

# **SAE Institute Geneva**

Thomas Boehi

thoma@thbo.ch

Bachelor of Arts / Science  
Webdesign & Development

*« L'utilisation de couleurs sombres dans l'interface des sites web ou applications permet-elle une réduction significative de la consommation énergétique des écrans ? »*

MÉMOIRE

Référents: Nicolas Siorak & Julien Ramirez

18.07.2025

<b>1. Introduction .....</b>	<b>6</b>
1.1 Problématique et question de recherche .....	6
1.1.1 Problématique principale .....	6
1.1.2 Question de recherche .....	6
1.2 Objectifs, limites et plan du projet .....	7
1.2.1 Objectifs.....	7
1.2.2 Limites du projet.....	7
1.2.3 Plan du projet .....	8
<b>2. Etat de l'art .....</b>	<b>9</b>
2.1 Mise en contexte .....	9
2.1.1 Évolution de la consommation énergétique du numérique ...	9
2.1.2 Transition vers les écrans économies en énergie .....	9
2.1.3 Importance des pratiques numériques responsables .....	10
2.2 Terminologies et concepts clés .....	10
2.2.1 Technologies d'écran.....	10
2.2.2 Notions d'énergie et consommation .....	10
2.2.3 Concepts liés aux couleurs.....	11
2.2.4 Sobriété numérique et éco-conception .....	12
2.2.5 Limite connue.....	12
2.3 Conclusion de l'état de l'art.....	13
<b>3. Analyse qualitative .....</b>	<b>14</b>
3.1 Méthodologie .....	14
3.1.1 Dispositif expérimental .....	14
3.1.2 Protocole de test .....	14
3.1.3 Type de données recueillies .....	15
3.2 Limites et contraintes .....	16
3.2.1 Contraintes matérielles.....	16
3.2.2 Contraintes méthodologique .....	16
3.2.3 Biais possibles.....	16

3.3 Objectifs et implications .....	17
3.3.1 But.....	17
3.3.2 Hypothèses de départ.....	17
3.3.3 L'impact possible des résultats et l'influence des pratiques..	
17	
<b>4. Media project .....</b>	<b>18</b>
4.1 Objectifs du projet .....	18
4.2 Première itération : outil de test de couleurs .....	19
4.2.1 Description .....	19
4.2.2 Fonctionnalités développées .....	19
4.2.3 Démonstration et captures.....	20
4.2.4 Limites actuelles de l'outil .....	20
4.3 Deuxième itération : analyseur de sites web.....	22
4.3.1 Description .....	22
4.3.2 Fonctionnalités développées.....	22
4.3.3 Démonstration et captures.....	24
4.2.4 Limites actuelles de l'outil .....	25
<b>5. Présentation des résultats .....</b>	<b>26</b>
5.1 Résultats expérimentaux : consommation des écrans selon les couleurs .....	26
5.1.1 Protocole de test (rappel synthétique) .....	26
5.1.2 Données collectées .....	27
5.1.3 Analyse des résultats .....	28
5.1.4 Pourquoi le vert consomme le plus .....	29
5.1.5 Pourquoi le blanc ne consomme pas plus.....	30
5.2 Résultats du sondage : périphériques des utilisateurs.....	31
5.2.1 Méthodologie du sondage .....	31
5.2.2 Données récoltées .....	31
5.2.3 Analyse des réponses.....	32

<b>Terminologie .....</b>	<b>36</b>
<b>Table des figures.....</b>	<b>36</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>36</b>

Je soussigné Thomas Boehi, atteste avoir réalisé et rédigé ce travail de Bachelor personnellement. J'atteste également ne pas avoir eu recours au plagiat et avoir consciencieusement et clairement mentionné tous les emprunts à autrui.

Châtel-St-Denis, le 18 juillet 2025

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma gratitude envers l'ensemble de mes professeurs, qui nous ont accompagnés tout au long de cette année de Bachelor et ont su répondre avec disponibilité à nos interrogations.

Je remercie tout particulièrement M. Nicolas Siorak, dont les cours de méthodologie ont offert un cadre rassurant et structuré, favorisant un lien de confiance avec ce travail de fin d'études.

Je remercie Jeanne de Vargas, qui m'a gentiment offert son précieux microscope digital il y a quelques année et qui m'a permis de faire des analyses plus avancées dans certains résultats qui était surprenant et d'y trouver une réponse cohérente.

Je souhaite également mentionner l'assistance précieuse de ChatGPT, utilisé pour m'accompagner dans la reformulation, la clarification et la structuration de mes idées. Dans un esprit de transparence, je précise que tous les textes présentés dans ce mémoire sont bien de ma propre rédaction ; l'outil a servi uniquement de soutien pour améliorer la forme et faciliter la progression du projet.

La conversation complète ayant servi de fil conducteur est référencée dans la bibliographie à la fin de ce document. L'usage d'un outil d'intelligence artificielle peut, selon moi, renforcer l'autonomie et la qualité d'un travail lorsqu'il est utilisé avec discernement — c'est-à-dire sans en déléguer le fond. Dès le départ, j'ai d'ailleurs précisé au modèle de ne pas écrire à ma place, mais uniquement de me guider.

# 1.

# Introduction

## 1.1 Problématique et question de recherche

### **1.1.1 Problématique principale**

L'économie mondiale se tourne de plus en plus vers des pratiques écologiques. Les grandes entreprises investissent des millions dans ces démarches ; nous en entendons parler quotidiennement, bien qu'il s'agisse parfois davantage de greenwashing que d'un réel engagement environnemental.

Dans le domaine du développement web, les efforts visant à réduire l'impact environnemental se concentrent principalement sur l'optimisation des hébergeurs — sélectionnés selon leurs ressources ou sources d'énergie — ainsi que sur le code, dans le but de limiter le volume de stockage et, par conséquent, la bande passante utilisée.

À l'échelle individuelle, ces économies peuvent sembler minimes, mais à l'échelle mondiale, sachant que certains sites accueillent plusieurs milliers d'utilisateurs par jour, chaque kilooctet a son importance.

Cependant, un aspect reste bien moins exploré dans les démarches de sobriété numérique : les couleurs affichées à l'écran.

Les écrans, omniprésents dans notre quotidien numérique, pourraient-ils eux aussi participer à la réduction énergétique simplement par le choix des teintes utilisées ?

### **1.1.2 Question de recherche**

La question principale que ce mémoire propose d'explorer est la suivante :

« L'utilisation de couleurs sombres dans l'interface des sites web ou applications permet-elle une réduction significative de la consommation énergétique des écrans ? »

Pour tenter de répondre à cette interrogation, des tests expérimentaux seront réalisés sur différents types d'écrans et d'appareils.

## 1.2 Objectifs, limites et plan du projet

### **1.2.1 Objectifs**

L'objectif principal de ce travail est d'identifier les différences de consommation énergétique entre différentes couleurs affichées à l'écran, notamment selon la technologie d'affichage (OLED ou LCD).

Plus précisément, il s'agit de mesurer l'impact de ces différences et de déterminer si le choix des couleurs utilisées dans les interfaces numériques peut contribuer de manière significative à la réduction énergétique.

