéale est d'environ : 245 cd . Mais cette étude est pour une lumière de feu rouge. Comme M.GOUPIL souhaite une lumière forte nous pouvons doubler cette valeur, soit environ 500 cd . Cette intensité sera valable de la nuit, le jour dans le cadre d'une luminosité ambiante quotidienne mais si le soleil est dirigé directement vers l'oeuvre la lumière ne sera malheureusement pas visible.

### Démarche à suivre pour déterminer l'intensité nécessaire pour qu'une personne perçoive correctement l'oeuvre éclairée

Cette démarche est tirée du rapport de recherche de Robert Hubert dans le cadre de l'amélioration de la visibilité routière en 1981 : Rapport de recherche LFC N° 102

Cette étude nous a permis de déterminer l'intensité lumineuse que doit être fournir à l'oeuvre pour que celle-ci soit repéré par les personnes se promenant aux alentours.

Tout d'abord, il faut donner les hypothèses de départ :

- La luminance de fond  $L_F$  sera considéré constante et sera de  $10^4 \text{ cd/m}^2$  valeur d'un soleil brillant.
- La surface  $S$  de la source de lumière n'a pas d'impact sur le temps de détection par la personne, ce qui entraîne que de la variation de l'angle solide  $\omega$  n'a pas d'impact non plus.

De ces hypothèses nous pouvons en déduire les premières relations :  $\frac{L_S}{L_F} = C_1$  et  $L_S * \omega = C_2$ , où  $C_1$  et  $C_2$  sont des constantes.

Nous savons que  $\omega = \frac{S}{d^2}$ , avec  $d$  la distance d'observation, et que  $I = L_S * S$ , ce qui permet de déduire

$$\frac{I}{d^2} = C_2$$

que

$$I = C * d^2 * L_F$$

Finalement nous pouvons exprimer cette intensité en fonction de la luminance de fond, C'est une constante qui dépend de  $C_1$  et  $C_2$  :

À partir de cette formule et d'expériences les ingénieurs ont pu en conclure que pour un lumière détecté rapidement l'intensité lumineuse doit être de 200cd au niveau de la ligne vision, et la constante C vaut  $C = 2 * 10^{-6}$ .

Pour aller plus loin, la position de la source de lumière n'est pas forcément dans l'axe de vision donc nous pouvons exprimer l'intensité qu'il faut peu importe la position de l'observateur par rapport à la source de lumière. Plus la source de lumière est excentré de la ligne de vision plus celle-ci a besoin d'avoir une intensité forte. Voici une schéma de la situation :

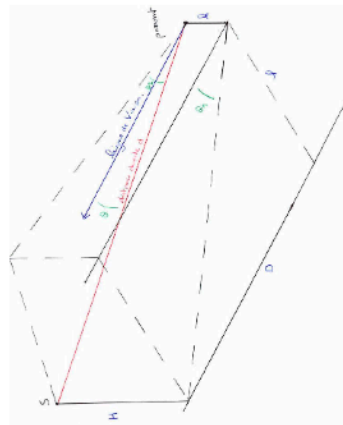


FIGURE 1 – Situation de placement entre le passant et la fenêtre

Nous avons  $\cos(\theta) = \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2)$ . Comment déterminer  $\theta_1$  et  $\theta_2$  ?

### 6.7. Différents modèles d'éclairage LED

Système d'accrochage	Ruban LED	Ruban LED 12V DC	Néon flexible	Projecteur LED	Projecteur LED 12V	Projecteur LED fibre	Little Sun
Caractéristiques générales							
Tension (volt)	220	12	220	220	12	220	
Puissance par mètre (W)	10	13,8	12		10		
Consommation (Wh)	900	1242	1080	300	300	450	0
Flux lumineux (lumen /m)	1080	1200	1200	1000	1000	1900lux=855lm	75
Capacité (mAh)	4090,909091	103500	4909,090909	1363,636364	25000	2045,454545	4400
Durée de vie moyenne (h)	50 000	30 000	50 000	25000	50000	30000	
Imperméabilité/ Extérieur	oui -20 à 50 °C	-20°C ~ +40°C	oui -20 à 50 °C	-10 à 45°C			
Norme IP	IP 68	IP 65	étanche IP67	IP65	IP 65		
Angle d'éclairage	120°	120°	120°	120°	120°		
Classe énergétique		A+		A+			A+
Dimensions	14mm x 7mm épaisseur	10x3x5000 mm	8.5mm x 16mm	15,3x14,6x5,6	12*9*9.5 cm	P 250/ L 105/ H 60	14 x 14 x 2,5 cm
Couleurs (en Kelvin)	Blanc froid (6000-6500)		Blanc froid (6000-6500)		2800-3500	monochrome blanc 4500	Blanc neutre 5000K
Poids (gramme)	360				170	900	324
Garantie	1ans	5ans	1ans	2ans	2ans		
Prix (euros)	99,01	19,59	179	8,5	17,29		
Lien	<a href="https://www.top-24h.com/rubans-led/429-ruban-led-professionnel-5050-60-ledm-de-25-ou-50-metres-blanc-froid-etanche-ip68.html?gclid=CjwKCAjwguzzBRBiEiwAgU0FT_8oKC_qsBY-oQcBkQI9eJTEaQcAZFHk44PeYVU1yF2W0d6KACHBoC7mAQAvD_BwE#/64-longueur-25_m%C3%A8tres">https://www.top-24h.com/rubans-led/429-ruban-led-professionnel-5050-60-ledm-de-25-ou-50-metres-blanc-froid-etanche-ip68.html?gclid=CjwKCAjwguzzBRBiEiwAgU0FT_8oKC_qsBY-oQcBkQI9eJTEaQcAZFHk44PeYVU1yF2W0d6KACHBoC7mAQAvD_BwE#/64-longueur-25_m%C3%A8tres</a>	<a href="https://www.ledkia.com/fr/acheter-rubans-led-monochrome/58-ruban-led-12v-dc-smd5050-60ledm-5m-ip65.html?id_c=290">https://www.ledkia.com/fr/acheter-rubans-led-monochrome/58-ruban-led-12v-dc-smd5050-60ledm-5m-ip65.html?id_c=290</a>	<a href="https://www.top-24h.com/neons-led-flexible/560-ruban-led-neon-flexible-professionnel-epistar-2835-120-ledm-de-50-metres-blanc-froid-etanche-ip68.html">https://www.top-24h.com/neons-led-flexible/560-ruban-led-neon-flexible-professionnel-epistar-2835-120-ledm-de-50-metres-blanc-froid-etanche-ip68.html</a>	<a href="https://www.silamp.fr/projecteur-led-exterieur-10w-ip65-extra-plat-c2x24715617">https://www.silamp.fr/projecteur-led-exterieur-10w-ip65-extra-plat-c2x24715617</a>	<a href="https://www.amazon.fr/Shinning-Star-Floodlight-Projecteur-projecteur-IP65-etanche/dp/B077G69LQN/ref=sr_1_5?mk_fr_FR=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&amp;crd=3GKGXKV9L6BZH&amp;keywords=projecteur%2Bled%2Bexterieur%2B12v%2B10w&amp;qid=1585815833&amp;s=lighting&amp;prefix=projecteur%2Bled%2Clighting%2C210&amp;sr=1-5&amp;th=1">https://www.amazon.fr/Shinning-Star-Floodlight-Projecteur-projecteur-IP65-etanche/dp/B077G69LQN/ref=sr_1_5?mk_fr_FR=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&amp;crd=3GKGXKV9L6BZH&amp;keywords=projecteur%2Bled%2Bexterieur%2B12v%2B10w&amp;qid=1585815833&amp;s=lighting&amp;prefix=projecteur%2Bled%2Clighting%2C210&amp;sr=1-5&amp;th=1</a>	<a href="https://7339c7db-2aa5-4f96-8149-8ae639757a28.filesusr.com/ugd/40aadb_9dc97765a50e40128828604c2b105c1e.pdf">https://7339c7db-2aa5-4f96-8149-8ae639757a28.filesusr.com/ugd/40aadb_9dc97765a50e40128828604c2b105c1e.pdf</a>	
Autres	longueur 25 m		longueur 25 m		existe en 20W	a utilisé avec fibre optique	autonome énergétiquement

Figure 28: Tableau comparatif modèles d'éclairage LED

### 6.8. Prix des différents composants et sites potentiels d'achat

Ces produits pour l'éclairage par lentille de Fresnel ne sont que des possibilités parmi de nombreux sites d'achat: Fibre optique diffusante, plusieurs sites proposent des fibres optiques optimisées pour le transport de lumière, généralement avec un achat au mètre:

<https://www.midlightsun.com>

<https://www.luxeri.fr/informations-fibres-optiques-diffusantes.htm>

<https://www.luxeum.fr/fibre-optique-lumineuse-c102x2794628>

Lentille de fresnel: <http://www.lentille-de-fresnel.com/13-lentille-de-fresnel-400x320-mm-focale-330-mm.html>

Pour la partie optique de la fenêtre nous recommandons d'acheter les trois composants suivants :

1. Le Plexiglas diffusant :

Il se commande sur mesure en fonction des dimensions que l'on souhaite. On peut par exemple l'acheter sur le site internet ci-dessous :

<https://www.plexiglas-shop.com/fr/produits/plexiglas-satinice/pl0d010df-3-00-3050x2050-03-01-x.html>.

Une plaque de Plexiglas de 3mm d'épaisseur de 75\*60cm, coûte 52,86 euros, avec 24,07 euros de frais de port en supplément pour ce site.

La fiche technique précise ce qu'il est possible ou non de faire (pour traitement et nettoyage)

2. Le silicone :

Il permet de coller la vitre et le cadre ensemble et de s'assurer d'une bonne étanchéité.

<https://www.manomano.fr/p/ottoseal-s-72-silicone-pour-plexiglas-et-matieres-plastiques-310ml-c00-transparent-2459775>

Ce produit coûte entre 19 et 23 euros avec un prix qui varie selon les jours. Le 25 mai, il coûtait 22.66 euros, c'est ce montant qui sera pris en compte dans le total.

