

PROJET P2I | EPF ÉCOLE D'INGÉNIEURS

Une lumière qui équilibre l'écran et la pièce.

Rapport de projet

Module « Structurer le processus d'innovation », J. Dutel

CHEF DE GROUPE

Ruben GARIAZZO

ÉQUIPE

Flore DESCROIX, Auxence LASSAGNE, Ludivin MARREAU--REYMOND, Jocelin CERFONTAINE, Ines WALLON

REMISE ET SOUTENANCE

Rapport le 16/10/2026 | oral (TD2) le 19/10/2026

SOMMAIRE

1 Synthèse 2
Fiche produit, équipe, chiffres clés, images

2 Le besoin et l'état de l'art 3
Repères, produits existants, brevets, choix du sujet

3 Analyse du besoin 4
Éléments du milieu extérieur, pieuvre, TRIZ, causes

4 Cahier des charges 5
Fonctions, critères, niveaux, flexibilités

5 Des idées au concept 7
Brainstorming, inversion, solutions, Pugh

6 Conception 9
Design, composants, plans

7 Chiffres et conformité 10
Masse, prix, autonomie, cahier des charges

8 Retours d'expérience 11
Prévu et réalisé, retards, itérations, leçons

9 Retour d'expérience et conclusion 13
Enseignements, conclusion, suite du projet, sources

ENGINEERING SCHOOL

01 SYNTHÈSE

Présentation du produit et de l'équipe

LUMIÈRE est une barre lumineuse plate qui se fixe au dos d'un écran et réduit le contraste entre l'écran et la pièce : lumière blanche réglable vers le bureau, halo de couleur vers le mur, adaptation à la lumière ambiante et aux couleurs affichées. Le projet vise le confort visuel ; il ne promet aucune protection médicale (fonction FC9). Ce rapport suit la démarche du cours : besoin, analyse, cahier des charges, idées, choix, conception, chiffres, puis retours d'expérience.

FICHE PRODUIT	
Nom	LUMIÈRE, une lumière qui équilibre l'écran et la pièce
Cible	personnes qui travaillent longtemps sur écran : étudiants, télétravailleurs, joueurs
Principe	barre plate au dos de l'écran : lumière blanche réglable vers le bureau, halo de couleur vers le mur, capteur de lumière, appli
Versions	A1 autonome (batterie en bas de l'écran) ; A2 branchée en USB-C
Masse	570 g (A1) | 179,8 g (A2)
Coût des composants	70,50 € (A1) | 23,81 € (A2)
Autonomie (A1)	4,26 h à pleine luminosité | 8,17 h à mi-luminosité
Fixation	aimants et plaques d'acier collées au dos de l'écran, sans outil, moins d'une minute
Statut au 16/10	conception, rapport et diaporama terminés ; prototype non imprimé

CODE	MEMBRE	RÔLE
R	Ruben GARIAZZO, chef de groupe	pilote : planning, calculs, CAO, plans, rapport
F	Flore DESCROIX	besoin : état de l'art, enquête, CdCF, Ishikawa
A	Auxence LASSAGNE	décision : Pugh, diaporama, rapport
L	Ludivin MARREAU--REYMOND	état de l'art, enquête, CdCF, diaporama
J	Jocelin CERFONTAINE	créativité : animation du brainstorming
I	Ines WALLON	carte mentale, TRIZ, pieuvre, Ishikawa

Les rôles ont été mis à jour le 02/10 avec l'arrivée d'Ines.

570 g
A1 avec batterie

180 g
A2 branchée en USB-C

70,50 € | 23,81 €
coût des composants, A1 | A2

4 h 15
autonomie de A1 à pleine luminosité



Fig. 1 Dos de l'écran, version A1 (batterie en bas) et version A2 (câble USB-C) ; coupe de la barre haute : carte XIAO, convertisseur et câblage.

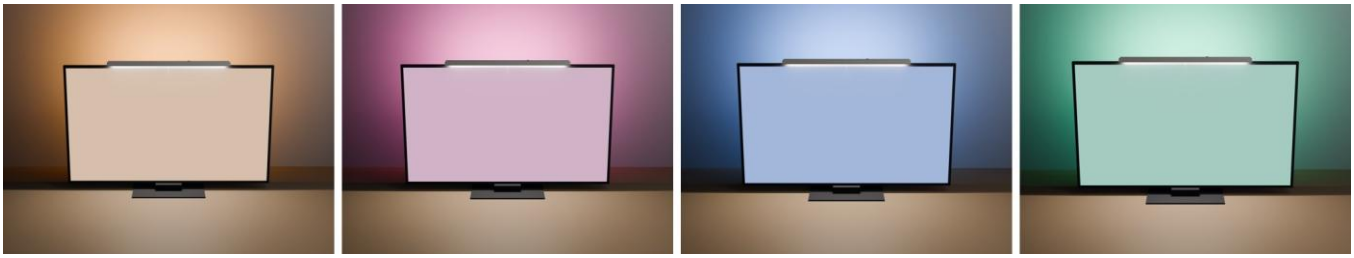


Fig. 2 Le halo suit les couleurs de l'écran : chaud, rose, froid, vert (extraits de l'animation de présentation de 55 s).

02 LE BESOIN ET L'ÉTAT DE L'ART

Le contraste entre l'écran et la pièce

Étudiants, télétravailleurs et joueurs passent des heures devant un écran très lumineux, souvent dans une pièce sombre ou mal éclairée. Ce contraste, les reflets sur la dalle et la saturation de certaines couleurs figurent parmi les causes de fatigue visuelle relevées par notre état de l'art. Le sujet a été retenu à la réunion 1 (29/09) : lumière d'ambiance, 9 points sur 25, devant la valise dans le métro et le chauffe-instruments (8 chacun). L'idée vient des salles d'opération, où les tenues vertes, complémentaires du rouge, masquent l'image rémanente.

REPÈRE	VALEUR RELEVÉE	SOURCE
Distance écran-yeux	50 à 70 cm, haut de l'écran au niveau des yeux	[1]
Éclairage ambiant	300 à 500 lux autour de l'écran	[1]
Température de couleur	3000 K le soir, 5000 à 6500 K le jour	[1]
Pauses	règle 20-20-20 : toutes les 20 min, regarder à 6 m pendant 20 s	[1], [5]
Causes qui s'additionnent	fatigue visuelle, sécheresse oculaire, manque de pauses, poste mal adapté, stress, manque de sommeil	[5]
Tenues vertes au bloc	couleur complémentaire du rouge : masque l'image rémanente (source commerciale)	[2], [6]
Verres anti lumière bleue	probablement pas plus efficaces que des verres ordinaires (revue Cochrane) : d'où la prudence sur toute promesse	note du CdCF

Tableau 1 Repères de l'état de l'art (sources en fin de rapport).