Pour cela, plusieurs étapes seront nécessaires :

- ▶ Réaliser des mesures de consommation d'énergie sur divers écrans OLED et LCD.
- ▶ Développer des outils permettant d'effectuer ces tests et de calculer les coûts énergétiques associés.
- ▶ Concevoir un algorithme capable d'analyser un site web et d'attribuer une notation énergétique, par exemple sous forme de pourcentage, en fonction de son utilisation du mode sombre.

Ce projet vise ainsi à comprendre si un simple choix de teinte à l'écran peut, à grande échelle, s'inscrire dans une démarche numérique plus responsable.

### **1.2.2 Limites du projet**

Afin de mener ce travail dans des conditions réalistes, des investissements personnels importants ont été réalisés, notamment l'acquisition de plusieurs écrans OLED (LG UltraGear 4K) et d'un appareil de mesure électrique de la marque Steffen.

Cependant, les ressources matérielles et financières étant limitées, le nombre de dispositifs testés reste restreint. Les mesures seront donc réalisées exclusivement à l'aide des équipements disponibles personnellement, ce qui limite la diversité des écrans et appareils étudiés.

Le projet ne prétend pas non plus couvrir l'ensemble des conditions d'utilisation (types d'applications, luminosité ambiante, réglages utilisateur, etc.), ni évaluer l'impact énergétique global d'un site web dans son intégralité.

Il convient également de souligner que certains périphériques, comme les smartphones et les tablettes, sont plus complexes à analyser. Bien que ces appareils utilisent couramment des écrans OLED, ils ne permettent pas toujours un suivi précis et fiable de la consommation énergétique. Cette difficulté est particulièrement marquée sur les appareils Apple, qui seront utilisés pour certains tests dans ce projet. La découverte et la maîtrise d'un nouveau système d'exploitation dans un délai restreint constituent également une contrainte technique importante.

Enfin, les limitations financières représentent un autre frein à l'élargissement du panel de tests, empêchant l'acquisition de matériels supplémentaires pour couvrir un éventail plus large de technologies et de marques.

### **1.2.3 Plan du projet**

Ce mémoire se structure de la manière suivante :

- ▶ Chapitre 2 présentera les concepts théoriques relatifs à la consommation énergétique des écrans et aux technologies OLED et LCD.
- ▶ Chapitre 3 détaillera la méthodologie adoptée pour les tests de consommation énergétique.
- ▶ Chapitre 4 exposera les résultats des différentes mesures effectuées et proposera une analyse comparative.
- ▶ Chapitre 5 abordera le développement des outils et de l'algorithme d'évaluation énergétique des sites web.
- ▶ Enfin, le dernier chapitre proposera une discussion critique des résultats et ouvrira des perspectives d'amélioration pour de futurs travaux.

## 2.

## Etat de l'art

### 2.1 Mise en contexte

#### **2.1.1 Évolution de la consommation énergétique du numérique**

L'augmentation de la consommation énergétique ne concerne pas uniquement les écrans ; de manière générale, l'utilisation des périphériques électroniques a considérablement augmenté au cours des 20 dernières années.

Selon un rapport de l'International Energy Agency publié en 2025<sup>1</sup>, la demande mondiale en électricité est passée d'environ 15'300 TWh en 2005 à près de 29'500 TWh en 2023. Bien que près de 50 % de cette croissance concerne le secteur industriel, les secteurs résidentiel et commercial représentent à eux deux environ 40 % de cette consommation<sup>2</sup>.

#### **2.1.2 Transition vers les écrans économes en énergie**

Que ce soit pour les smartphones, les tablettes, les ordinateurs ou les téléviseurs, la tendance est à l'adoption croissante des écrans OLED.

Il y a encore quelques décennies, les écrans CRT (Cathode Ray Tube), très gourmands en énergie, étaient courants, et ils restent encore utilisés dans certains pays ou pour le « rétro-gaming » par exemple.

Aujourd'hui, les écrans LCD sont les plus répandus. Leur consommation énergétique est modérée mais relativement stable, car ils utilisent un rétroéclairage constant : quel que soit le contenu affiché, la consommation varie peu, hormis en fonction du niveau de rétroéclairage choisi par l'utilisateur.

À l'inverse, les écrans OLED consomment plus d'énergie lorsqu'ils affichent des couleurs claires, car chaque pixel produit sa propre lumière. Cette observation est théorique, et ce travail visera à vérifier expérimentalement l'ampleur réelle de cette différence, aussi bien pour les OLED que pour les LCD.

---

<sup>1</sup> International Energy Agency. (2025). *Global Energy Review 2025*. IEA. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025/key-findings>

<sup>2</sup> International Energy Agency. (2025). *Electricity 2025*. IEA. <https://www.iea.org/reports/electricity-2025>

### **2.1.3 Importance des pratiques numériques responsables**

L'écoresponsabilité occupe aujourd'hui une place centrale dans les choix stratégiques des entreprises. Même si toutes ne sont pas irréprochables, il est devenu essentiel d'adopter des pratiques plus durables afin de limiter l'impact écologique et d'éviter des critiques ou des risques d'image.

Dans ce contexte, des approches comme le « design écoresponsable » ou « l'éco-conception web » ont émergé.

Cependant, la prise en compte des couleurs dans cette réflexion énergétique reste encore marginale, malgré sa pertinence.

Ce travail visera à mettre en lumière cet aspect et à évaluer son potentiel.

## **2.2 Terminologies et concepts clés**

AAfin de faciliter la compréhension de ce travail, voici quelques terminologies importantes. D'autres termes sont définis en fin de mémoire, dans la section « Terminologie ».

### **2.2.1 Technologies d'écran**

#### **► LCD (Liquid Crystal Display)**

Écrans plats fonctionnant grâce à un rétroéclairage constant traversant des cristaux liquides. Technologie dominante dans les ordinateurs, téléviseurs et smartphones, appréciée pour sa consommation modérée, sa finesse et ses coûts de production relativement bas.

#### **► OLED (Organic Light-Emitting Diode)**

Technologie où chaque pixel émet sa propre lumière grâce à des composés organiques. Elle permet d'obtenir des noirs profonds, un contraste élevé et des écrans très fins. Couramment utilisée dans les smartphones, téléviseurs et certains moniteurs professionnels pour leur qualité d'image supérieure.

### **2.2.2 Notions d'énergie et consommation**

La consommation énergétique des appareils est exprimée en wattheures (Wh) ou kilowattheures (kWh).

La puissance instantanée est exprimée en watts (W), tandis que l'énergie consommée sur une période donnée est mesurée en Wh ou kWh.

La formule classique est:

$$\boxed{\text{Énergie (kWh)} = \text{Puissance (kW)} * \text{Temps (h)}}$$

Ces mesures sont effectuées à l'aide d'appareils comme les wattmètres, capables d'afficher la consommation instantanée ou cumulée.

### 2.2.3 Concepts liés aux couleurs

Les écrans utilisent le modèle RVB (Rouge, Vert, Bleu), dans lequel la combinaison de ces trois couleurs permet de produire l'ensemble des teintes visibles. Les formats courants sont le RVB, RVBA (RVB + transparence alpha) et le HEX.

#### ► RVB / RVBA

Chaque composante (rouge, vert, bleu) varie entre 0 et 255. Si les trois sont à 0, l'écran affiche du noir ; à 255, il affiche du blanc. Contrairement aux imprimantes utilisant le modèle CMJN (Cyan, Magenta, Jaune, Noir), plus on ajoute de lumière dans RVB, plus la couleur devient claire.