3. Les rubans LED

Les caractéristiques de ces rubans LED nous ont permis d'effectuer le calcul de la distance, et de la capacité d'autonomie nécessaire

[https://www.top-24h.com/rubans-led/429-ruban-led-professionnel-5050-60-ledm-de-25-ou-50-metres-blanc-froid-etanche-ip68.html?gclid=CjwKCAjwguzzBRBiEiwAgU0FT\\_8oKC\\_qsBY-oQcBkQJ9eJTEaQcAZFHYKh44PeyVU1yf2Wod6KACHBoC7mAQAvD\\_BwE#/64-](https://www.top-24h.com/rubans-led/429-ruban-led-professionnel-5050-60-ledm-de-25-ou-50-metres-blanc-froid-etanche-ip68.html?gclid=CjwKCAjwguzzBRBiEiwAgU0FT_8oKC_qsBY-oQcBkQJ9eJTEaQcAZFHYKh44PeyVU1yf2Wod6KACHBoC7mAQAvD_BwE#/64-)

Les 25m de ruban LED coûte 99.01 euros avec un supplément de 4,80 de frais de port. Le prix de 50m de ruban est de 175,60 euros, livraison gratuite.

Soit comme indiqué dans le tableau récapitulatif des prix sans les frais de port, cela reviendrait à un montant de 174,53 euros pour la partie éclairage de la fenêtre.

Éclairage	
Ruban LED 25m	99,01
Plexiglas	52,86
Silicone	22,66
TOTAL sans frais de port (en euros)	174,53

Figure 29: Prix du système d'éclairage

## 6.9. Pour aller plus loin ... Matériaux hyper-uniformes

[19] Ces recherches ne sont pas exactement les effets recherchés par notre Plexiglas, mais elles sont des premières observations qui peuvent influencer sur des systèmes optiques du futur.

Cette propriété découverte il y a quelque années permet d'obtenir pour des matériaux denses avec une transparence alors que d'ordinaire un matériau dense a tendance à diffuser cette même lumière. Cette étonnante observation est possible grâce à la disposition singulière des particules du matériau. S'il est suffisamment dense avec cette arrangement microscopique particulier, la lumière qui entre va interférer avec elle-même, supprimer le phénomène de diffusion pour qu'au final seul la lumière qui la traverse reste visible, ce matériau est ainsi comme complément transparent. Ces observations ont été faites pour la première fois en analysant des yeux de poulet. De plus suivant le matériau, les longueurs d'onde touchées ne sont pas les mêmes.

Des recherches continuent d'être effectuées car ces matériaux hyper-homogènes ont un potentiel pour de futurs systèmes optiques et notamment dans le photovoltaïque, mais également ils peuvent être également intéressants pour de futures oeuvres.

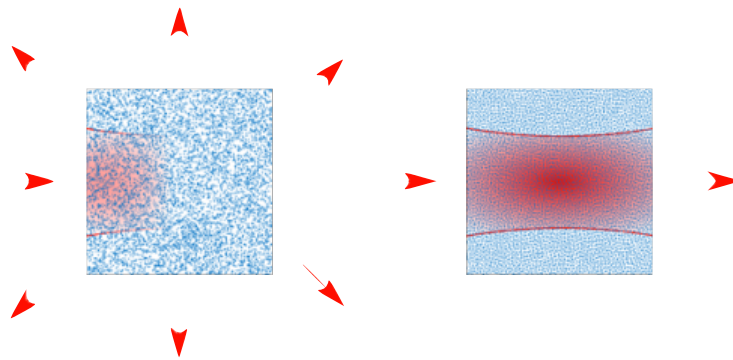


Figure 30: Matériaux hyper-uniforme

### 6.10. Utilisation de l'énergie solaire et tableau comparatif des panneaux solaires

Nous avons cherché dans un premier temps quels éléments étaient nécessaires à l'installation d'un panneau solaire pour s'assurer que l'installation ne se soit pas trop volumineuse.

Les branchements pour l'utilisation d'un panneau solaire sont les suivants :

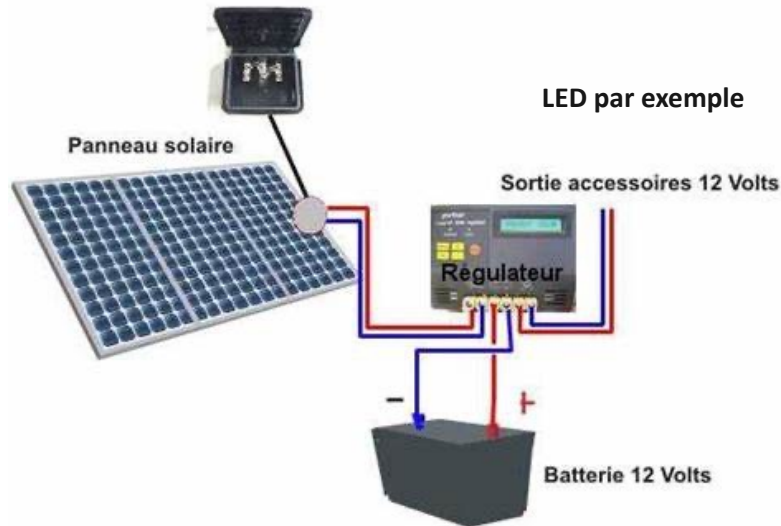


Figure 31: Schéma d'installation solaire

Le panneau solaire est relié à un régulateur qui distribue l'énergie reçue aux différents composants auxquels il est relié. Ce régulateur permet d'adapter la tension pour qu'elle convienne aux composants. Le panneau solaire dans notre cas servirait à recharger la batterie qui elle-même alimenterait les LED.

Il existe de petits panneaux solaires comme le montre le tableau suivant. La question de la faisabilité de l'installation par M. GOUPIL était donc validée.

Nom	Type de panneau solaire	Prix (€)	Poids (kg)	Commentaire
Panneau solaire de 50W	Monocristallin	28.86	6	Taille : 670X 550 mm
enjoysolar® Module solaire	Monocristallin	115.90	???	Taille : 146 x 66,4 x 3,5 cm
Panneau solaire rigide 75W	Monocristallin	315.90	4.5	73,5mm (L) x 53,5mm (l) x 3,5mm (h)
Panneau solaire 100W	Monocristallin	55.32	36	Größe: 900 x 670 mm

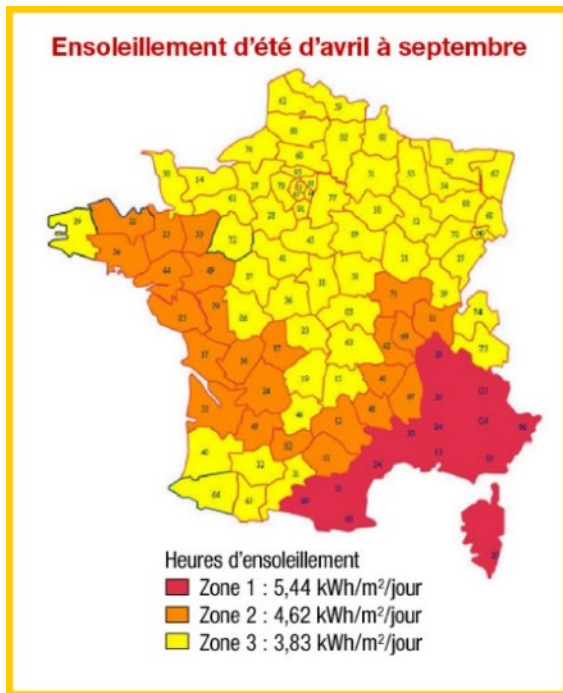
Figure 32: Tableau comparatif de différents panneaux solaires

Notre questionnement principal était toutefois de savoir si de tels panneaux solaires pouvaient fournir suffisamment d'énergie pour justifier une installation.

L'énergie totale produite par un panneau solaire,  $E$ , représente le nombre de kilowatts heure (kWh) produit par le panneau en une année. Elle se calcule en utilisant la formule suivante :  
 $S$ , est la surface en  $m^2$  de panneau solaire.  $R$ , représente le rendement du panneau solaire qui va de 6%

$$E = S * R * H * Cp$$

à 24% pour les meilleurs et les plus chers.  $H$  correspond à l'ensoleillement/ le rayonnement sur la surface inclinée en kWh/m<sup>2</sup>. Enfin  $Cp$  est un coefficient de perte représentant tous les facteurs de perte : câbles, faible éclaircissement, température... la valeur fréquente se trouve entre 0.75 et 0.8



La valeur de l'ensoleillement peut se trouver sur des cartes d'ensoleillements.  
Pour Rouen on se trouve donc à un ensoleillement de 1398kWh/m<sup>2</sup>/an.

Figure 33: Ensoleillement en France dans chaque département

Rendement, r	Surface en m <sup>2</sup> (Wc)	Energie totale produite (kWh/an)	Energie totale produite (Wh/jour)
0,16	0,37	82,43	225,82
0,16	0,97	216,84	594,09
0,16	0,39	87,96	240,98
0,16	0,60	134,88	369,53

Figure 34: Tableau comparatif de l'énergie que ces panneaux solaires peuvent produire

Nous avons appliqué cette formule aux quatre panneaux solaires se trouvant dans le tableau précédent et sommes arrivées à ces résultats :

La dernière colonne montre une production d'énergie par jour très intéressante. Pour avoir un ordre d'idée, une batterie 5V et 25 000mAh correspond à 125 Wh.

Les deux panneaux solaires surlignés en vert sont compatibles avec le cahier des charges car ils ne sont pas trop lourds et ont une dimension assimilable à celle d'une fenêtre.

Ainsi, notre étude nous a montré que l'utilisation d'une batterie est suffisante pour garantir l'autonomie demandée. Cependant, il est tout à fait possible d'utiliser un panneau solaire comme complément du système si une autonomie plus longue est nécessaire.