PRODUITS EXISTANTS

PRODUIT	PRIX	POINTS FORTS	LIMITES
BenQ ScreenBar Halo	144 à 179 €	conçue contre la fatigue visuelle, fixation sans outil, teinte et intensité réglables	prix élevé ; éclaire le bureau, pas le mur derrière l'écran
Philips Hue Play gradient	200 à 220 €	lumière derrière l'écran dont les couleurs suivent l'image	prix élevé ; couleurs saturées, pas conçu pour réduire la fatigue
Govee DreamView G1 Pro	180 €	caméra qui synchronise la lumière avec l'image, nombreux réglages	prix élevé, pensé pour le jeu et l'effet visuel
Xiaomi Mi Light Bar	40 à 45 €	prix bas, intensité et température réglables	peu de modes, pas de lumière derrière l'écran
Mode nuit, filtres, lunettes	0 à quelques €	gratuit ou peu cher, réduit la lumière bleue de l'écran	n'agit pas sur le contraste avec la pièce

Tableau 2 Prix relevés sur des sites marchands le 06/10/2026. Les produits se répartissent en deux familles : lampe qui éclaire le bureau (BenQ, Xiaomi) et lumière colorée derrière l'écran qui suit l'image (Philips, Govee). Notre cible de prix : moins de 40 € pour battre Xiaomi.

BREVETS PROCHES

BREVET	IDÉE QUE NOUS REPRENONS
US 8 223 117 B2 (Polaris Powerled, 2012)	règle la luminosité à partir d'un capteur de lumière ambiante et d'une préférence de l'utilisateur : notre capteur OPT3001
RU 2 468 401 C2 (Philips, 2012)	choisit la couleur de l'éclairage ambiant d'après le contenu de l'image affichée : notre halo qui suit l'écran, en couleurs adoucies

ENQUÊTE UTILISATEUR

Le questionnaire (13 questions notées de 1 à 10) a reçu 23 réponses du 09 au 14/10 ; 22 répondants ont entre 17 et 20 ans, un seul a 57 ans. Chaque question correspond à une cause de l'Ishikawa. Pour les causes formulées en positif (pauses, bon placement, mesure, suivi), la note est inversée : 11 moins la note. Une réponse est « forte » à partir de 7 sur 10.

CAUSE	QUESTION	RÉPONSES	MOYENNE (/10)	RÉPONSES FORTES	FRÉQUENCE RETENUE
C1	Écran très lumineux et saturé en certaines couleurs	23	5,6	43 %	55 %
C2	Lumière bleue de l'écran, surtout le soir	23	5,7	43 %	58 %
C3	Éclairage de la pièce mal adapté (reflets, ombres)	23	6	52 %	64,3 %
C4	Reflets sur l'écran	23	6,3	65 %	63 %
C5	Pauses visuelles fréquentes (règle 20-20-20)	23	6,9	70 %	45 %
C6	Longues sessions d'écran (plus de 4 à 6 h par jour)	23	5,5	39 %	54 %
C7	Clignements moins fréquents, yeux secs	23	6,4	70 %	64 %
C8	Écran bien placé (50 à 70 cm), posture adaptée	23	6,4	48 %	34 %
C9	Fort contraste entre l'écran et une pièce sombre	23	6,4	57 %	64 %
C9 gêne	Ce contraste vous dérange-t-il ? (gêne)	22	6,4	59 %	
C10	Éblouissement direct ou indirect	23	5,3	35 %	66 %
C11	Mesure de l'éclairement et réglage de la luminosité	23	4	13 %	30 %
C12	Suivi de la durée d'écran et des symptômes	23	6,8	57 %	42 %

Tableau 3 Résultats de l'enquête (fichier de résultats de Flore, feuille Sheet1). La fréquence retenue est la valeur saisie dans la feuille Ishikawa-Pareto. Limite : 23 réponses, presque toutes d'étudiants de 17 à 20 ans, et une échelle de 1 à 10 sans libellés (deux répondants le signalent).

03 ANALYSE DU BESOIN

Éléments du milieu extérieur et fonctions

EME	DESCRIPTION
EME 1	Normes de sécurité (électrique, batterie, lumière des LED)
EME 2	Normes et exigences environnementales (recyclage, substances)
EME 3	Utilisateur (travaille longtemps sur écran, joueur) : regarde l'écran et manipule le produit
EME 4	Énergie : prise USB de l'ordinateur ou chargeur, batterie du produit
EME 5	Environnement : bureau, mur ou fond derrière l'écran, place disponible
EME 6	Ordinateur et écran : support de fixation, source d'alimentation USB
EME 7	Éclairage ambiant de la pièce (jour, nuit, plafonnier) : contraste avec l'écran
EME 8	Autres personnes présentes (ne pas les gêner : lumière, bruit)

Tableau 4 Éléments du milieu extérieur (phase d'utilisation).

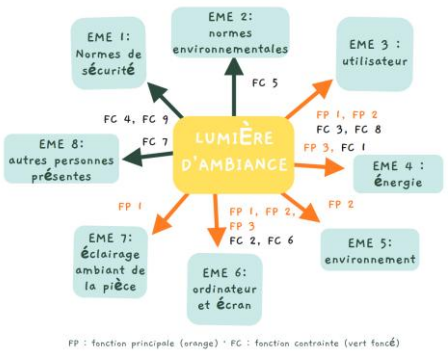


Fig. 3 Diagramme pieuvre : fonctions principales (orange) et contraintes (vert foncé).

Selon le TRIZ, notre produit est une innovation de niveau 2, une amélioration mineure d'un système existant ; ce niveau représente environ 45 % des innovations, ce qui est cohérent avec une barre lumineuse dotée d'un halo et d'un capteur.

CAUSES DE LA FATIGUE VISUELLE : ISHIKAWA ET PARETO

Douze causes ont été classées en six familles (matière, matériel, méthode, main-d'œuvre, milieu, mesure). La fréquence vient de l'enquête, saisie par Flore en pourcentage de répondants concernés ; la gravité (1 gêne légère, 3 gêne qui perturbe le travail, 9 symptôme marqué) est une estimation de l'équipe. La criticité est leur produit, et le Pareto classe les causes de la plus à la moins critique.

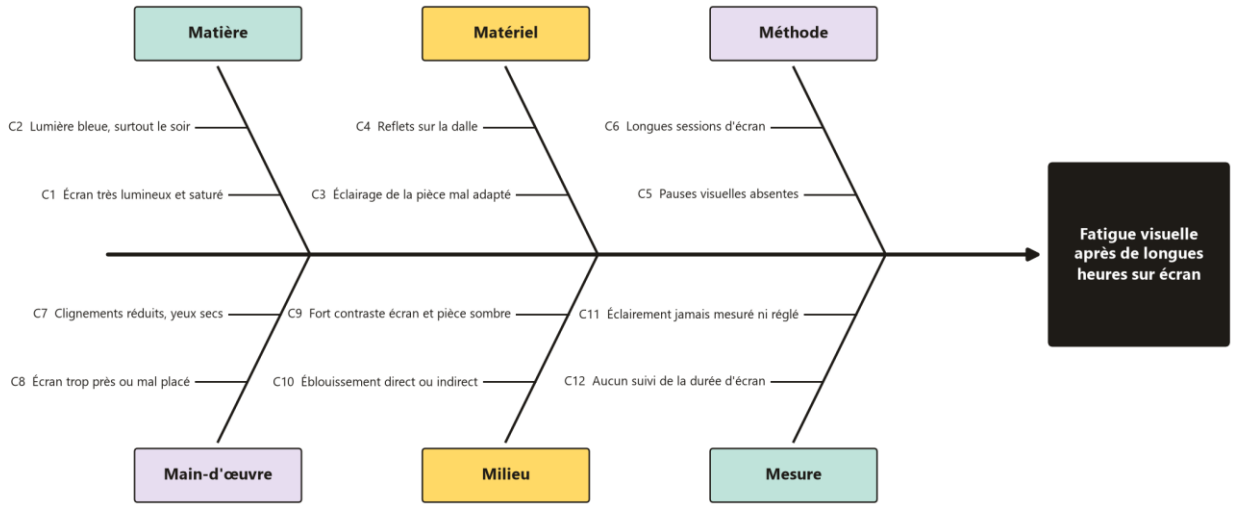


Fig. 4 Ishikawa (6M) : les douze causes de fatigue visuelle, classées en six familles.