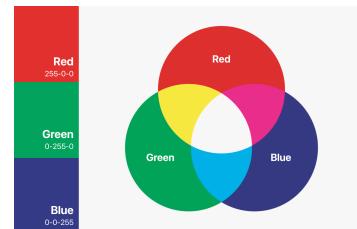


Figure 1

#### ► Hexadécimal (HEX)

Le format hexadécimal est une autre manière de représenter les couleurs RVB. Par exemple, le code #F2F4F3 est composé de trois paires hexadécimales correspondant aux valeurs rouge, vert et bleu.

Le noir absolu est représenté par #000000 (ou #000), et le blanc par #FFFFFF (ou #FFF).

Le HEX est surtout utilisé pour sa compacité dans le code.

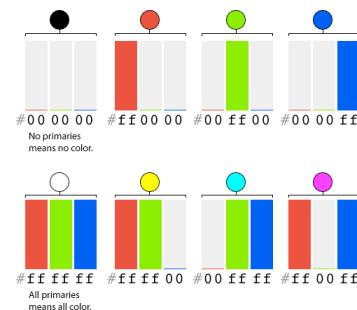


Figure 2

#### ► Luminosité et saturation

Une couleur peut être claire ou sombre selon sa luminance et sa saturation. Ainsi, un orange peut être vif (clair) ou terne (sombre), en fonction de ses



Figure 3

paramètres RVB. Ces notions seront approfondies dans le media project, notamment pour nuancer l'impact des couleurs sur la consommation.

#### ► **Mode sombre**

Le mode sombre est une déclinaison visuelle où les interfaces privilégient les teintes foncées. Très répandu dans les systèmes d'exploitation et applications mobiles, il reste encore sous-utilisé dans le web, car sa mise en place demande souvent une refonte complète du design existant.

#### **2.2.4 Sobriété numérique et éco-conception**

La sobriété numérique vise à concevoir des sites web ou des applications plus légers et moins énergivores. Elle repose notamment sur :

- ▶ **La réduction des ressources** : limiter la taille des images, le nombre de requêtes et le poids des pages,
- ▶ **L'optimisation des performances** : réduire les temps de chargement, optimiser le code, limiter les animations complexes,
- ▶ **La simplicité visuelle** : interface claires et épurées, limiter les effets visuels énergivores.

L'objectif est de minimiser l'impact environnemental des serveurs, des réseaux et des appareils tout en conservant une bonne expérience utilisateur.

#### **2.2.5 Limite connue**

Concernant l'impact énergétique des couleurs à l'écran, très peu d'études concrètes existent à ce jour.

Ce mémoire devra donc réaliser ses propres tests pour vérifier l'hypothèse d'une réduction de consommation grâce aux couleurs sombres, notamment sur les écrans OLED.

### 2.3 Conclusion de l'état de l'art

De manière générale, les couleurs peuvent être qualifiées de claires ou de sombres, mais il convient parfois de nuancer cette distinction. L'un des objectifs du media project sera justement de mieux mesurer ces nuances ou de les simplifier si elles n'ont qu'un faible impact.

Les études sur l'optimisation du code et des serveurs sont bien documentées, mais l'impact des couleurs à l'écran reste un champ encore largement inexploré.

Dans ce domaine, les écrans OLED — capables d'éteindre individuellement leurs pixels — sont particulièrement concernés.

Ce travail cherche donc à combler ce manque, et pourrait, à terme, aider les entreprises à économiser de l'énergie et des ressources financières en adaptant leurs pratiques numériques. Par exemple, en privilégiant l'achat d'écrans OLED, en travaillant systématiquement en mode sombre et en optimisant les outils internes pour adopter des interfaces foncées.

Enfin, ce projet permettra de démontrer que pour des sites à fort trafic, proposer — voire imposer — un mode sombre peut significativement réduire la consommation énergétique des utilisateurs. Ce constat est d'autant plus pertinent que la majorité des smartphones récents, qu'ils soient haut de gamme ou entrée de gamme, sont aujourd'hui équipés d'écrans OLED.

### 3.

## Analyse qualitative

### 3.1 Méthodologie

#### 3.1.1 Dispositif expérimental

Pour mener à bien cette étude, plusieurs équipements spécifiques seront mobilisés. Certains sont déjà en possession, d'autres devront être acquis au cours du projet.

▶ **Philips Envia 3000 24M1N32 (déjà en possession)**

Écran LCD d'entrée de gamme qui servira à la première phase des tests, dédiée à l'analyse des écrans LCD.



Figure 4

▶ **LG UltraGear OLED 32GS95UV-B (à commander)**

Moniteur OLED 4K haut de gamme, choisi pour sa qualité d'affichage et sa précision énergétique. Deux unités seront utilisées afin de garantir la fiabilité des mesures.



Figure 5

▶ **Steffen Numérique T13/T12 (à commander)**

Wattmètre numérique permettant de mesurer avec précision la puissance, la tension, le courant, la fréquence et la consommation énergétique cumulée. L'appareil est programmable pour assurer des relevés constants.



Figure 6

▶ **Application web avec outils de tests (à développer)**

Une web app personnalisée sera développée pour effectuer les tests de consommation. Elle proposera notamment :

- des affichages de couleurs unies (noir, blanc, rouge, vert, bleu),
- une analyse énergétique automatique de sites web,
- un indicateur énergétique basé sur l'usage du mode sombre.

#### 3.1.2 Protocole de test

L'expérimentation sera divisée en deux phases :

▶ **Phase 1 : Tests sur écran LCD**

Moins prometteuse en termes de résultats, cette phase vise à confirmer

l'hypothèse selon laquelle les couleurs affichées n'ont qu'un impact minime sur la consommation énergétique des écrans LCD, en raison de leur rétroéclairage constant.

► **Phase 2 : Tests sur écran OLED**

Cette phase devrait révéler des différences bien plus marquées, les écrans OLED permettant d'allumer ou d'éteindre chaque pixel indépendamment selon la couleur affichée.

Déroulement standard d'un test :

1. Brancher l'outil de mesure Steffen entre l'alimentation et l'écran.
2. Afficher successivement cinq couleurs pleines via l'outil de test :
  1. Noir
  2. Blanc
  3. Rouge
  4. Vert
  5. Bleu
3. Relever les données de consommation (en W) pour chaque couleur, en retenant la valeur stable.
4. Inscrire les données dans un tableau Numbers.
5. Comparer et visualiser les écarts à l'aide de graphiques.
6. Refaire les mêmes tests sur les deux technologies pour comparaison directe.

Tous les tests seront effectués dans un environnement stable (pièce à 23°C, sans lumière directe).

### **3.1.3 Type de données recueillies**

Les données collectées seront exprimées principalement en watts (W), puis converties si nécessaire en wattheures (Wh) ou kilowattheures (kWh) pour les analyses cumulées.

Les résultats seront compilés dans un fichier Numbers afin de faciliter les comparaisons, les calculs et la production de graphiques.

## 3.2 Limites et contraintes

### **3.2.1 Contraintes matérielles**

Le matériel utilisé dépend en grande partie des moyens financiers disponibles. Il s'agit d'un investissement personnel, à la fois pour ce projet et pour l'environnement de travail à long terme.

C'est pourquoi les écrans choisis couvrent deux extrêmes :

- ▶ un écran OLED haut de gamme récent,
- ▶ un écran LCD d'entrée de gamme déjà en possession.