### 6.11. Comparatif des différents types de batterie[23]

		Plomb, acide ou gel	Lithium ion Li-ion (NMC)	Lithium polymère Li-Po	Lithium fer phosphate LiFePO4
Energie stockée	Classement	--	+++	+++	++
	Wh/kg décharge lente en 20 heures	40	200	190	120
	Wh/kg décharge rapide en 30 minutes	20	190	150	120
Durée de vie	Classement	-	+	+	+++
	Nbre de cycle	200 à 400	300 à 500	300 à 400	2000
Prix	Classement	+++	-	--	-
	en € par Wh	0,20 €	0,65 €	0,7 €	0,9 €
Dangerosité	Classement	-	---	--	+
	Risques	Explosion et acide	Explosion et incendie	Incendie	Dégagement de chaleur
Environnement	Classement	---	+	++	+++
	Polluant	Plomb et mercure	faible cobalt, nickel	faible cobalt, nickel	Aucun

NOM	ABREVIATION	TENSION PAR ELEMENT	AVANTAGES	INCONVENIENTS	EXEMPLE	REMARQUE
<b>Plomb</b>	Pb	2 V	- Pas cher. - Se recharge facilement. - Assez résistantes.	- Les accumulateurs au plomb ont une taille et un poids important.	Batteries de démarrage de motos ou de voiture. Batteries de traction pour véhicules.	Très utilisé pour les applications citées dans l'exemple
<b>Nickel Cadmium</b>	Ni-Cd	1,2 V	- Pas trop cher - Recharge pas trop difficile. - Très forte intensité charge ou décharge possible.	- Relativement lourd. - Rapport poids/capacité assez mauvais. - Effet mémoire important, nécessite des régénérations.	Batteries de modélisme. « piles rechargeables ».	Un peu dépassé, mais toujours utile.
<b>Nickel Métal Hydride</b>	Ni-MH	1,2 V	- A taille et poids égal, capacité plus forte que le NiCd. - Peu d'effet mémoire.	- Moins d'intensité disponible que le NiCd. Plus cher que le NiCd. - Recharge un peu plus délicate que le NiCd (risque de surchauffe) - Auto décharge forte.	Batteries de modélisme. « piles rechargeables ». Appareils électroménager rechargeables...	Très utilisé
<b>Lithium-Ion</b>	Li-Ion	3,6 V	- Très léger pour une capacité forte. - Faible auto-décharge. - Pas d'effet mémoire.	- Cher - Très délicat à la Recharge (dangereux). - Intensité limitée en charge ou décharge.	Batteries PC portables, de téléphone mobile, d'appareil photo numérique ...	Délicat, mais très léger. Tension importante qui permet de n'utiliser qu'un nombre réduit d'éléments.
<b>Lithium-ion Polymère</b>	Li-Po	3,7V	- Leur souplesse qui permet de donner à l'acou la forme que l'on veut - Faible poids - Accumulateurs qui offre la plus forte énergie spécifique (énergie/masse) et la plus grande densité d'énergie (énergie/volume)	- Plus cher que Lithium-ion - Très délicat à la Recharge (dangereux). - Intensité limitée en charge ou décharge. - Moins de cycles de vie	Même utilisation que Li-Ion mais beaucoup plus sûres.	Assez proche de Li-Ion, mais plus performant.

Figure 35: Tableau comparatif de plusieurs types de batteries



## 6.12. Comparatif des différents types de batteries

$$\frac{\text{Capacité} \cdot \text{Tension} \cdot \text{Décharge}}{\text{Puissance des Led}} = \text{Autonomie} \iff \frac{[Ah][V][\%]}{[W]} = [h]$$

Puissance : 10 W par mètre de LED

Longueur de LED : 3 mètres

Décharge : 50%

Nom	Type de batterie	Capacité (Wh)	Capacité (mAh)	Tension sorties (V)	Poids (kg)	Prix (€)
Coffret d'énergie autonome sur batterie lithium	lithium	250	50000	5	4.8 a 24 kg	
		500	100000	5		
		750	150000	5		
		1000	200000	5		
Coffret d'alimentation autonome sur batterie plomb	plomb	500	100000	5	23 a 39 kg	
		750	150000	5		
<b>FAIBLE VOLTAGE</b>						
RAVPower Batterie Externe Chargeur Solaire	polymère	125	25000	5	0,48	49,99
FosPower PowerActive	Lithium		10200	2,1		
XTPower	Lithium-Ion		20100	12	0,449	86,9
POWERADD EnergyCell	Lithium-polymère		20000	12		29,99
Little Sun	LiFePO4		500	3,2	0,096	24,9
Little Sun Charge	LiFePO4	?	4400	2	0,325	70
<b>HAUT VOLTAGE</b>						
Chargetech - prise secteur et ports USB	Lithium	/	12000	110	0,699	
EPOW® Plug-ME	Lithium		24000	220	0,63	149,9

Figure 36: Tableau comparatif des caractéristiques de plusieurs batteries

TENSION



Nom	Duree de l'autonomie (en h)	Nombre de batterie nécessaire pour 48h	Poids total (kg)
Coffret d'énergie autonome sur batterie lithium	4,17	11,52	
	8,33	5,76	
	12,50	3,84	
	16,67	2,88	
Coffret d'alimentation autonome sur batterie plomb	8,33	5,76	
	12,50	3,84	
<b>FAIBLE VOLTAGE</b>			
RAVPower Batterie Externe Chargeur Solaire	2,08	23,04	11,06
FosPower PowerActive	0,36	134,45	
XTPower	4,02	11,94	5,36
POWERADD EnergyCell	4,00	12,00	
	0,00		
Little Sun	0,03	1800,00	172,80
Little Sun Charge	0,15	327,27	106,36
<b>HAUT VOLTAGE</b>			
Chargetech - prise secteur et ports USB	22,00	2,18	0,70
<b>EPOW® Plug-ME</b>	<b>88,00</b>	<b>0,55</b>	<b>0,70</b>

Figure 37: Tableau comparatif de l'autonomie de ces batteries

### 6.13. Comparatif des différents types de détecteurs

Nom	Prix (€)	Angle de détection	Distance de détection	Tension	Temps d'allumage	Température	Pose	Détection luminosité
Exterieur 12 V pour LED Noir	4.69 € / 18.68€	140 °	5~10m	12 V	8sec~10min	-10°C à +50°C	Par vis	Bouton jour/nuît
Luxomat Blanc Saillie	26.88€	140°	12m	230 V	4 sec ~10min	-25°C à +50°C	Saillie	2 - 2000Lux
Détecteur IR Saillie Blanc	15.06€	180°	12m	220-240V	10sec~15min	?	Saillie	Aucune
Plafonnier intérieur ou extérieur Blanc	94,30€	360°	8m	240V	10sec~10min	-5°C à 50°C	Plafond	10-1275 lux
Exterieur 12 V noir	6€	?	12m	12 V	8sec~10min	?	Par vis	Bouton jour/nuît
Détecteur mvt 12V-24V Blanc	36.90€	180°	10m	12-24V	5sec~15min	?	Saillie	5-1000 lux à sélec
Prise intermédiaire Blanc	10.13€	120°	2-9m	220 V	10 sec ~7min	-20°C à 40°C	Prise	3-2000 lux

Figure 38: Tableau comparatif des caractéristiques des capteurs

### 6.14. Calcul détaillé du diamètre de la ventouse

On sait que :  $d = 1,12 \sqrt{\frac{mS}{PU n}}$  où d : diamètre d'une ventouse (en cm) ;

m : masse de la structure (en kg) ; S : coefficient de sécurité ;

PU : dépression (en bar) ; n : nombre de ventouse

- Valeur de S : Nous avons choisi, d'après nos recherches, d'utiliser un coefficient de sécurité égal à 4 car la ventouse sera positionnée verticalement.
- Valeur de n : Il est préférable de distribuer la force de façon homogène sur toute la surface de l'oeuvre. Cela évite la déformation des ventouses, et donc les fuites. L'oeuvre étant de forme rectangulaire, il serait raisonnable de disposer une ventouse à chaque coin soit n=4 ventouses en tout pour maintenir la structure. Les quatre ventouses auront le même diamètre, que nous sommes entrain de déterminer.
- Valeur de PU : La dépression est la différence mesurée entre la pression atmosphérique et la pression de travail (pression relative). La valeur de la dépression peut être comprise entre 0 et 1,013 bar (valeur en réalité impossible à atteindre).

On mesure également le vide en pourcentage : 0% de vide correspond à la pression atmosphérique et 100% de vide à un vide absolu. Dans notre cas, nous pourrions faire le vide à 80% et nos ventouses fonctionneraient efficacement. Cependant, pour plus de sécurité, nous avons choisi un niveau de vide égal à 90% soit une dépression valant  $PU = 0,101$  bar.

- Détermination de m :

La détermination de la masse a été plus complexe. En effet, nous avons besoin de connaître tous les éléments appartenant à la structure. Ce calcul sera détaillé ultérieurement pour une meilleure compréhension. Nous obtenons cependant une masse de  $m = 21,6$  kg.

Ainsi, nous obtenons un diamètre pour nos ventouses de  $d = 16,378$  soit environ 16,4 cm.

### 6.15. Détermination de la surface d'aspiration d'une ventouse rectangulaire

Le calcul varie selon les surfaces concernées. Nous étudierons ici deux cas :

- Cas d'une surface lisse :

On sait que :  $F = \frac{m}{\mu} gS$  (en newton)

où :  $m = 25,6$  kg ;  $\mu = 0,5$  (valeur théorique du coefficient de frottement pour les surfaces lisses) ;  $g = 9,81$  N/kg ;  $S = 4$

On obtient alors :  $F = 1695,168$  N

On a également : La surface d'aspiration  $A = \frac{F}{\Delta P}$  ( en  $cm^2$ )

Donc  $A = \frac{2009,088}{101} = 16,78$   $cm^2$  pour un niveau de vide de 90% comme précisé précédemment.