RANG	CAUSE	DESCRIPTION	FRÉQ. (%)	GRAVITÉ	CRITICITÉ	CUMUL	TRAITÉE PAR LE CONCEPT
1	**C7**	Clignements moins fréquents, yeux secs, concentration prolongée	64	9	576	28 %	Non : hors du champ du produit (le confort lumineux peut limiter la gêne)
2	**C5**	Pauses visuelles absentes	45	9	405	47 %	Non : le rappel de pause a été écarté de la Pugh
3	**C10**	Éblouissement direct ou indirect	66	3	198	56 %	Oui : éclairage asymétrique et diffuseur opale
4	**C3**	Éclairage de la pièce mal adapté	64,3	3	192,9	66 %	Oui : lumière réglée par le capteur, teinte de 2700 à 6500 K
5	**C9**	Fort contraste entre l'écran et une pièce sombre	64	3	192	75 %	Oui : c'est le cœur du concept (halo arrière réglé par le capteur)
6	**C6**	Longues sessions d'écran	54	3	162	83 %	Non : la durée d'écran n'est pas traitée
7	**C12**	Aucun suivi de la durée d'écran ni des symptômes	42	3	126	89 %	Non : le suivi par appli a été écarté de la Pugh

RANG	CAUSE	DESCRIPTION	FRÉQ. (%)	GRAVITÉ	CRITICITÉ	CUMUL	TRAITÉE PAR LE CONCEPT
8	C4	Reflets sur la dalle de l'écran	63	1	63	92 %	Oui : lumière dirigée vers le bureau, pas vers la dalle
9	C2	Lumière bleue de l'écran, surtout le soir	58	1	58	94 %	Non : aucun filtre, aucune promesse de protection (FC9)
10	C1	Écran très lumineux et saturé en certaines couleurs	55	1	55	97 %	Partiellement : le halo réduit le contraste, mais la luminosité de l'écran reste celle de l'utilisateur
11	C8	Écran trop près ou mal placé	34	1	34	99 %	Non : hors du champ du produit (conseil de distance 50 à 70 cm)
12	C11	Éclairement de la pièce et luminosité de l'écran jamais mesurés ni réglés	30	1	30	100 %	Oui : capteur OPT3001 qui mesure la lumière et règle l'éclairage

Tableau 5 Ishikawa et Pareto : causes triées par criticité décroissante (feuille Ishikawa-Pareto du classeur).

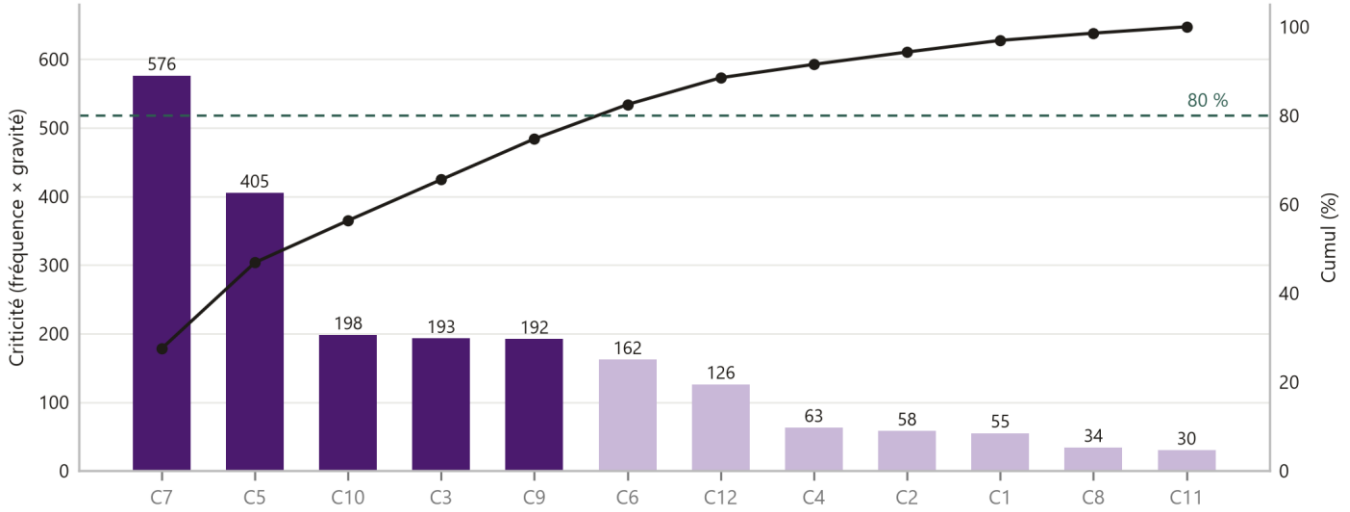


Fig. 5 Pareto des causes : les 6 premières (en violet foncé) atteignent 83 % de la criticité cumulée ; le produit en traite trois (C10, C3, C9). Les causes C7 et C5, les plus critiques, restent hors de son champ.

04 CAHIER DES CHARGES

Fonctions, critères et niveaux

FONCTION	ÉNONCÉ	CRITÈRE ET NIVEAU	FLEX.	EME
FP1	Éclairer l'espace autour de l'écran pour limiter la fatigue de l'utilisateur	Intensité lumineuse et couleur (réglables) : 300 à 500 lux, teinte réglable de 3000 K à 6500 K (source 1 ; à confirmer avec la norme d'éclairage)	f0	EME 3, EME 6, EME 7
FP2	Se fixer facilement à l'écran ou au bureau	Installation sans outil ; masse du produit : pose en moins de 1 min ; moins de 300 g	f1	EME 3, EME 5, EME 6
FP3	S'alimenter et se recharger sur l'ordinateur	Recharge sur une prise usuelle : USB-A ou USB-C	f0	EME 4, EME 6
FC1	Fonctionner longtemps sans recharge	Autonomie : au moins 3 h sans recharge	f1	EME 4
FC2	Protéger l'ordinateur	Pas de dégât sur l'ordinateur : aucune rayure	f0	EME 6
FC3	Se personnaliser selon l'utilisateur	Modes d'utilisation (intensité et température de couleur) : au moins 3 niveaux d'intensité et 2 températures de couleur, dont 1 mode personnalisable	f2	EME 3
FC4	Respecter les normes de sécurité	Pas de partie coupante ; batterie et LED conformes : aucune arête vive ; LED du groupe de risque photobiologique 0 ou 1 ; boîtier peu chauffant	f0	EME 1
FC5	Être recyclable et réparable	Part recyclable ; pièces remplaçables (ampoule, batterie) : à chiffrer (proposition : au moins 80 % recyclable)	f2	EME 2
FC6	Rester sobre en ressources de l'ordinateur	Mémoire utilisée par un éventuel logiciel : moins de 300 Mo	f1	EME 6
FC7	Ne pas gêner les personnes proches	Lumière dirigée vers l'écran, pas vers les yeux d'autrui : aucun éblouissement ; aucun bruit	f1	EME 8
FC8	Offrir une lumière de qualité	Indice de rendu des couleurs (IRC) ; scintillement ; diffusion : IRC au moins 90 (idéal plus de 95) ; aucun scintillement perceptible ; diffusion homogène	f1	EME 3
FC9	Ne pas promettre de protection médicale	Allégations de la notice et de l'emballage : aucune promesse de protection médicale contre la lumière bleue	f0	EME 1