L'idéal aurait été de comparer deux écrans similaires (même gamme, même génération), mais cela n'est pas réalisable dans le cadre de ce mémoire.

### **3.2.2 Contraintes méthodologique**

Du fait des différences de spécifications techniques entre les écrans (résolution, taux de rafraîchissement, technologie), les résultats peuvent être biaisés.

Par exemple, l'écran OLED utilisé affiche en 4K à 240 Hz, tandis que l'écran LCD est limité à 1080p et 165 Hz. Cela implique une consommation de base bien plus élevée côté OLED, indépendamment des couleurs affichées. Cette contrainte devra être prise en compte lors de l'interprétation des résultats.

### **3.2.3 Biais possibles**

Plusieurs biais peuvent influencer les résultats :

- ▶ Biais de contexte : les tests sont réalisés dans un environnement contrôlé mais non totalement stérile (lumière ambiante, température, stabilité électrique).
- ▶ Biais d'échantillon : le nombre limité d'écrans testés ne permet pas une généralisation à l'ensemble des écrans LCD ou OLED du marché.

- ▶ Biais de mesure : les wattmètres ont une précision limitée. Une marge d'erreur doit être anticipée.
- ▶ Biais de variation : certains écrans ajustent automatiquement leur luminosité ou leur intensité selon les images affichées. Cela peut fausser certains relevés sans que cela soit immédiatement visible.

### 3.3 Objectifs et implications

#### **3.3.1 But**

Ce travail vise à démontrer que l'utilisation combinée d'écrans OLED et d'un thème sombre, à grande échelle, peut réduire significativement l'impact énergétique d'une entreprise ou d'un particulier.

Il ne s'agit pas nécessairement de faire des économies financières à court terme — les écrans OLED restant coûteux — mais plutôt d'intégrer ces pratiques dans une démarche écoresponsable sur le long terme. À l'heure où la sobriété énergétique devient cruciale, l'optimisation visuelle des interfaces pourrait devenir un levier sous-estimé.

#### **3.3.2 Hypothèses de départ**

Sur un écran OLED, chaque pixel s'allume ou s'éteint indépendamment, contrairement aux écrans LCD qui utilisent un rétroéclairage global.

L'hypothèse est donc que :

- ▶ Sur OLED, les couleurs sombres réduisent la consommation énergétique de manière significative.
- ▶ Sur LCD, l'impact des couleurs est négligeable puisque la lumière est produite uniformément, indépendamment de ce qui est affiché.

Si ces hypothèses se confirment, les résultats pourraient éveiller l'intérêt d'entreprises soucieuses de leur empreinte numérique.

#### **3.3.3 L'impact possible des résultats et l'influence des pratiques**

Si les résultats révèlent des écarts de consommation importants, cela pourrait avoir des conséquences concrètes dans le choix :

- ▶ du matériel informatique mis à disposition des employés,
- ▶ des couleurs utilisées dans les applications ou interfaces internes,
- ▶ voire même des consignes de design imposées aux équipes techniques.

Du côté des particuliers, les résultats pourraient aussi avoir un impact.

Dans un usage quotidien, notamment sur smartphones (généralement équipés d'écrans OLED), le mode sombre pourrait devenir une habitude utile à la fois pour l'autonomie de la batterie et pour des raisons environnementales.

Il est d'ailleurs observé que certains utilisateurs, sensibles à la faible autonomie de leur appareil, adoptent spontanément le mode sombre et des fonds d'écran noirs pour optimiser leur consommation.

Ce comportement — déjà adopté dans le cadre de ce mémoire — illustre à petite échelle l'intérêt pratique de cette étude.

## 4. **Media project**

### 4.1 Objectifs du projet

Ce projet média a pour vocation de proposer un outil web complet et fonctionnel, permettant d'explorer de manière rigoureuse les différents cas de figure liés aux tests de consommation effectués sur les écrans. Il a pour but d'accompagner les utilisateurs dans la réalisation de leurs propres mesures, grâce à un tutoriel intégré expliquant comment procéder aux tests et interpréter les résultats obtenus.

Dans un second temps, l'objectif est également de sensibiliser les développeurs à l'intérêt d'intégrer davantage le mode sombre dans leurs conceptions. Pour ce faire, un module d'analyse de sites web sera ajouté. L'utilisateur pourra y renseigner une URL, lancer une analyse automatique qui évaluera la proportion de couleurs claires ou sombres affichées à l'écran, puis obtenir un indice énergétique symbolisant l'impact visuel du site sur les écrans OLED.

L'idée est d'encourager des choix de design plus réfléchis, non seulement d'un point de vue esthétique, mais aussi écologique.

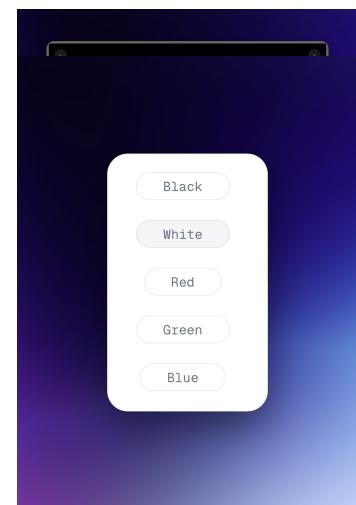
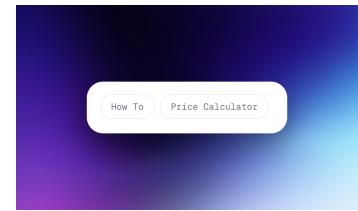
## 4.2 Première itération : outil de test de couleurs

### **4.2.1 Description**

L'outil web développé, intitulé Color Stresser, se présente comme une interface extrêmement épurée, pensée pour afficher en plein écran une couleur sélectionnée par l'utilisateur. Les contrôles peuvent être masqués afin que seule la couleur souhaitée s'affiche à l'écran, sans distraction.

En bas de l'interface, un panneau de boutons donne accès aux différentes fonctionnalités, notamment un outil de calcul permettant d'estimer le coût énergétique à partir des valeurs mesurées avec un wattmètre.

L'interface se veut intuitive, minimaliste et accessible. L'accent est mis sur l'efficacité et la clarté.



### **4.2.2 Fonctionnalités développées**

- ▶ Sélecteur de couleurs : Les cinq premiers boutons permettent de commuter entre les couleurs de test principales :
  - Blanc (255,255,255) — représente l'activation maximale des trois couleurs primaires
  - Noir (0,0,0) — absence de lumière
  - Rouge, Vert, Bleu — les trois composantes de base du RGB
- ▶ Mode "Flashing" : Une fonctionnalité optionnelle permet de faire alterner rapidement une couleur et sa couleur opposée (inversée). Ce mode, bien que non utilisé dans les tests présentés ici, a été intégré pour répondre à de futurs besoins expérimentaux.
- ▶ Overlays interactifs :

- "How To" : guide pratique expliquant comment connecter les outils, effectuer des mesures fiables et interpréter les résultats.
- "Price Calculator" : permet d'estimer le coût énergétique d'un écran à partir des données mesurées, et même de comparer deux situations ou deux appareils.

Ces deux pages apparaissent sous forme d'overlays, sans quitter la page principale, afin de faciliter la prise de notes et les manipulations durant les tests.