- Cas d'une surface rugueuse :

Les calculs sont les mêmes mais le coefficient de frottement  $\mu$  vaut ici 0,6.

On obtient alors :

$$F = 1412,64 \text{ N et ainsi } A = 13,98 \text{ cm}^2$$

### 6.16. Détermination de la masse de la structure

Pièces	Dimensions (en cm)	Masse volumique ( $g/cm^3$ )	Masse (en kg)		
plaque aluminium	60*75*0,5	2,7	6,075		
plexiglas imprimé	60*75*0,3	1,19	1,6		
fenêtre en plexiglas x2	30*75*0,3	1,19	1,6		
cadre en PVC		1,38	8		
vanne quart de tour x4 (laiton)		8,73	3,2		
Ruban Led			0,36	car 120g par mètre	
Batterie			0,6		
Capteur			0,148		
Adaptateur prise			0,046		
Eléments supplémentaires : vis, cables, joints...			0,2		
			TOTAL :	21,829	kg

Figure 20: Détermination du poids de la structure

Comme nous pouvons le constater, la détermination du poids s'est avérée plus complexe pour le cadre en PVC. Ainsi, nous avons détaillé ce calcul ci-dessous.

Nous avons considéré que la plaque gravée de Plexiglas avait pour dimensions 60 \* 70cm.

Nous avons donc décidé de faire un cadre de fenêtre de dimensions totales 70 x 89 x 12 cm, la profondeur nécessaire aux installations étant de 12 cm.

Nous voulions donc déterminer le volume de PVC nécessaire à la réalisation de ce cadre.

Nous avons pour cela utilisé le schéma suivant:

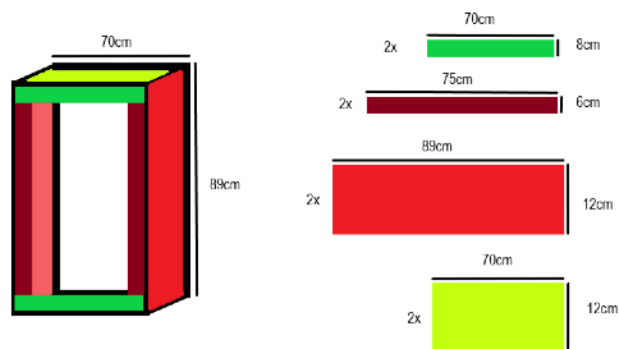


Figure 39: Structure en Plexiglas

Les plaques placée à l'avant dépasseraient donc de 1 cm sur les 4 côtés de la plaque de Plexiglas gravé, ce qui permet d'assurer que celle-ci ne peut pas tomber.

Nous avons décidé de prendre 1 cm d'épaisseur pour les plaques, afin qu'elles puissent soutenir le poids de la structure.

Nous obtenons donc un volume final de PVC de :

$$2 * 1,5 * (70 * 8 + 75 * 6 + 89 * 12 + 70 * 12) = 8754 \text{ cm}^3 = 0,0088 \text{ m}^3$$

$$2 * 1 * (70 * 8 + 75 * 6 + 89 * 12 + 70 * 12) = 5836 \text{ cm}^3 = 0,0058 \text{ m}^3$$

La masse volumique du PVC étant de  $1,38 \text{ g/cm}^3$ , on a une masse finale de PVC de:

$$1,38 * 8754 = 12080 \text{ g} \approx 12 \text{ kg}$$

$$1,38 * 5836 = 8053 \text{ g} \approx 8 \text{ kg}$$

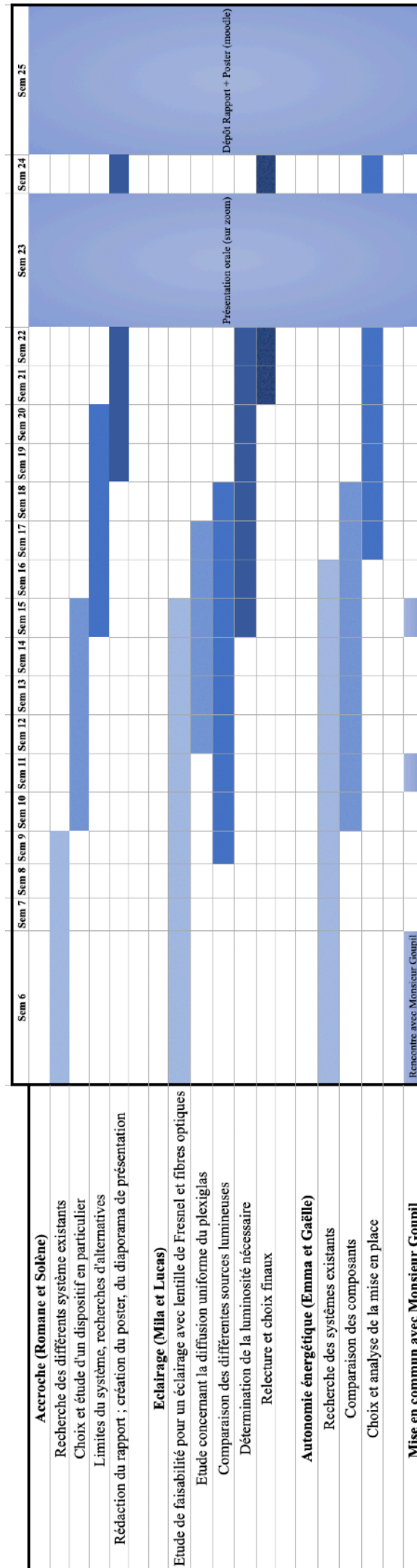


Figure 2: Diagramme de Gantt

**6.17. Support de la présentation faite à M. GOUPIL le 3/06/2020**





# PROJET N°24 : ÉTUDE DE FAISABILITÉ TECHNIQUE POUR LA RÉALISATION D'UNE ŒUVRE D'ART

Delettre Emma, Jeunehomme Mila, Le Roux Gaëlle,  
Leclerc Solène, Lezy Lucas, Ponsin Romane



# SOMMAIRE

I- Éclairage

II- Autonomie d'énergie

III- Accrochage

IV- Structure générale

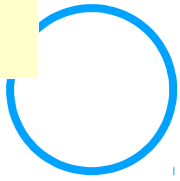




# CAHIER DES CHARGES

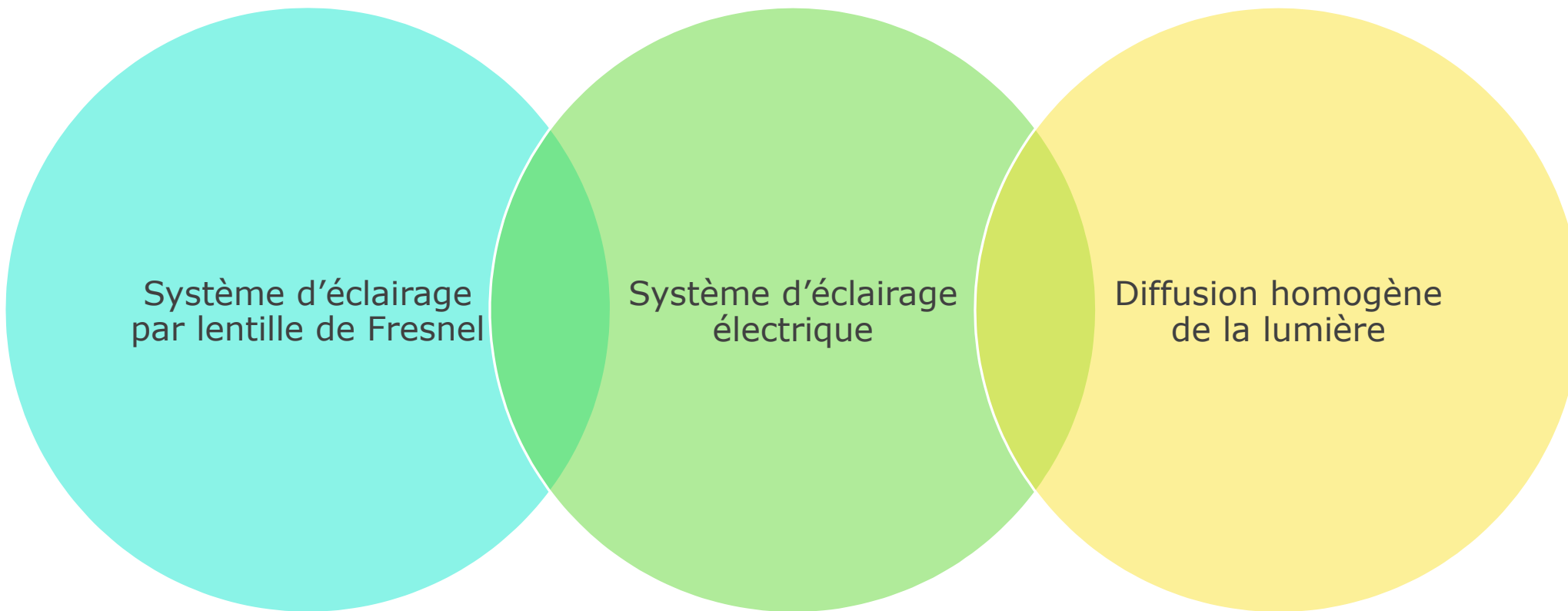


Systeme d'accroche	Accrochage facile (possible pour une personne seule) Accrochage sur toutes surfaces, y compris en extérieur (crépis, béton...) Systeme sécurisé : seul l'artiste doit pouvoir l'enlever Résistant, solide : la structure ne doit surtout pas tomber Pas d'impact sur le mur : pas de trou, de trace...
Caractéristiques/ résistance des matériaux	Résiste aux intempéries extérieures ( vent, pluie) Structure étanche et hermétique (pas de condensation) Réduire au maximum l'épaisseur de l'œuvre (effet trompe-l'œil)
Autonomie énergétique	Autonome énergétiquement Circuit électrique fiable et sans risque de surchauffe
Systeme lumineux	Éclairage homogène dans tout le cadre Utilisation de la lumière du soleil/ambiante pour éclairer l'œuvre
L'oeuvre	Plexiglas imprimé de ciel bleu et nuages : image ou projection (statique ou dynamique) Oeuvre visible de jour comme de nuit Forme à déterminer : fenêtre classique