Tableau 6 Cahier des charges fonctionnel. Flexibilité : f0 impératif, f1 écart acceptable, f2 négociable. Jugé peu réaliste à la réunion 2 (09/10) sur l'autonomie, le prix des lampes et la taille de la batterie : les niveaux sont confrontés tels quels au produit, page 10.

05 DES IDÉES AU CONCEPT

37 idées, dix familles, 28 retenues pour la Pugh.

Le brainstorming du 05/10, animé par Jocelin, n'a donné que 10 idées. La question d'inversion posée à la réunion 2 (« comment endommager la vue des utilisateurs ? ») a produit 24 réponses retournées en idées ; avec les idées de l'Ishikawa, du CdCF et de la Pugh papier, la liste atteint 37, classées en familles par la carte mentale.

FAMILLE	IDÉES	EXEMPLES
Barre lumineuse sur l'écran	5	barre asymétrique, éclairage dirigé vers le bureau, diffuseur opale, BenQ, Xiaomi
Capteurs et réglages	5	capteur OPT3001, mode soirée, intensité et teinte réglables, carte XIAO, veille
Halo derrière l'écran	4	ambilight, halo à luminance proche de l'écran, ruban SK6812, Philips et Govee
Habitudes et rappels	4	règle 20-20-20, rappel de pause par le halo, suivi de la durée d'écran
Fixation et matériaux	4	aimants néodyme, pieds EPDM, boîtier en PLA, produit léger au centre de gravité bas
Lampe et qualité de la lumière	3	spectre continu, LED sans scintillement, IRC d'au moins 90
Filtres, mode nuit, lunettes	3	mode nuit, filtre physique, verre anti lumière bleue
Environnement de la pièce	3	abat-jour végétal, peinture réfléchissante, plafonnier atténué
Sécurité et normes	3	LED du groupe de risque 0 ou 1, boîtier peu chauffant, silence
Alimentation et batterie	3	LiPo 2S 5000 mAh, batterie remplaçable, USB de l'ordinateur

Tableau 7 Familles d'idées (10 familles, 37 idées).

MÉTHODE DE L'INVERSION

ON AGGRAVE LE PROBLÈME EN…	…DONC ON RETOURNE EN IDÉE
créant un fort contraste entre un écran lumineux et une pièce noire	un halo derrière l'écran de luminance proche de celle de l'écran, réglé par un capteur
provoquant des reflets directs sur la dalle	un éclairage indirect et diffus, dirigé vers le bureau, avec diffuseur opale
émettant un scintillement invisible	des LED et un pilotage sans scintillement
dégradant le rendu des couleurs	une lumière blanche à spectre large, IRC d'au moins 90
exposant l'œil à un pic de lumière bleue le soir	un mode soirée à teinte chaude, vers 3000 K
concevant un système trop lourd qui fait basculer l'écran	un produit léger au centre de gravité bas : module batterie en bas de l'écran
rendant la batterie collée et irremplaçable	une batterie remplaçable par connecteur

Tableau 8 Extraits des 24 idées retournées (feuille Brainstorming du classeur).

06 SOLUTIONS COMPARÉES PAR ÉLÉMENT

Solutions comparées pour chaque pièce

ÉLÉMENT	OPTIONS COMPARÉES (PRIX DU PAPIER DE LA PUGH)	RETENU
Parties translucide et extérieure	PETG : 15 à 20 € le kg, résiste à l'eau et au soleil ; PLA : 10 à 20 € le kg, rigide, plus facile à imprimer	PLA
Carte électronique	XIAO nRF52840 : environ 10 €, BLE et NFC ; XIAO ESP32-C3 : environ 5 €, BLE et Wi-Fi ; XIAO SAMD21 : environ 4 €, câblage à faire	XIAO ESP32-C3
Ruban LED du halo	WS2812B : 20 à 25 € les 5 m ; SK6812 : 30 à 45 € les 5 m, LED blanche dédiée, meilleur rendu	SK6812
Batterie	LiPo 2000 mAh 3,7 V : 10 à 20 €, pas assez pour 3 h ; LiPo 2S 5000 mAh 7,4 V : 25 à 40 €, environ 4 h	LiPo 2S 5000 mAh
Pieds et protection	butées Ø 8 × 3 : 16,14 € les 500 ; Bumpon 3M : trop cher ; EPDM adhésif : environ 28 € le m^2	EPDM adhésif
Fixation	aimants néodyme 10 × 1 mm : 5 à 10 € les 50 à 100	aimants et plaques d'acier
Capteur de lumière	VEML7700 : 1,09 €, 6,8 × 2,35 mm ; OPT3001 : 1,55 €, 2 × 2 mm	OPT3001
Lumière principale	Ecolight 12 V 5 W : 1,5 € ; True-Light 12 W : IRC 97, 5500 K, 34 €, ampoule E27 sur secteur 230 V (écartée) ; ruban COB 24 V LedBox : IRC > 90, 25 à 35 € les 5 m	ruban COB 24 V bicolore

Tableau 9 Solutions comparées. La True-Light, retenue sur le papier, est une ampoule sur secteur impossible à loger dans la barre ni à alimenter sur batterie ou USB : le ruban COB, retenu lui aussi, la remplace, en version bicolore (2700 à 6500 K) pour régler la teinte.

07 CHOIX DU CONCEPT : MATRICE DE PUGH

Matrice de Pugh : 19 points pour notre concept

Auxence a comparé six solutions par rapport à une lampe de bureau classique. Les critères sont les fonctions du cahier des charges, pondérées de 1 (secondaire) à 5 (essentiel), plus le prix, ajouté sur le papier. Chaque case vaut +1 (meilleur), 0 (équivalent) ou -1 (moins bon) ; le total est la somme des notes multipliée par le poids.