- ▶ Multi-devises : L'outil de calcul propose six devises parmi les plus courantes, pour que chacun puisse évaluer les coûts dans sa propre région.
- ▶ Mode comparaison : Ce mode optionnel permet de comparer deux résultats côte à côte, et de faire ressortir les différences de manière claire grâce à des encadrés supplémentaires.
- ▶ Anti-mise en veille : Le site empêche la mise en veille automatique de l'ordinateur, fonctionnalité particulièrement utile lors des tests longs (ex. : sur 10 minutes). Un petit message discret confirme l'activation de cette fonction.

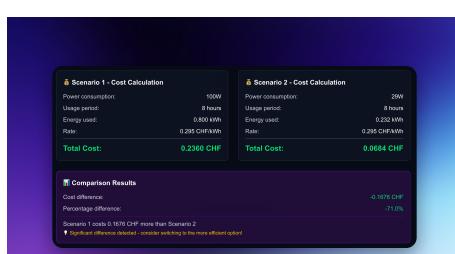
#### **4.2.3 Démonstration et captures**

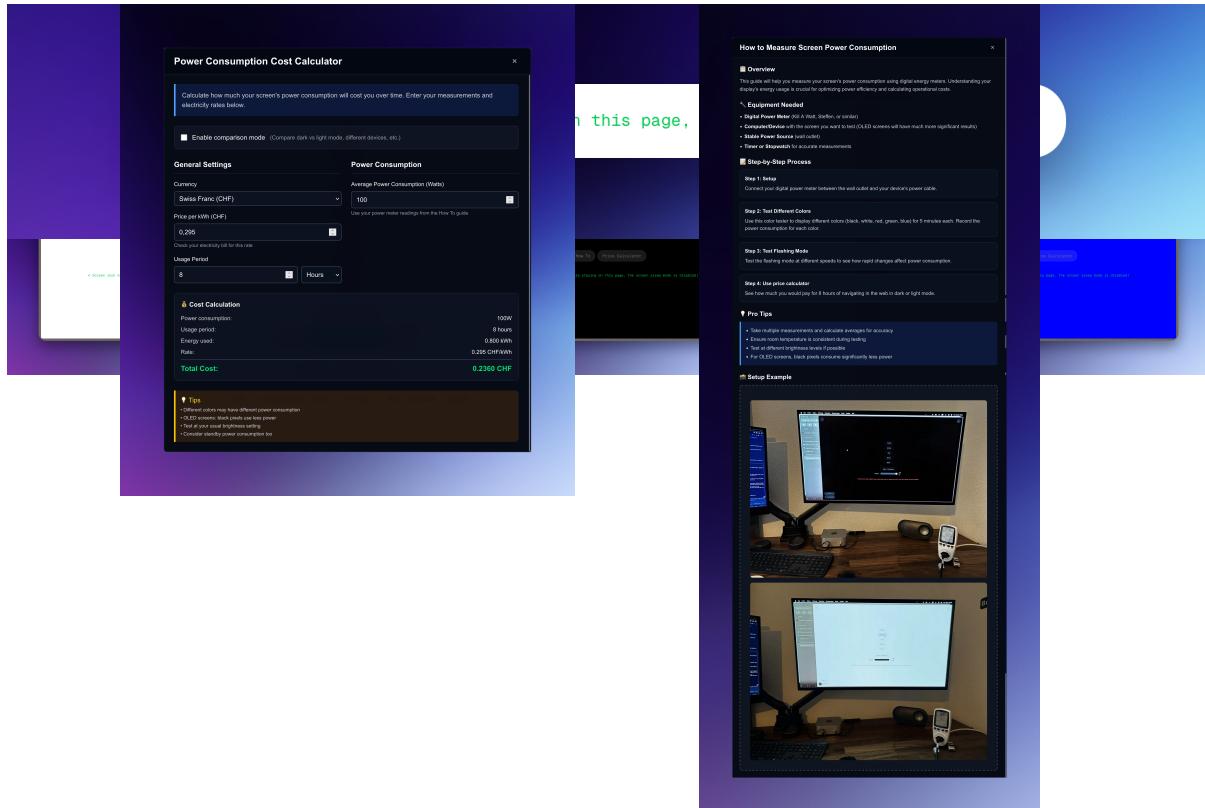
Des captures d'écran des différentes fonctionnalités sont disponibles pour illustrer l'interface et le fonctionnement de l'application.

#### **4.2.4 Limites actuelles de l'outil**

À ce stade de son développement, l'outil reste relativement simple et se concentre sur les fonctionnalités de base. Cette simplicité est aussi sa force : il va droit au but et reste accessible à tous. Cependant, plusieurs limitations importantes sont à souligner.

L'une des principales contraintes est l'absence d'intégration directe avec un wattmètre numérique. Cela oblige l'utilisateur à effectuer les mesures





manuellement et à reporter les données dans l'outil, ce qui représente à la fois une source potentielle d'erreurs et une perte de temps. Dans une évolution future, il serait intéressant d'envisager une communication directe entre l'appareil de mesure et l'application web, permettant ainsi une collecte automatique des données, des calculs dynamiques, voire des recommandations personnalisées en fonction des résultats.

L'autre limitation majeure réside dans la dépendance au matériel physique. Utiliser un wattmètre externe reste aujourd'hui indispensable pour obtenir des données précises de consommation énergétique. Or, ce type de mesure est difficile — voire impossible — à obtenir directement depuis un ordinateur portable, une tablette ou un smartphone. Même sur les appareils modernes intégrant des capteurs sophistiqués, l'accès à des informations détaillées sur la consommation des écrans reste très limité, voire inaccessible sans accès système profond ou matériel spécialisé.

## 4.3 Deuxième itération : analyseur de sites web

### **4.3.1 Description**

Cette seconde version de l'application prend une nouvelle dimension : elle ne se limite plus aux tests physiques de couleurs sur écran, mais s'ouvre désormais à l'analyse automatisée de sites web. L'interface d'accueil propose désormais trois options principales :

- ▶ **Color Stresser** : outil issu de la première itération, qui permet de tester l'impact des couleurs affichées à l'écran.
- ▶ **Website Tester** : nouvel outil permettant d'évaluer l'usage des couleurs sombres ou claires sur un site web donné.
- ▶ **Support** : lien vers une page de don via PayPal.me, pour soutenir le projet.

Le nom de l'application évolue également pour devenir **Color Tools**, avec l'objectif de centraliser plusieurs outils dédiés à la sobriété énergétique à l'écran.

La nouvelle fonctionnalité "Website Tester" permet à l'utilisateur d'entrer une URL dans un champ dédié, de lancer l'analyse, puis d'obtenir un retour visuel et statistique concernant l'usage des couleurs sur ce site.

Concrètement, l'outil effectue une capture d'écran de la page analysée, extrait chaque pixel de l'image, et évalue pour chacun s'il s'agit d'une couleur claire ou sombre. À partir de là, un score d'efficacité énergétique est calculé, en lien direct avec l'utilisation de couleurs sombres — particulièrement pertinentes pour les écrans OLED.