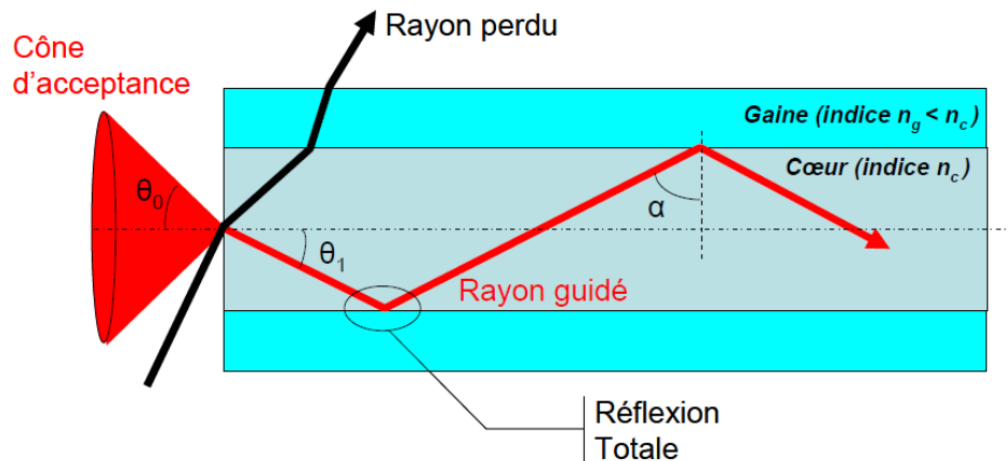


# PARTIE OPTIQUE

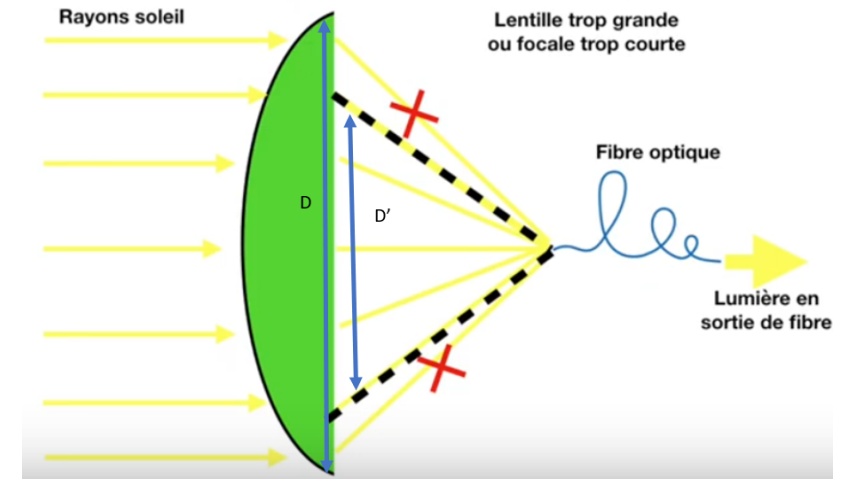


# SYSTÈME D'ÉCLAIRAGE PAR LENTILLE DE FRESNEL

- Principe de diffusion de la lumière dans la fibre optique



- Couplage imparfait fibre optique:



## Limites et conclusion:

Ne peut pas suffire pour éclairer la fenêtre

Dépend de l'ensoleillement

Risque d'incendie en cas de mauvais couplage => système de régulation énergivore

# SYSTÈME D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

Système d'accrochage	Ruban LED	Ruban LED 12V DC	Néon flexible	Projecteur LED	Projecteur 12V
<b>Caractéristiques générales</b>					
Tension (volt)	220	12	220	220	12
Puissance par metre	10	13.8	12 X		10
Puissance pour 3m	30	41.4	36	10	10
Watt heure	2160	2980.8	2592	720	720
Flux lumineux (lumen /m)	1080	1200	1200	1000	1000
Capacité nécessaire (mAh)	9818.181818	248400	11781.81818	3272.727273	60000
Durée de vie moyenne (h)	50,000	30 000	50,000	25000	50000
Imperméabilité/Exterieur	oui -20 à 50 °C	-20°C ~ +40°C	oui -20 à 50 °C	-10 à 45°C	dema
Protection IP	IP 68	IP 65	etanche IP67	IP65	IP 65
Angle d'éclairage (degres)	120	120	120	120	120
Classe énergétique	X	A+	X	A+	X
Dimensions	14mm x 7mm epaisseur	10x3x5000 mm	8.5mm x 16mm	15,3x14,6x5,6	12*9*9.5 cm
Couleurs (en Kelvin)	Blanc froid (6000-6500)	3 couleurs de blanc	Blanc froid (6000-6500)	Blanc froid ou neutre	2800-3500
Poids (gramme)	360	X	X	X	1026
Garantie	1 ans	5 ans	1 ans	2 ans	2 ans
Prix (euros)	99.01	19.59	179	8.5	17.29
Lien	<a href="https://www.top-24h.com">https://www.top-24h.com</a>	<a href="https://www.ledkia.com">https://www.ledkia.com</a>	<a href="https://www.top-24h.com">https://www.top-24h.com</a>	<a href="https://www.silamp.fr/p">https://www.silamp.fr/p</a>	<a href="https://www.amazon.com">https://www.amazon.com</a>
Autres	longuer 25 m	longueur 5m	longuer 25 m		existe en 20W

Notre choix:   
Ruban LED 220V

## Caractéristiques:

220V 10W/m 1080 lm/m 6000-6500K 120g/m 14mm x 7mm

## Caractéristiques

- Consommatrice
- + Facilement adaptable
- Chaleur
- + Longue durée de vie
- + Directif

## Estimation consommation

Pour **3** mètres ruban, **3** jours:

Capacité nécessaire: **9818 mAh**

# DIFFUSION HOMOGÈNE DE LA LUMIÈRE

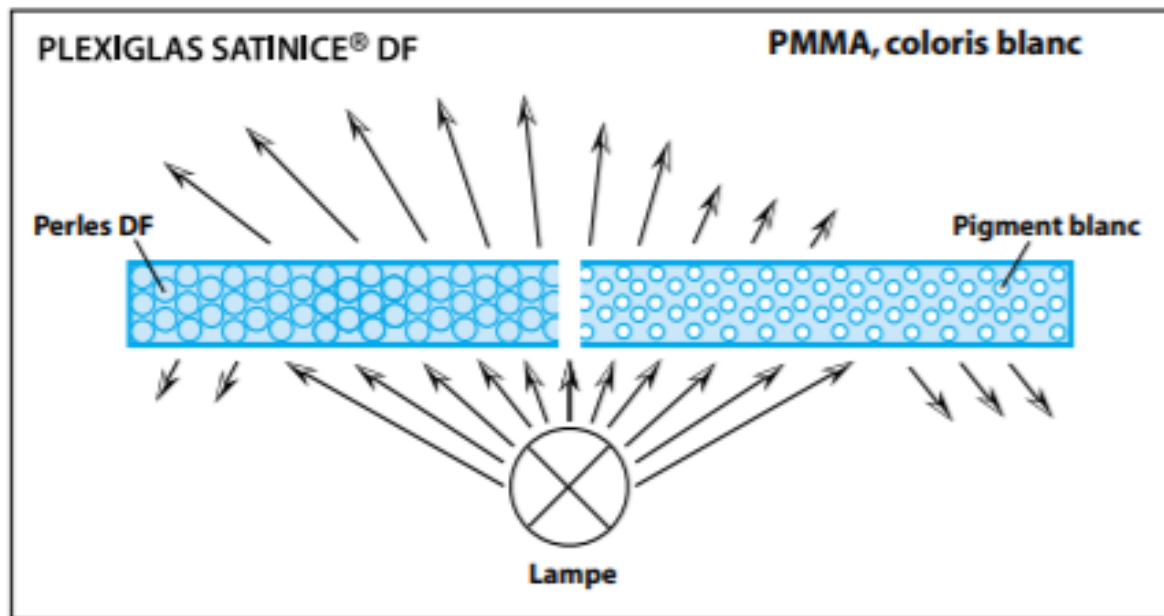


Schéma des avantages de PLEXIGLAS SATINICE® DF en matière d'éclairage

Propriétés en matière d'éclairage

PLEXIGLAS  
SATINICE®  
Incolore 0D010 DF

Taux de transmission

82

Taux de réflexion

10

Angle de valeur moyenne d'intensité

25

Pouvoir de dispersion

0,35

Brillant à 20°

< 5

à 60°

< 25

à 85°

< 15

## Avantages:

- De pertes      + De transmission      + Léger



# PRIX ET POIDS ESTIMÉS

## PRIX

1) Ruban LED 220V

**99.01 euros** pour 25m de ruban

(environ 8 fenêtres avec 3m pour chaque)

2) Plexiglas diffusant

**52.86 euros**

3) Silicone pour plexiglas

**22.66 euros** les 310ml

**TOTAL:**

**174.53€**

## POIDS

1) Ruban LED 220V

**120g/m**

Pour 3mètres environ 360g

2) Plexiglas diffusant

Masse volumique: 1,19 g/cm

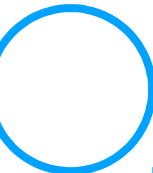
Soit **1.6 kg**

3) Silicone pour plexiglas

=>négligeable

**TOTAL:**

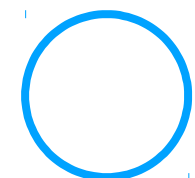
**1.960kg**



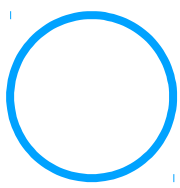
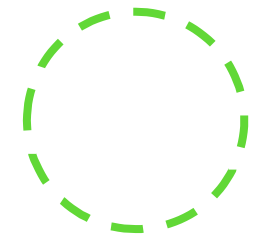