CRITÈRE	FONCTION	POIDS	NOTRE PRODUIT	BENQ HALO	PHILIPS HUE	GOVEE G1 PRO	XIAOMI	MODE NUIT, FILTRES
FP1	Éclairer autour de l'écran	4	+1	+1	0	0	+1	-1
FP2	Fixation facile, léger	3	+1	+1	-1	-1	+1	0
FP3	Alimentation USB	4	+1	+1	0	0	+1	0
FC1	Autonomie de plus de 3 h	3	+1	0	0	0	0	0
FC2	Protéger l'ordinateur	4	0	0	0	0	0	0
FC3	Personnalisation	2	+1	+1	+1	+1	0	0
FC4	Normes de sécurité	4	0	0	0	0	0	0
FC5	Recyclable et réparable	2	0	0	0	0	0	0
FC6	Consommation de ressources	3	0	0	-1	0	0	0
FC7	Ne pas gêner les autres	3	+1	+1	-1	-1	0	0
FC8	Qualité de la lumière	3	+1	+1	-1	-1	0	0
FC9	Pas de promesse médicale	4	0	0	0	0	0	-1
Prix	Prix (ajouté sur le papier)	3	-1	-1	-1	-1	+1	+1
	Total pondéré		**19**	**16**	**-13**	**-10**	**14**	**-5**
	Rang		**1**	**2**	**6**	**5**	**3**	**4**

Tableau 10 Matrice de Pugh recopiée de la feuille papier d'Auxence (numérisée le 09/10).

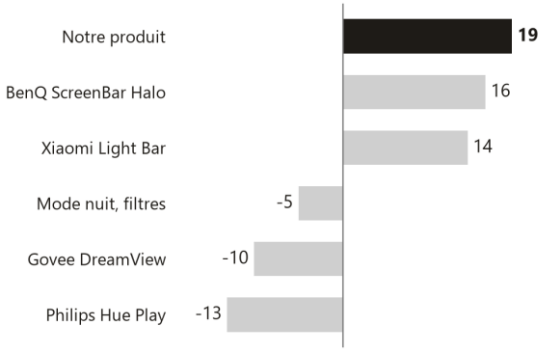


Fig. 6 Totaux pondérés de la matrice de Pugh.

Notre concept gagne sur la fixation, l'alimentation USB, l'autonomie, la personnalisation, la gêne pour les autres et la qualité de la lumière. Son seul point négatif est le prix, comme pour BenQ, Philips et Govee ; seuls Xiaomi et le mode nuit sont moins chers.

La matrice compare des produits du marché à un concept qui n'existait pas encore ; les notes de « Notre produit » sont des objectifs, vérifiés ensuite par les calculs page 10.

08 CONCEPTION

Deux modules plats, fermés, fixés sans outil

M1, la barre haute, porte les deux rubans derrière leurs diffuseurs, la carte, le capteur, le bouton, un convertisseur 5 V vers 24 V et deux transistors de gradation. M2, le module batterie de la version A1, loge la LiPo 2S et son chargeur en bas de la dalle pour garder le centre de gravité bas. Chaque module tient par quatre aimants néodyme sur des plaques d'acier collées au dos de l'écran, avec de l'EPDM pour ne pas rayer. Boîtiers en PLA imprimé (parois de 1,6 mm, remplissage de 20 % au maximum), couvercles vissés ; rien ne s'interpose entre les rubans et les diffuseurs.

REP	DÉSIGNATION	QTÉ	MATIÈRE, REMARQUE
1	M1 corps de la barre haute	1	PLA, 360 × 42,4 × 32 mm
2	M1 couvercle	1	PLA, 6 vis M2
3	Diffuseur arrière (halo)	1	PLA translucide, 1,6 mm
4	Diffuseur avant (bureau)	1	PLA translucide, 1,6 mm
5	Ruban SK6812 RGBW, 330 mm	1	19 LED, halo arrière
6	Carte XIAO ESP32-C3	1	BLE, pilote les LED
7	Capteur OPT3001	1	carte 10 × 10 mm
8	Bouton 6 mm	1	modes et veille
9	Vis M2 × 8	12	A2 : 6
10	Aimant néodyme 10 × 1	8	A2 : 4
11	EPDM 1 mm sur les aimants	4	protège l'écran

REP	DÉSIGNATION	QTÉ	MATIÈRE, REMARQUE
12	Pied EPDM 20 × 10 × 2	2	sous la lèvre de M1
13	Plaque d'acier adhésive	4	A2 : 2
14	M2 corps batterie	1	A1 seulement, 230 × 29 × 55 mm
15	M2 couvercle	1	A1 seulement
16	LiPo 2S 5000 mAh	1	A1, 138 × 47 × 25 mm, 270 g
17	Chargeur 2S et abaisseur 5 V	1	A1, USB-C
18	Câble 5 V rouge et noir	2	A1, M2 vers M1
19	Ruban COB 24 V bicolore, 330 mm	1	10 mm, 2700 à 6500 K, IRC > 90
20	Bande d'aluminium	1	330 × 10 × 1 mm, évacue la chaleur
21	Convertisseur 5 V vers 24 V	1	MT3608
22	Transistors de gradation	2	AO3400, chaud et froid

Tableau 11 Nomenclature de l'ensemble (dessin ENS-1 du dossier de plans).

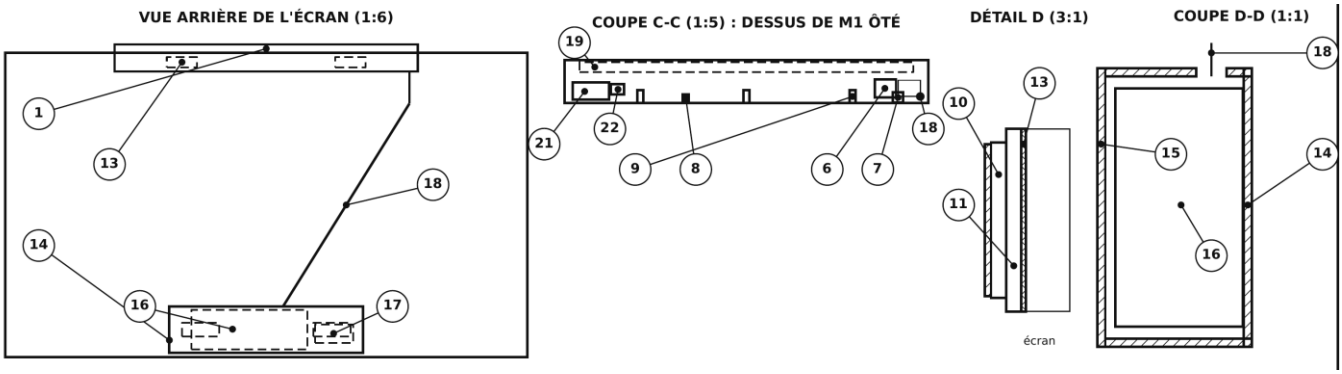


Fig. 7 Dessin d'ensemble ENS-1 : vue arrière de l'écran (1:6), coupe C-C du dessus de M1 (1:5), détail D de la fixation (3:1), coupe D-D du module batterie (1:1).