### **4.3.2 Fonctionnalités développées**

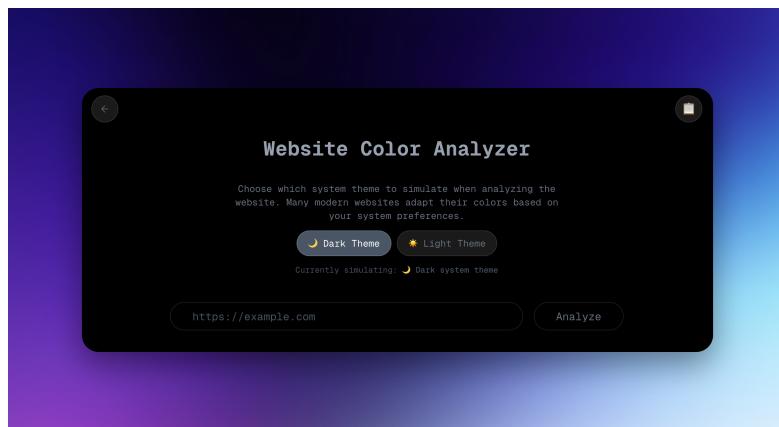
Le déploiement de cet outil a nécessité une architecture plus robuste. Initialement prévu pour fonctionner de manière serverless (hébergé sur Vercel), les limites de temps d'exécution des fonctions cloud (30 secondes) ont rapidement montré leurs limites. L'analyse étant gourmande en ressources, un backend dédié a été mis en place.

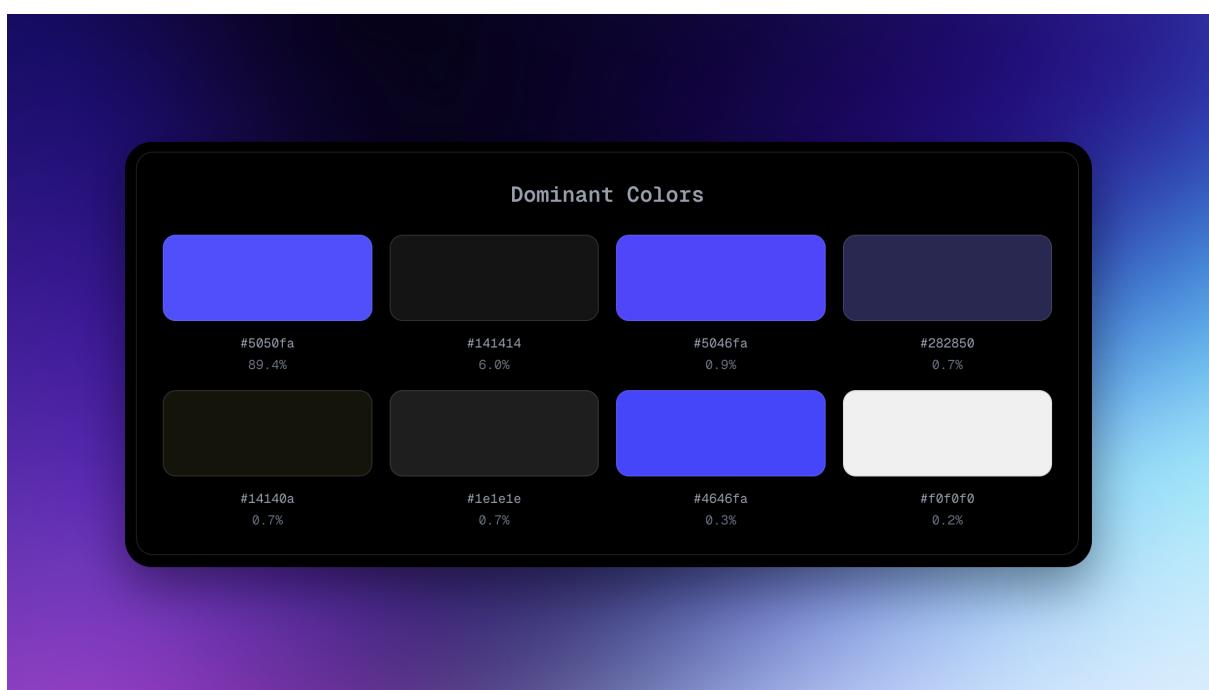
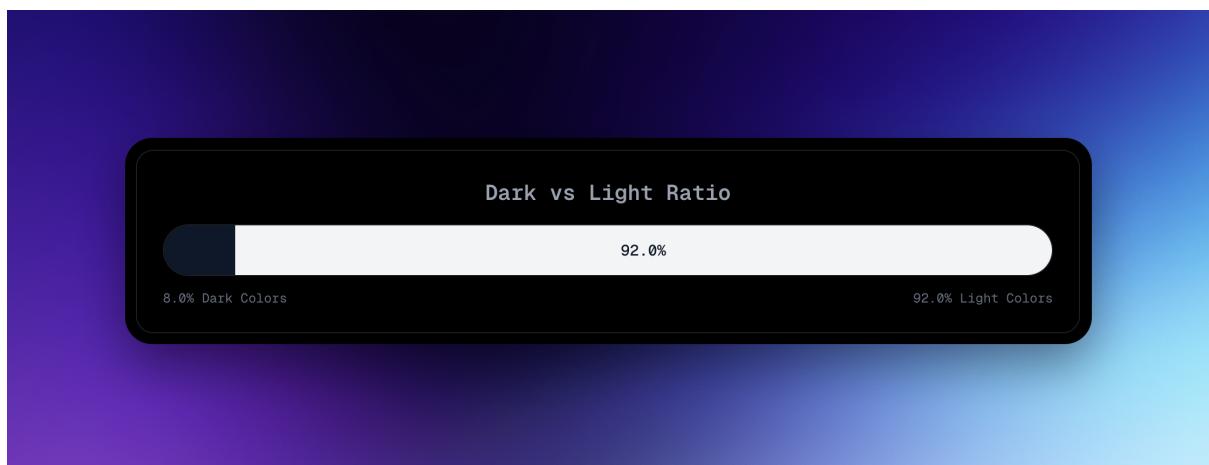
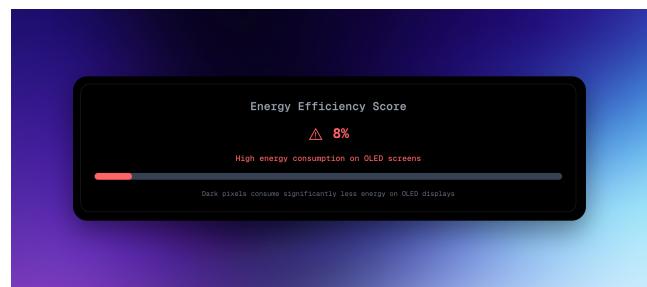
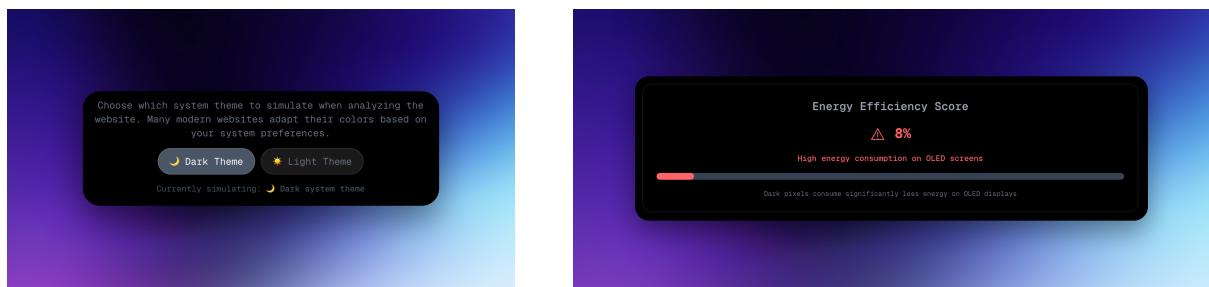
- ▶ **Backend Node.js privé** : hébergé sur une machine locale via Docker, ce backend utilise la librairie Puppeteer pour capturer les pages web.