# PARTIE AUTONOMIE ÉNERGÉTIQUE

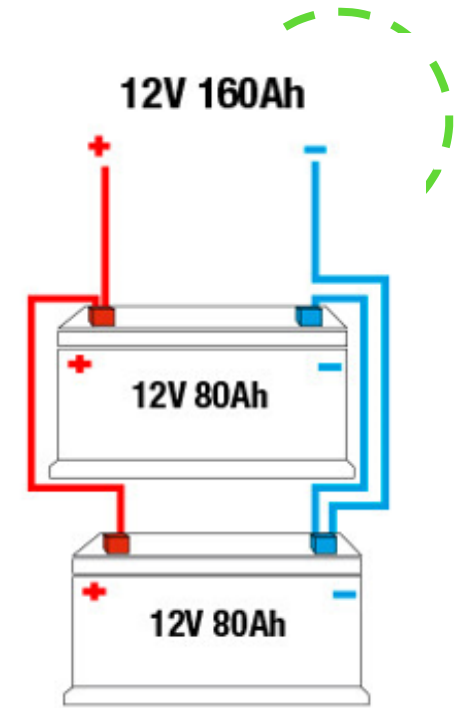


# Systemes envisageables



# MONTAGE DES BATTERIES

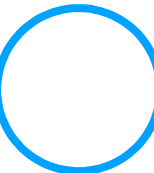
- Batterie en 12 V
  - Besoin de plusieurs batteries donc mise en dérivation



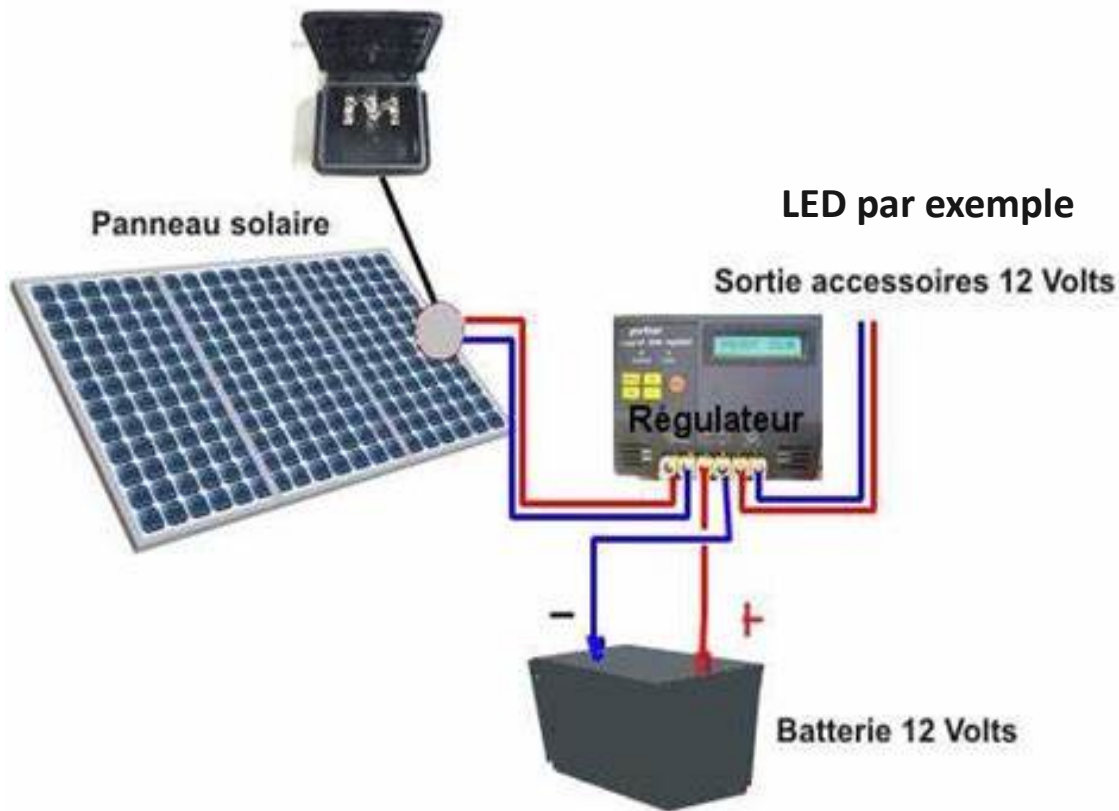
- Batterie en 220 V
  - Une seule batterie suffisante



24000mAh 85Wh



# PANNEAU SOLAIRE

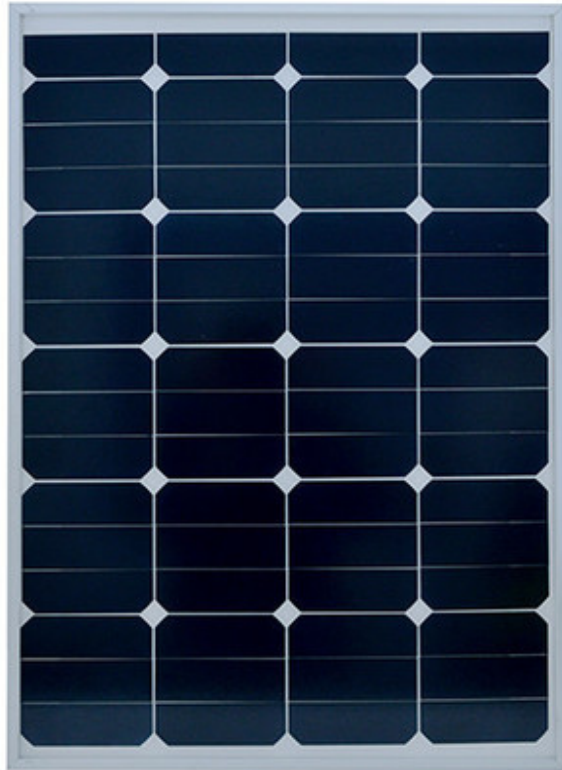


Le régulateur distribue l'énergie reçue aux différents composants en adaptant la tension pour qu'elle convienne aux composants



<https://www.myshop-solaire.com>

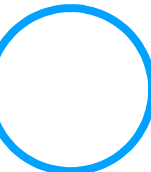
# PANNEAU SOLAIRE



## **Panneau solaire rigide 75W-12V Monocristallin à Très Haut Rendement**

- Taille : 73,5mm (L) x 53,5mm (l) x 3,5mm (h)
- Poids : 4,5kg
- Production : 240 Wh par jour (avec les caractéristiques de Rouen)

<https://www.manomano.fr>



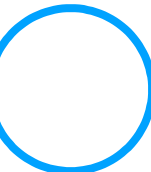
# DÉTECTEUR DE MOUVEMENT ET LUMINOSITÉ



Figure 4: Détecteur "prise intermédiaire"

## Détecteur mouvement et luminosité Reichelt 220 V

- Format: Prise Intermédiaire
- Détection : 2 à 9 m / 140°
- Luminosité réglable: 3 et 2000 lux
- Temps d'éclairage: 10s à 7min
- Consommation : < 1W
- Poids: 148g
- Coût: 10,13 €



# BATTERIE



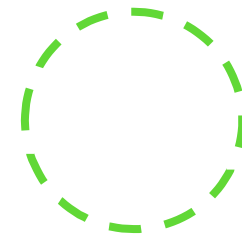
## Batterie EPOW Plug Me

- Capacité: 24 000 mAH
- Poids: 630 g
- Coût : 150 €
- Batterie Lithium

<https://www.amazon.fr>



# COMPOSANTS ADDITIONNELS



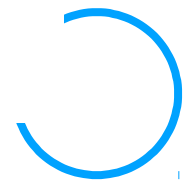
Adaptateur



Connecteur prise/LED

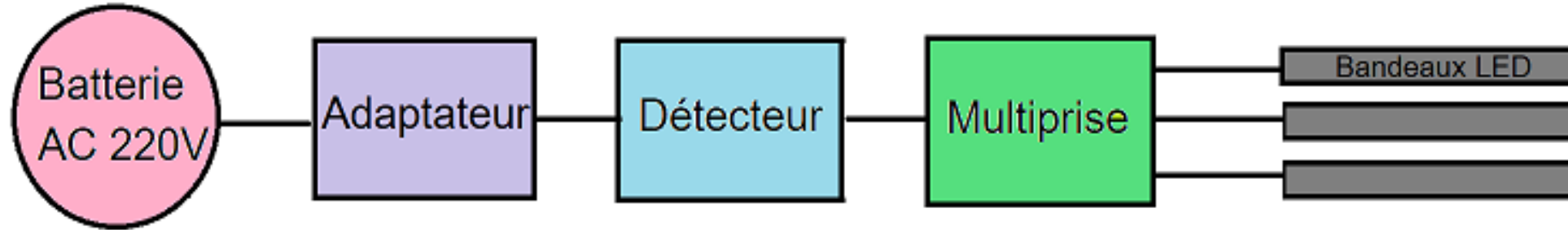


Rallonge





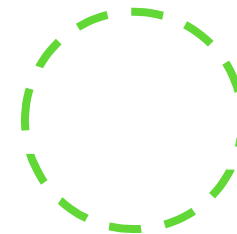
# CIRCUIT GLOBAL



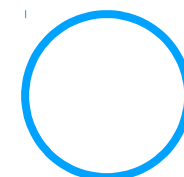
## Inventaire :

- Batterie 150 €
- Rallonge 2,50 €
- Adaptateur de la rallonge vers le détecteur 3,36 €
- Détecteur 10,13€
- Multiprise 2,05 €
- Connecteur prise ruban LED x3 8,70€

Coût global : 176,74 €  
Poids approximé : 1kg



# PARTIE ACCROCHAGE



# DIFFÉRENTES OPTIONS



Ventouses



Aimants



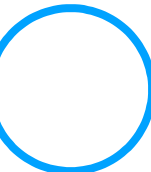
Crochets de fixation



# ÉTUDE SELON LES CRITÈRES DU CAHIER DES CHARGES

	Abîme le mur	Peut tenir à long terme	Système de sécurité envisageable
OUI	Crochets de fixation Clous / vis / chevilles Colle Corde de suspension + crochets	Crochet de fixation Clou / vis / chevilles Colle Corde de suspension + crochets Ventouses Aimants	Ventouses Aimants Crochet de fixation
NON	Aimants Patafix pro Ventouses Languettes adhésives	Patafix pro Languettes adhésives	Clou / vis / chevilles Colle Corde de suspension + crochets Patafix pro Languettes adhésives

Les deux solutions envisageables sont les aimants et les ventouses, mais les aimants ne fonctionnent que sur une surface métallique, ce qui n'est pas courant en ville.