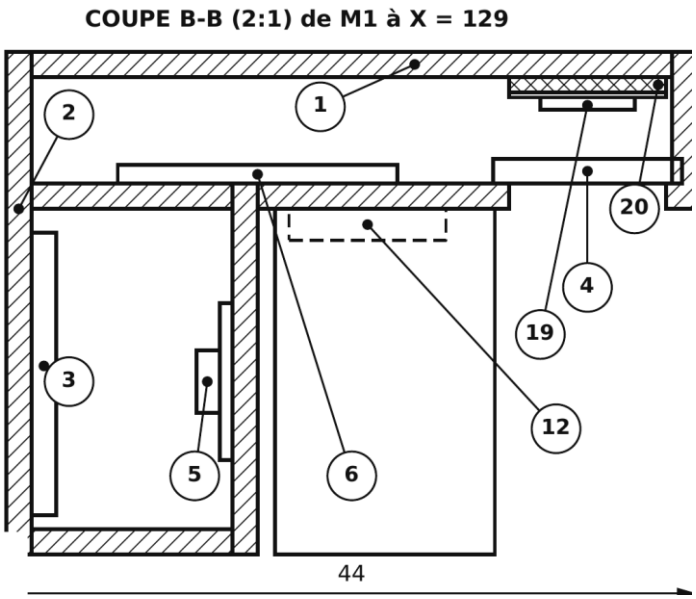


Fig. 8 Coupe B-B de la barre haute M1 (2:1) : parois de 1,6 mm, diffuseurs, rubans, carte XIAO, pied EPDM.

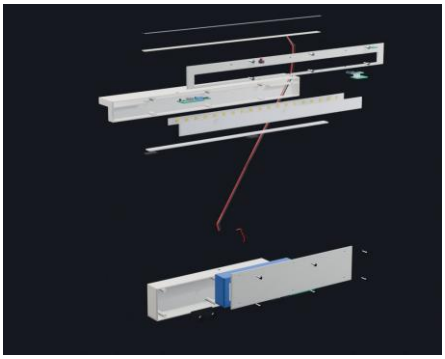


Fig. 9 Vue éclatée de la version A1 (extrait de l'animation).

09 CHIFFRES ET CONFORMITÉ

Masse, prix et autonomie des deux versions

MASSE PAR POSTE	A1 (G)	A2 (G)	COÛT PAR POSTE	A1	A2
Pièces imprimées en PLA (M1, M2, diffuseurs)	199	113,4	Pièces imprimées en PLA (15 €/kg)	2,99 €	1,70 €
Éclairage : rubans SK6812 et COB, bande d'aluminium	28,9	28,9	Éclairage : rubans SK6812 et COB, bande d'aluminium	5,96 €	5,96 €
Électronique : carte XIAO, capteur, bouton, convertisseur, transistors, carte d'alimentation	15,5	20,5	Électronique : carte XIAO, capteur, bouton, convertisseur, transistors, carte d'alimentation	10,55 €	12,55 €
Fixation : aimants, EPDM, plaques d'acier, vis	23,2	12,6	Fixation : aimants, EPDM, plaques d'acier, vis	4,00 €	2,10 €
Fils et câble 5 V	8,4	4,4	Fils, connectique et câble 5 V	2,00 €	1,50 €
Batterie et chargeur	295	0	Batterie LiPo 2S 5000 mAh et chargeur	45,00 €	0,00 €
Total	**570**	**179,8**	**Total des composants**	**70,50 €**	**23,81 €**

Tableau 12 Masse et coût des composants, regroupés par poste (détail ligne par ligne dans la feuille Calculs du classeur). Masse du PLA calculée sur le modèle 3D (parois de 1,6 mm, remplissage de 20 % au maximum). Coûts : composants seuls, prix du papier de la Pugh et de revendeurs, plusieurs hypothèses signalées en bleu dans la feuille ; ce n'est pas un prix de vente. Écart avec le BenQ à 144 € : 74 € (A1), 120 € (A2).

AUTONOMIE ET ALIMENTATION (HYPOTHÈSES EN BLEU DANS LA FEUILLE CALCULS)	VALEUR	REMARQUE
Énergie utile : 5000 mAh × 7,4 V × rendement 0,81	30 Wh	batterie 90 %, convertisseur 90 %
Puissance à pleine luminosité : SK6812 + COB / rendement + XIAO	7 W	COB 2,64 W, SK6812 3,8 W, XIAO 0,3 W
Autonomie de A1 à pleine luminosité	4,26 h	au moins 3 h demandées : respecté
Autonomie de A1 à mi-luminosité	8,17 h	usage normal
Courant de A2 à pleine luminosité sous 5 V	1,41 A	port USB-C d'au moins 1,5 A

Tableau 13 Autonomie et courant.

RESPECT DU CAHIER DES CHARGES

FONCTION	ÉNONCÉ	EXIGENCE	A1	A2
FP1	Éclairer autour de l'écran	300 à 500 lux ; 3000 à 6500 K	◐ teinte oui, lux non mesurés	◐ teinte oui, lux non mesurés
FP2	Se fixer facilement	sans outil, moins de 1 min, moins de 300 g	○ pose oui, 570 g	● oui
FP3, FC1	Alimentation et autonomie	USB-A ou USB-C ; au moins 3 h	● USB-C, 4 h 15	● USB-C
FC2, 7, 9	Ne pas rayer, gêner, ni promettre	aucune rayure, éblouissement ni allégation médicale	● oui	● oui
FC3	Se personnaliser	3 intensités, 2 températures	● oui	● oui
FC4	Normes de sécurité	aucune arête vive, LED groupe 0 ou 1, peu chauffant	◐ non vérifié	◐ non vérifié
FC5, FC6	Recyclable ; sobre pour l'ordinateur	au moins 80 % ; moins de 300 Mo	◐ non chiffré, appli non écrite	◐ non chiffré, appli non écrite
FC8	Lumière de qualité	IRC 90 au moins, sans scintillement	● oui	● oui
Prix	Sous le prix du Xiaomi	moins de 40 € (composants)	○ 70,50 €	● oui

● respecté ◐ partiel ou non vérifié ○ non respecté

Tableau 14 Conformité de chaque version au cahier des charges du tableau 6. A2 respecte la masse et le prix visés ; A1 respecte l'autonomie mais pas la masse (la batterie pèse 270 g) ni le prix : c'est pourquoi la version branchée existe.

10 RETOURS D'EXPÉRIENCE : PRÉVU ET RÉALISÉ

Prévu et réalisé au 16 octobre

Le Gantt et le plan de charge du classeur partagé ont été tenus au fil des réunions : dates prévues le 29/09, dates réelles saisies ensuite. Au 16/10, treize activités sur quinze sont terminées, dont le rapport et le diaporama, remis dans les délais ; les répétitions et la soutenance restent à faire.