- ▶ **Optimisation des performances** : ajustement de la qualité des captures d'écran, compression des images, et gestion fine des paramètres d'analyse pour réduire le temps d'exécution tout en conservant la fiabilité des résultats.
- ▶ **Simulation de thème système** : l'outil peut simuler un système en mode clair ou sombre, afin de vérifier si le site analysé s'adapte au thème ou en force un en particulier.
- ▶ **Algorithme d'analyse de couleurs** : détection et classification des pixels en catégories « sombres » ou « claires », permettant de calculer un ratio précis et un score global.
- ▶ **Enregistrement local des résultats** : les analyses précédentes sont conservées localement sur le navigateur, permettant de consulter ou comparer les résultats ultérieurement sans relancer une analyse.
- ▶ **Capture d'écran en direct** : affichée directement sur la page de résultats, elle permet à l'utilisateur de vérifier visuellement que l'analyse a bien porté sur la page attendue.
- ▶ **Score d'efficacité énergétique** : indicateur principal affiché en haut de page, basé sur le pourcentage de couleurs sombres utilisées.
- ▶ **Ratio clair/sombre** : pourcentage de couleurs sombres vs. couleurs claires.
- ▶ **Couleurs dominantes** : liste des 8 couleurs les plus utilisées sur le site, avec leur proportion.
- ▶ **Résumé technique :**
  - Nombre total de couleurs uniques détectées
  - Pourcentage de la couleur dominante
  - Mode par défaut détecté sur le site (clair, sombre, ou adaptatif)

### 4.3.3 Démonstration et captures

Des captures d'écran accompagnent cette section pour illustrer le fonctionnement de l'analyseur, son interface, les résultats produits et les différents éléments visuels générés lors d'une analyse complète.





#### 4.2.4 Limites actuelles de l'outil

Malgré ses nombreuses fonctionnalités, cette deuxième itération présente encore certaines limitations importantes.

- ▶ **Manque de transparence algorithmique** : le système ne fournit pas encore de documentation expliquant comment il détermine qu'une couleur est « claire » ou « sombre ». Cela peut nuire à la confiance de l'utilisateur dans la pertinence des scores affichés. Une page dédiée à ces explications est à envisager.
- ▶ **Absence de base de données** : pour l'instant, les résultats sont stockés uniquement en local (dans le navigateur de l'utilisateur). L'ajout d'un système cloud ou de liens de partage générés par UUID serait une amélioration notable.
- ▶ **Performance et temps d'attente** : les analyses restent relativement longues (~20 secondes), notamment car l'outil est conçu pour rester gratuit et auto-hébergé. Cette contrainte limite l'utilisation de ressources, ce qui impacte directement la rapidité et la précision, en particulier pour les contenus lourds (images, vidéos...).
- ▶ **Non-analyse des images** : à ce stade, les images intégrées dans les pages web ne sont pas prises en compte dans l'analyse colorimétrique, ce qui peut affecter légèrement la représentativité du score final sur certaines pages très visuelles.

## 5. Présentation des résultats

### 5.1 Résultats expérimentaux : consommation des écrans selon les couleurs

#### 5.1.1 Protocole de test (rappel synthétique)

Les tests ont été effectués sur deux types d'écrans distincts : un écran LCD classique et un écran OLED. Pour chaque appareil, cinq couleurs unies (blanc, noir, rouge, vert et bleu) ont été affichées successivement pendant 10 minutes chacune. À l'aide d'un wattmètre, la consommation en watts a été relevée toutes les minutes. Une moyenne a ensuite été calculée pour chaque couleur, permettant de convertir les données en Wh, puis d'extrapoler un coût journalier pour une journée de travail de 8h30. Deux scénarios ont été envisagés : un environnement de petite entreprise (10 employés) et un autre dans une grande structure (100 employés).

## 5.1.2 Données collectées

- **Phase 1 :** Tests sur un écran LCD

Écran	Phase	Couleur affichée à l'écran	Mesure moyenne (W)	Consommation / 10m (Wh)	Consommation / 10m (kWh)	Prix (8h30, 1 personne)	Consommation (8h30, 1 personne)	Prix (8h30, 10 employés)	Consommation PME (8h30, 10 employés)	Prix (8h30, 100 employés)	Consommation PME (8h30, 100 employés)
PHILIPS ENVIA 300 LCD	Phase 1	Noir	22,9 Watts	3,82 Wh	0,003817 kWh	CHF 0,056	0,1947 kWh/jour	0,56 CHF/jour	1,9465 kWh/jour	5,63 CHF/jour	19,465 kWh/jour
PHILIPS ENVIA 300 LCD	Phase 1	Blanc	23,1 Watts	3,85 Wh	0,00385 kWh	CHF 0,057	0,1964 kWh/jour	0,57 CHF/jour	1,9635 kWh/jour	5,67 CHF/jour	19,635 kWh/jour
PHILIPS ENVIA 300 LCD	Phase 1	Rouge	24 Watts	4 Wh	0,004 kWh	CHF 0,059	0,204 kWh/jour	0,59 CHF/jour	2,04 kWh/jour	5,9 CHF/jour	20,4 kWh/jour
PHILIPS ENVIA 300 LCD	Phase 1	Vert	23,6 Watts	3,93 Wh	0,003933 kWh	CHF 0,058	0,2006 kWh/jour	0,58 CHF/jour	2,006 kWh/jour	5,8 CHF/jour	20,06 kWh/jour
PHILIPS ENVIA 300 LCD	Phase 1	Bleu	24 Watts	4 Wh	0,004 kWh	CHF 0,059	0,204 kWh/jour	0,59 CHF/jour	2,04 kWh/jour	5,9 CHF/jour	20,4 kWh/jour

■ Écran Mesure moyenne (W)