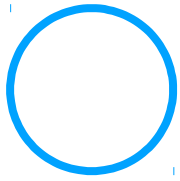




# SOLUTION CHOISIE : VENTOUSES



Problématiques :

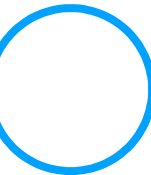
- Quelles surfaces ?
  - Sans détérioration ?
  - Dispositif sûr, durable ?
  - Système de sécurité ?
  - Mise en place ?
- 
- 

# RÉSULTATS DE NOS RECHERCHES SUR CE SYSTÈME

- Forme : ventouses rondes à base plate.
- Matériaux : base métallique et mousse souple pour le contact.
- Diamètre : 16,4 cm.

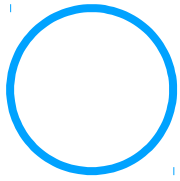


Un ensemble de quatre ventouses placées aux coins de l'œuvre permettrait de soutenir une masse de 22kg, correspondant à notre évaluation du poids final de notre structure.

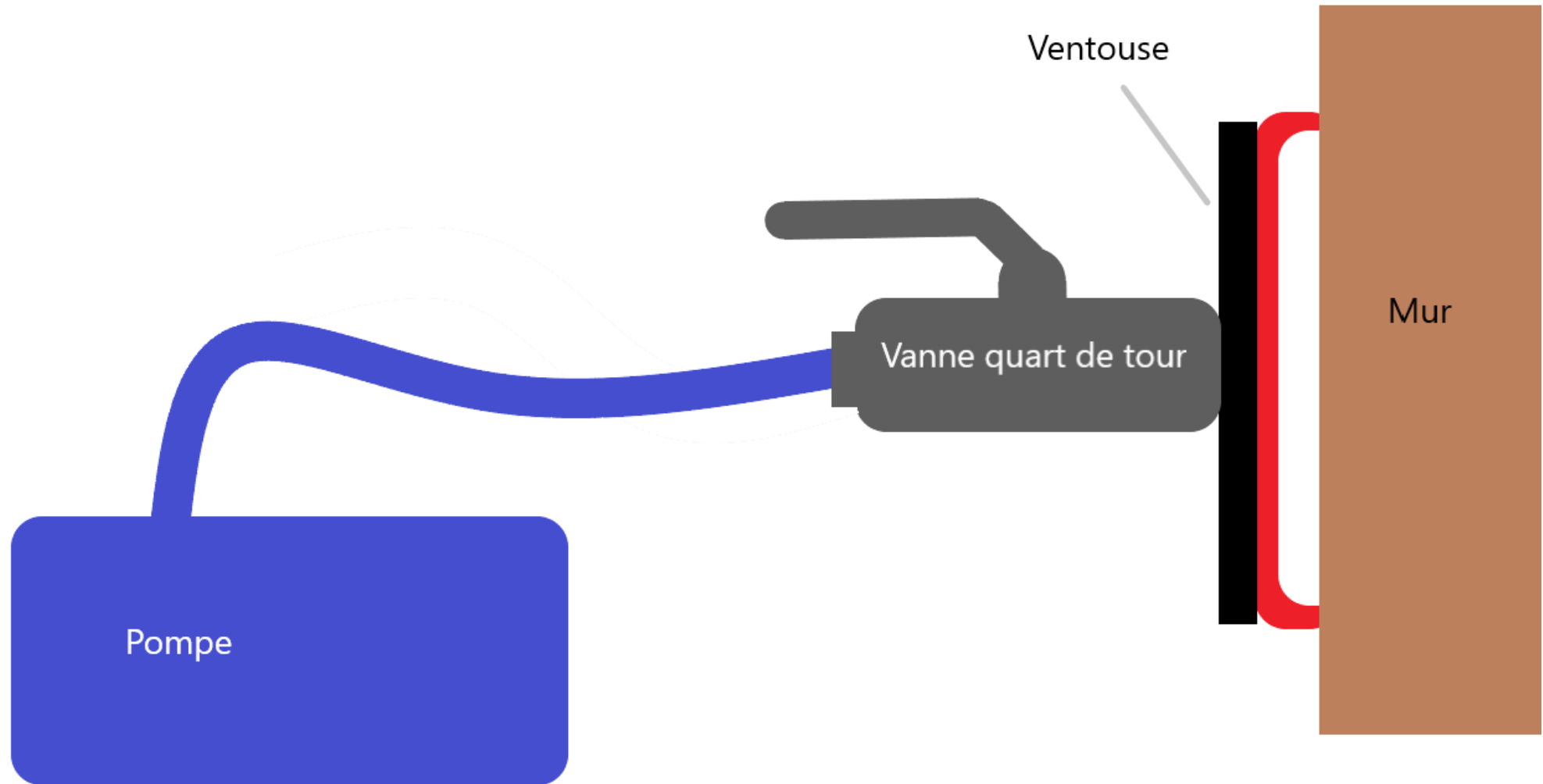




# NOTRE DISPOSITIF :

- N'abîme pas le mur.
  - Est rendu sans fuite grâce à la mousse des ventouses, ce qui permet d'assurer un accrochage durable.
  - Ne requiert pas de régime d'aspiration permanent grâce à l'emploi de vannes quart-de-tour pour maintenir le vide.
  - La dépression n'a pas besoin d'être élevée avec les caractéristiques de nos ventouses, on n'a donc pas besoin d'une pompe très puissante.
- 

# MISE EN PLACE DU DISPOSITIF







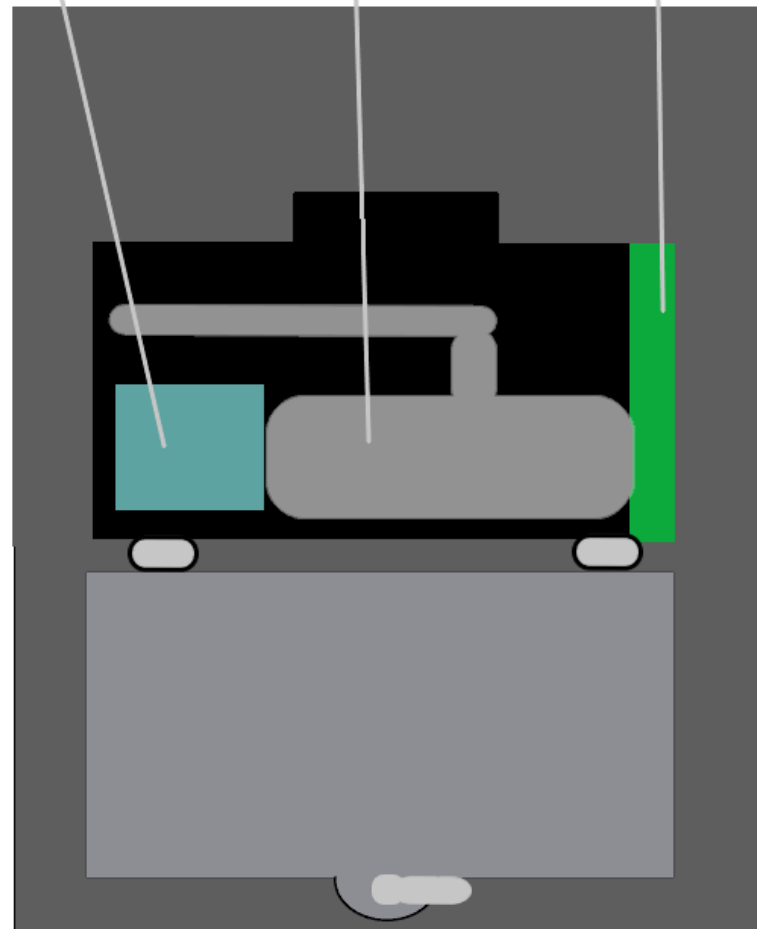
# SYSTÈME DE SÉCURITÉ

Trappe ouverte

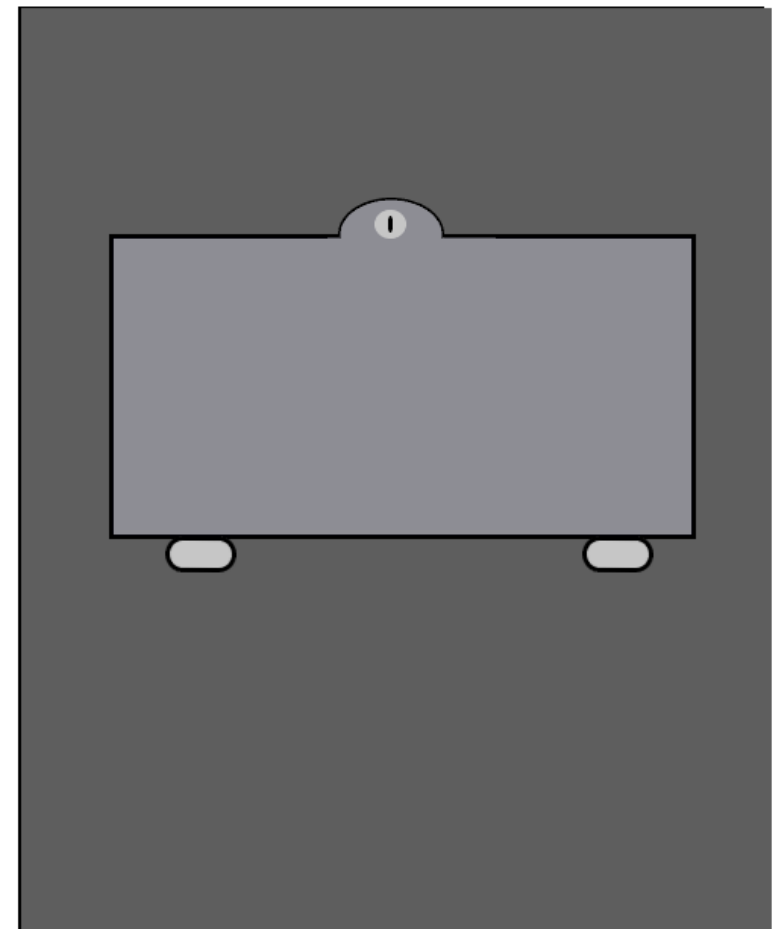
Espace pour permettre la connexion à la pompe