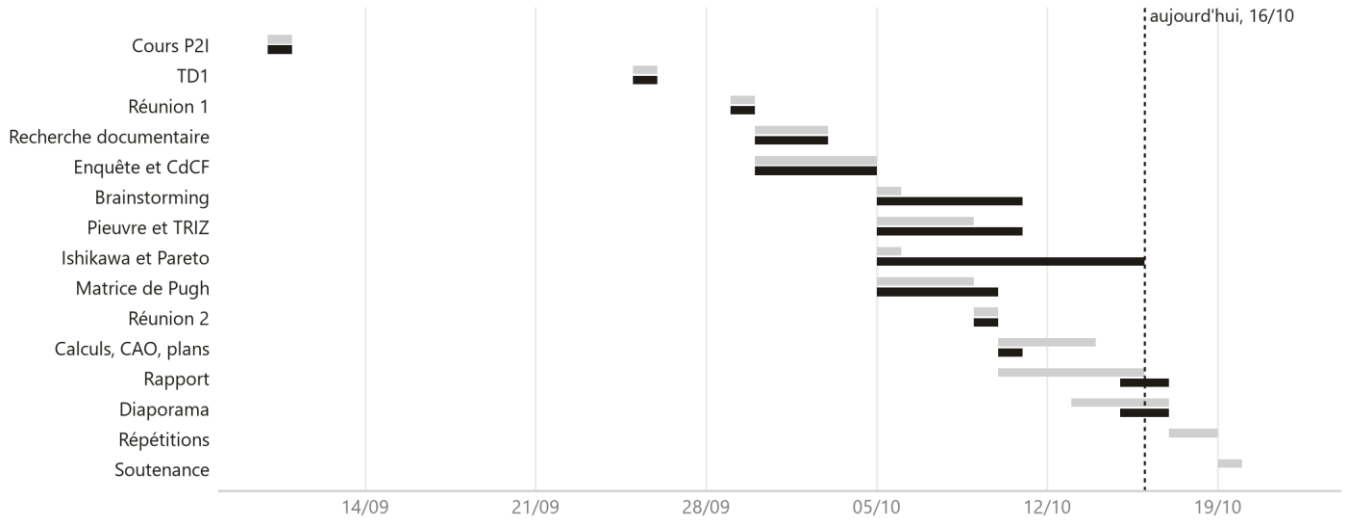


Fig. 10 Prévu (gris clair) et réalisé (noir) au 16/10/2026.

ID	ACTIVITÉ	PRÉVU	RÉALISÉ	ÉCART DE FIN
A1	Amphi : cours P2I	10/09	10/09	à l'heure
A2	TD1 : fondamentaux (Gantt, Ishikawa, Pugh)	25/09	25/09	à l'heure
A3	Réunion 1 : vote, rôles, EME, Ishikawa	29/09	29/09	à l'heure
A4	Recherche documentaire (état de l'art, sources)	30/09 au 02/10	30/09 au 02/10	à l'heure
A5	Enquête utilisateur et cahier des charges (CdCF)	30/09 au 04/10	30/09 au 04/10	à l'heure
A6	Brainstorming	05/10	05/10 au 10/10	+5 j
A70	Carte mentale, TRIZ et diagramme pieuvre	05/10 au 08/10	05/10 au 10/10	+2 j
A71	Ishikawa et Pareto	05/10	05/10 au 15/10	+10 j
A72	Matrice de Pugh : choix du concept	05/10 au 08/10	05/10 au 09/10	+1 j
A8	Réunion 2 : concept retenu, plan du rapport	09/10	09/10	à l'heure
A9	Croquis, calculs, CAO et plans	10/10 au 13/10	10/10	-3 j
A10	Rédaction du rapport (12 pages maximum, avec sommaire)	10/10 au 15/10	15/10 au 16/10	+1 j
A11	Diaporama	13/10 au 16/10	15/10 au 16/10	à l'heure
A12	Répétitions de l'oral (6 min)	17/10 au 18/10		à venir
A13	Soutenance (TD2)	19/10		à venir

Tableau 15 Prévu et réalisé, activité par activité (feuille Gantt). Écart de fin : date réelle moins date prévue.

11 PLAN DE CHARGE, RETARDS ET ITÉRATIONS

78,75 h prévues, 66,75 h comptées, 750 € de dépassement.

ID	ACTIVITÉ	PRÉVU (H)	RÉEL (H)	ÉCART (H)	COÛT PRÉVU	COÛT RÉEL	STATUT
A1	Amphi : cours P2I	7,5	7,5	0	750 €	750 €	Fait
A2	TD1 : fondamentaux (Gantt, Ishikawa, Pugh)	11,25	11,25	0	1125 €	1125 €	Fait
A3	Réunion 1 : vote, rôles, EME, Ishikawa	7,5	7,5	0	750 €	750 €	Fait
A4	Recherche documentaire (état de l'art, sources)	4	5	+1	400 €	500 €	Fait
A5	Enquête utilisateur et cahier des charges (CdCF)	4	4	0	400 €	400 €	Fait
A6	Brainstorming	1	2	+1	100 €	200 €	Fait
A70	Carte mentale, TRIZ et diagramme pieuvre	2	3	+1	200 €	300 €	Fait
A71	Ishikawa et Pareto	2	4	+2	200 €	400 €	Fait
A72	Matrice de Pugh : choix du concept	2	3,5	+1,5	200 €	350 €	Fait
A8	Réunion 2 : concept retenu, plan du rapport	9	9	0	900 €	900 €	Fait
A9	Croquis, calculs, CAO et plans	3	5	+2	300 €	500 €	Fait
A10	Rédaction du rapport (12 pages maximum, avec sommaire)	3	2	-1	300 €	200 €	Fait
A11	Diaporama	3	3	0	300 €	300 €	Fait
A12	Répétitions de l'oral (6 min)	6			600 €		À venir
A13	Soutenance (TD2)	13,5			1350 €		À venir
	Total	**78,75**	**66,75**		**7875 €**	**6675 €**	

Tableau 16 Plan de charge au tarif de 100 €/h (charge = nombre de personnes × durée). Les activités terminées coûtent 7,5 h de plus que prévu, soit 750 € : Pareto +2 h, calculs, CAO, plans et animation +2 h, Pugh +1,5 h, pieuvre et TRIZ +1 h, brainstorming +1 h, recherche documentaire +1 h, compensés en partie par le rapport (-1 h). Budget prévisionnel : 7875 € ; coût réel à ce jour : 6675 €. Heures réelles de A5, A8 et A11 égales au prévu.

RETARDS : CONSTAT, CAUSE, RÉPONSE

ACTIVITÉ	ÉCART	CAUSE	CE QUE NOUS AVONS FAIT
A6 Brainstorming	+5 j (fin le 10/10)	10 idées seulement à la séance du 05/10 ; question d'inversion posée à la réunion 2	idées reprises du CdCF, de l'Ishikawa, de l'inversion et de la Pugh papier : 37 idées, classées en familles
A70 Pieuvre, TRIZ	+2 j	numérotation de la pieuvre différente du CdCF ; carte mentale non faite en séance	pieuvre corrigée et alignée le 10/10 ; familles saisies dans le tableau d'idées
A71 Pareto : temps	+2 h	classement de 12 causes, calcul des fréquences à partir de 23 réponses et choix des gravités	2 personnes pendant 2 h au lieu d'1 h chacune
A72 Pugh	+1 j	faite sur papier avant la fin du brainstorming, scan le 09/10 au soir	recopiée dans le classeur le 09/10 au soir
A71 Pareto	+10 j	cotation fréquence × gravité reportée au 11/10, remise le 15/10	Pareto et enquête intégrés au rapport le 15/10 (tableaux 3 et 5, figures 4 et 5)
J2 Cahier des charges	jugé irréaliste le 09/10	autonomie, prix des lampes et taille de la batterie trop ambitieux	deux versions (A1 autonome, A2 branchée) ; ruban COB à la place de la lampe
A9 Calculs, CAO, plans	-3 j (avance)	carte électronique et design décidés dès le 10/10	5 h passées au lieu de 3 h ; quatre versions de design (tableau suivant)
A10 Rapport	+1 j	attente du Pareto de Flore et d'Ines pour finir la page 4	remis le 16/10, jour du jalon J4 : la remise est tenue
A11 Diaporama	à l'heure	dépendait du rapport et du Pareto	réalisé les 15 et 16/10 par Auxence et Ludivin ; répétitions les 17 et 18/10

Tableau 17 Retards constatés et réponses (feuille Projet du classeur, mise à jour du 16/10).

QUATRE VERSIONS DE DESIGN

CE QUE NOUS AVIONS	CE QUI N'ALLAIT PAS	CE QUE NOUS AVONS CHANGÉ
boîtier en fer à cheval autour de l'écran	on ne voyait pas comment il tenait ; les aimants étaient prévus pour l'ordinateur, pas pour un couvercle	modules plats répartis au dos de la dalle, tenus par aimants sur des plaques d'acier collées
boîtiers ouverts	pièces non fermées, composants apparents	couvercles vissés, diffuseurs collés, étagères internes
batterie dans la barre haute	centre de gravité haut, masse concentrée	module batterie M2 en bas de l'écran, version A2 sans batterie
un seul ruban pour deux diffuseurs ; ruban arrière derrière la carte ; repère 7 manquant	incohérences relevées en revue du pilote	deux rubans, positions corrigées, dessin d'ensemble complété à 22 repères
lampe True-Light de la Pugh	ampoule E27 sur secteur 230 V, inutilisable ici	ruban COB 24 V bicolore, convertisseur 5 V vers 24 V, deux transistors

Tableau 18 Itérations de conception du 10/10.

12 RETOUR D'EXPÉRIENCE ET CONCLUSION

Retour d'expérience de l'équipe et conclusion

Pour la plupart d'entre nous, piloter un projet de bout en bout est nouveau : il ne s'agit plus d'un travail guidé en séance, mais d'une suite d'étapes à enchaîner et à coordonner soi-même. Flore décrit un choc par rapport au travail habituel sur place, avec la difficulté d'estimer les durées et d'apprendre à se coordonner. Ines et Ludivin ont trouvé difficile de comprendre des méthodes nouvelles et de savoir par où commencer la recherche.

Ce qui a coincé est surtout le décalage entre la recherche et les solutions : le cahier des charges était trop ambitieux pour un produit réalisable et a dû être réadapté (Auxence), d'où deux versions. Travailler à six a aussi été difficile (Ines), et la qualité de la communication s'est révélée déterminante. Côté planning, le brainstorming et le Pareto ont pris du retard, la Pugh a été faite avant la fin du brainstorming, et le rapport comme le diaporama ont été terminés le jour de la remise.

Ce qui a bien marché, ce sont les rôles répartis dès la réunion 1, le classeur partagé (Gantt, plan de charge, calculs) qui a permis de suivre l'écart entre le prévu et le réalisé, et une conception terminée trois jours avant la date prévue. Jocelin a animé les réunions et le brainstorming, hors de sa zone de confort, en priorisant les tâches pour tenir un rythme soutenu.

Nous ferions autrement sur plusieurs points : prévoir une marge de 30 à 50 % sur les durées ; valider le cahier des charges seulement après un calcul de masse, de prix et d'autonomie ; vérifier chaque référence (tension, dimensions) avant de la retenir ; chercher les brevets dès l'état de l'art, comme Flore le propose, car ils nous ont donné l'idée du capteur et du halo qui suit l'écran ; se retrouver plus tôt et plus souvent sur place ; écrire la justification de chaque note de la Pugh.

LEÇON	CE QUI S'EST PASSÉ	LA PROCHAINE FOIS
Respecter l'ordre des tâches	la Pugh a précédé la fin du brainstorming, sans justification écrite des notes	n'ouvrir une activité que quand celles dont elle dépend sont finies, et écrire un argument par note
Un cahier des charges atteignable	jugé irréaliste le 09/10, avant tout calcul ; les calculs montrent 570 g pour A1 contre 300 g demandés	chiffrer masse, prix et autonomie dès la validation du CdCF
Vérifier chaque référence	un « 12 W » probablement lu comme 12 V était une ampoule 230 V	contrôler tension, dimensions et alimentation avant de choisir
Décider l'électronique tôt	le choix Bluetooth ou filaire est resté ouvert jusqu'à la CAO	trancher la carte et l'alimentation à la réunion de choix du concept
Faire relire la conception	les revues du pilote ont corrigé la fixation, les boîtiers ouverts, la batterie et des repères	prévoir une relecture croisée des plans avant le rendu
Garder de la marge	rapport et diaporama ont été terminés le jour même de la remise, faute de marge	viser deux jours de marge avant chaque remise
Saisir les heures au fil de l'eau	plusieurs heures réelles sont égales au prévu, faute de saisie au fil de l'eau	chacun note ses heures après chaque séance

Tableau 19 Leçons du projet.

LUMIÈRE tient en deux versions. A2, branchée, respecte la masse et le prix visés (180 g, 24 € de composants) ; A1 apporte 4 h 15 d'autonomie au prix de 570 g et de 70 €. Le concept vient en tête de la Pugh, et la conception est complète : modèle 3D, plans, calculs, animation. L'éclairement et la chaleur du ruban COB ont été calculés, pas encore mesurés.

RESTE À FAIRE	POURQUOI	QUAND
Mesurer l'éclairement (300 à 500 lux) et la chaleur du ruban COB	FP1 et FC4 ne sont que vérifiés par le calcul	avec un prototype
Lire la fiche du COB : IRC, scintillement, groupe de risque photobiologique	FC4 et FC8 sous réserve de la fiche	avant achat
Écrire l'appli compagnon (moins de 300 Mo)	FC6 ; principe seulement décrit	après le projet
Imprimer un prototype	non prévu à la réunion 1 ; valide la fixation et la chaleur	après le projet
Répétitions de l'oral	oral de 6 minutes, 1 minute par personne	17 et 18/10

Tableau 20 Suite du projet.

[1] mychiro.com.au, « Research: Lighting Ergonomics and Eye Strain », 17/08/2025. [2] medicuscaps.com, « Why Are Surgical Scrubs Green? », 23/02/2024. [3] Brevet US 8 223 117 B2, Polaris Powerled Technologies, 17/07/2012. [4] Brevet RU 2 468 401 C2, Koninklijke Philips Electronics, 27/11/2012. [5] Les Ostéo du Golfe, « Mal de tête après écran : fatigue visuelle, nuque et tensions cervicales ». [6] Misemiya, « Couleurs des uniformes hospitaliers », 10/02/2026. Sources consultées le 06/10/2026 ; [1], [2] et [6] sont des sites professionnels ou commerciaux. Références normatives : NF EN 12464-1 (éclairage des lieux de travail), NF EN 62471 (sécurité photobiologique), INRS (travail sur écran), ANSES (LED et lumière bleue), American Academy of Ophthalmology (règle 20-20-20).

Modèle 3D, rendus et animation réalisés sur Blender par le chef de projet.