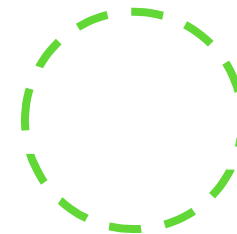
Vanne quart de tour

ventouse

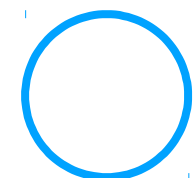


Trappe fermée

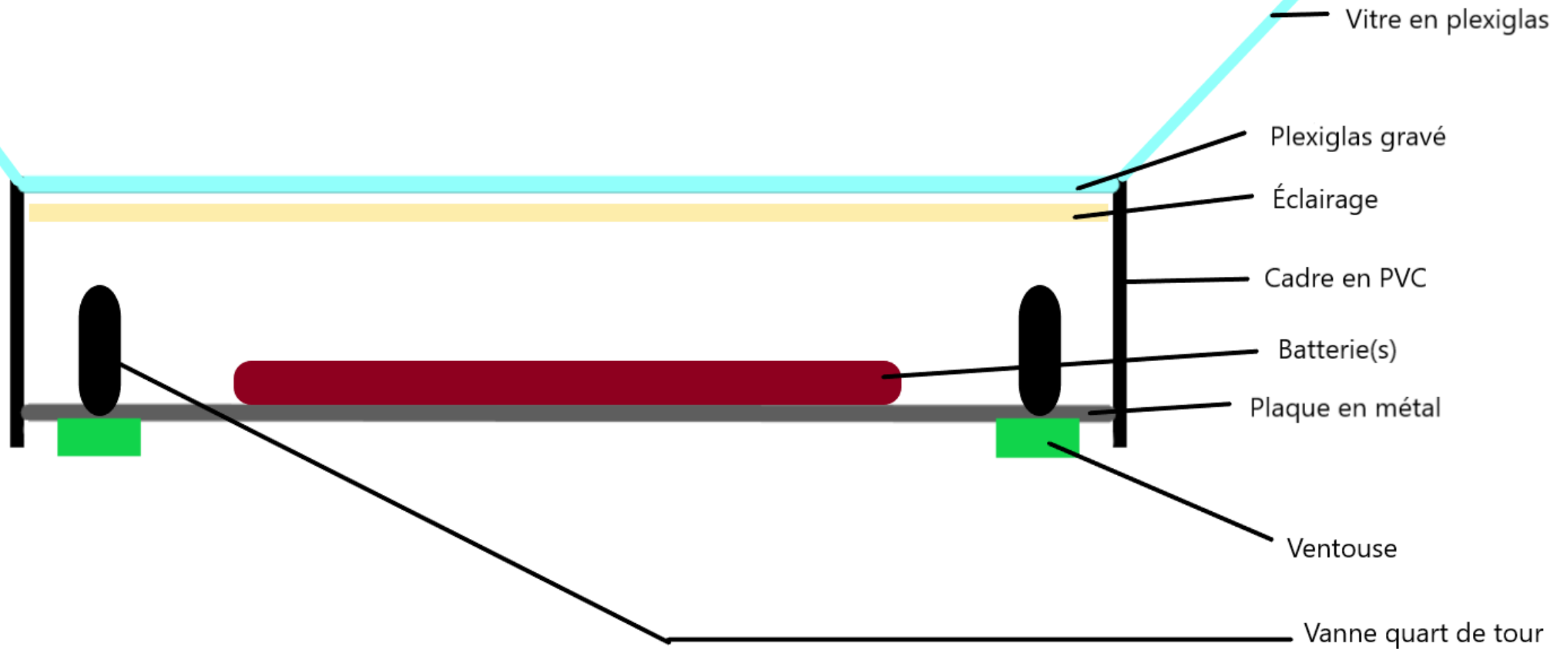




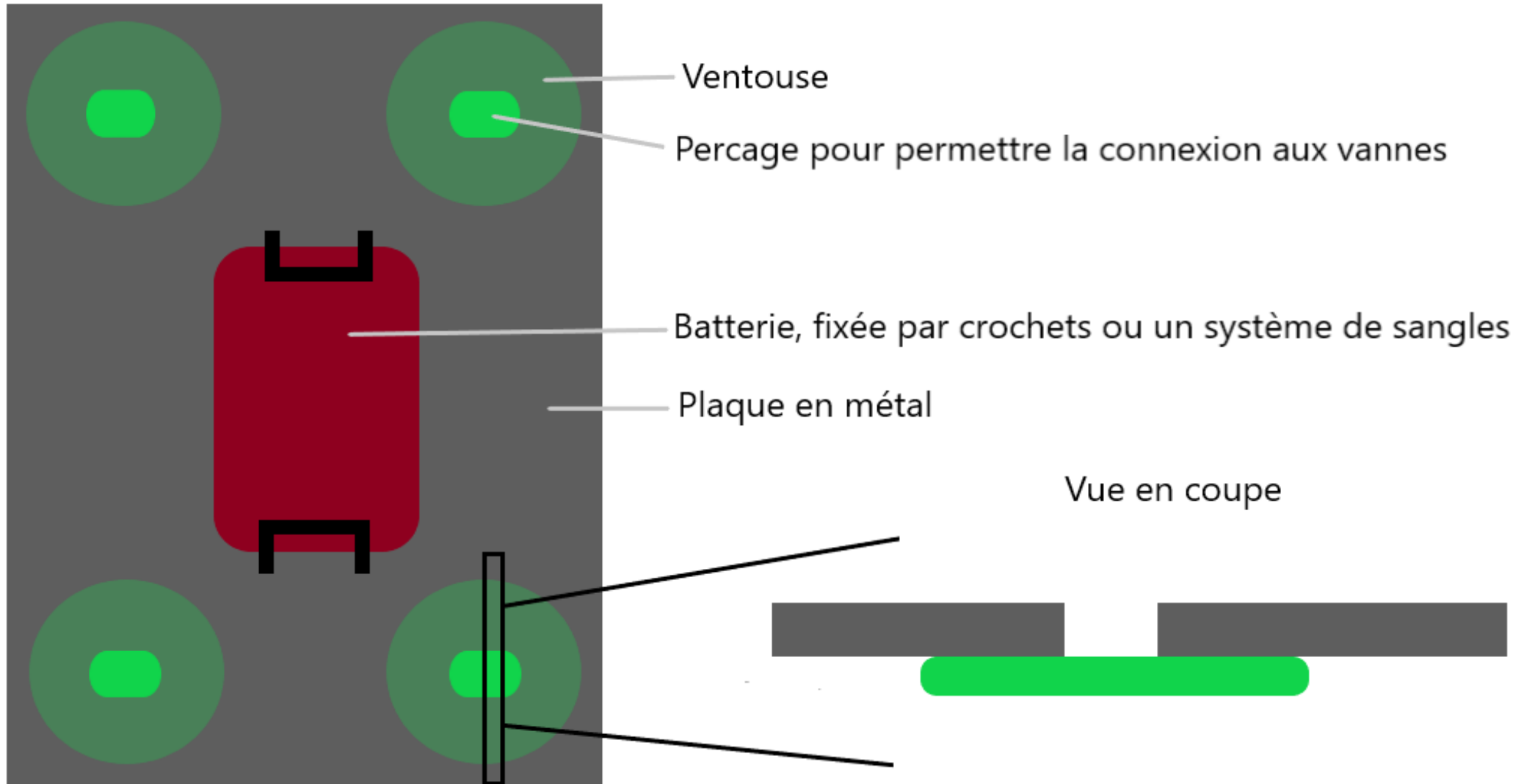
# VISION GLOBALE DE L'ŒUVRE



# Cadre vu du dessus

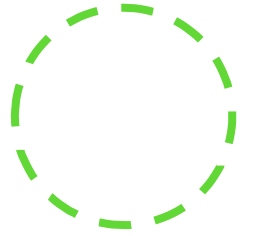


# DISPOSITION DE LA PLAQUE DE MÉTAL





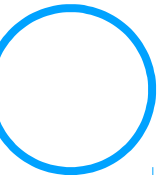
# ESTIMATIONS GLOBALES POUR UNE FENÊTRE DE 60x70cm

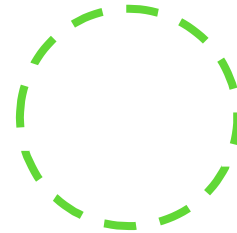


- Masse totale : environ 22 kg

- Prix total : 674,95 ± 45 €

Ce prix n'inclut pas les ventouses, car elles sont à négocier directement avec les fabricants.





**FIN**

Merci pour votre écoute