100 Watts

75 Watts

50 Watts

25 Watts

0 Watts

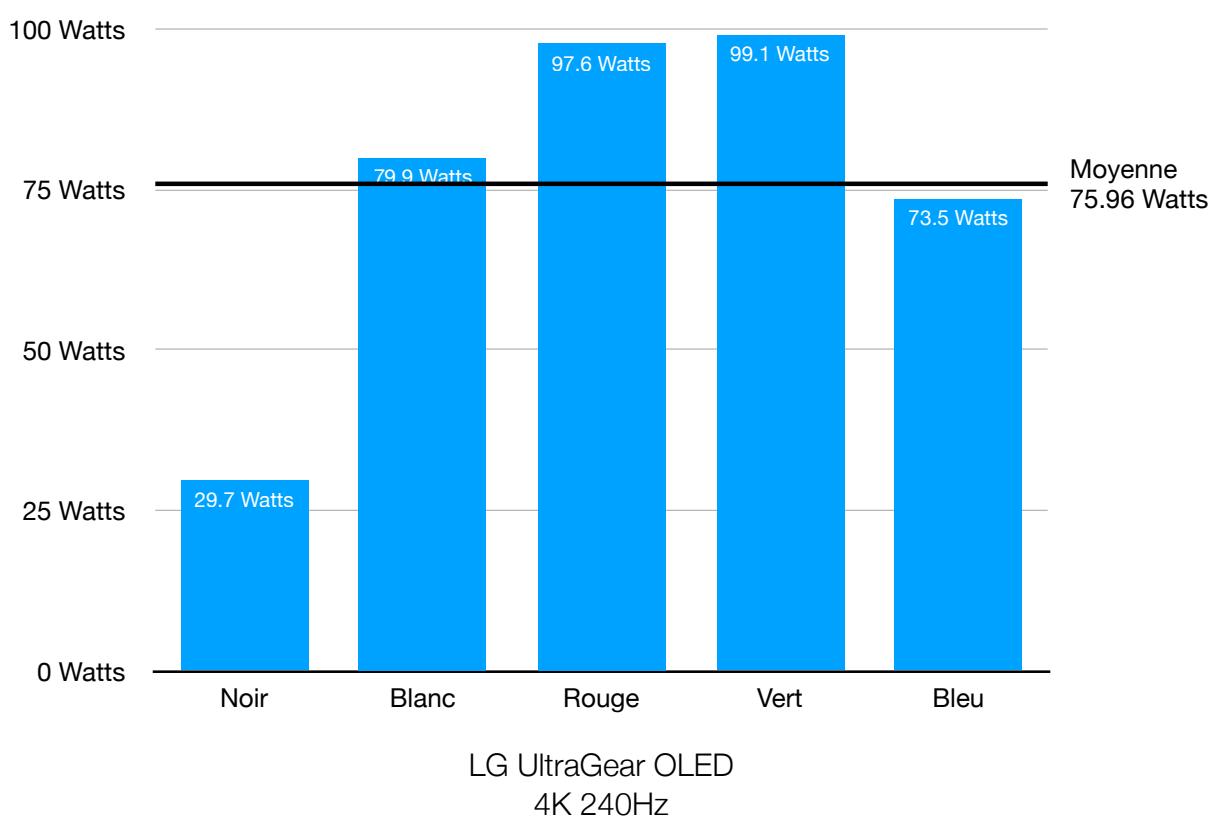
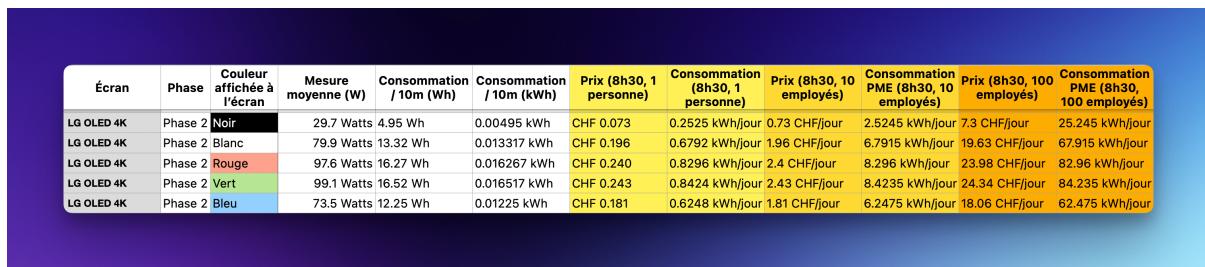
Philips Envia 300 LCD

1080 120Hz

Moyenne  
23,52 Watts

Noir      Blanc      Rouge      Vert      Bleu

► **Phase 2 : Tests sur un écran OLED**



### 5.1.3 Analyse des résultats

Les résultats confirment globalement l'hypothèse formulée en amont, tout en mettant en lumière les limites techniques du protocole. Le moniteur LCD, de petite taille, avec une résolution modérée et un taux de rafraîchissement standard, affiche une consommation globale assez faible. Surtout, le changement de couleur à l'écran n'a quasiment aucun effet sur la consommation énergétique, ce qui valide l'idée que l'éclairage de fond reste constant, indépendamment du contenu affiché.

En revanche, l'écran OLED montre des écarts bien plus marqués. Sans surprise, le noir est la couleur la moins énergivore : les pixels étant totalement éteints, la consommation baisse de manière significative — jusqu'à 30 % de moins que la couleur la plus gourmande. Ce résultat est notable et dépasse même les attentes initiales.

Contre toute attente, ce n'est pas le blanc qui consomme le plus, mais le vert, suivi de près par le rouge, puis le blanc. Cette hiérarchie peut paraître étonnante, surtout dans la mesure où l'on associe souvent le blanc à une activation maximale des pixels.

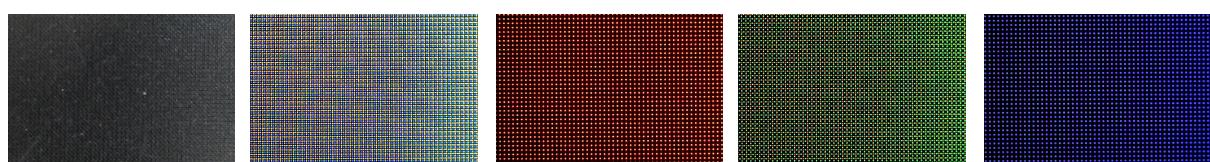
Pourquoi le vert et le rouge consomment-ils plus que le blanc ?

Sur les dalles OLED, chaque pixel est composé de sous-pixels rouges, verts et bleus (technologie RGB ou WRGB selon les marques). Les sous-pixels verts, notamment, sont souvent plus grands ou plus lumineux pour compenser leur moindre efficacité lumineuse ou pour améliorer la clarté générale des images. Cela peut entraîner une surtension ou un courant plus élevé dans certaines conditions.

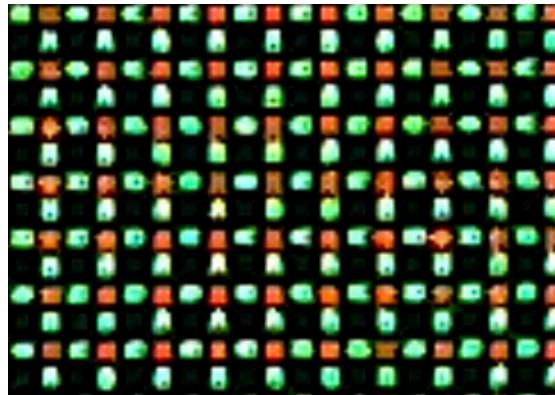
Par ailleurs, la structure de sous-pixels peut varier d'un fabricant à l'autre. Sur certains écrans (notamment chez LG avec les OLED WRGB), le blanc est généré non pas en combinant R+G+B mais à l'aide d'un sous-pixel blanc dédié, ce qui rend son affichage paradoxalement plus efficace qu'un vert ou rouge intense. Cela pourrait expliquer pourquoi, dans nos mesures, le blanc ne ressort pas comme la couleur la plus coûteuse.

#### 5.1.4 Pourquoi le vert consomme le plus

Face à un résultat surprenant et apparemment incohérent — une consommation plus élevée pour la couleur verte que pour le blanc — une analyse plus poussée a été entreprise à l'aide d'un microscope numérique, sur un écran OLED d'iPhone 15 Pro.



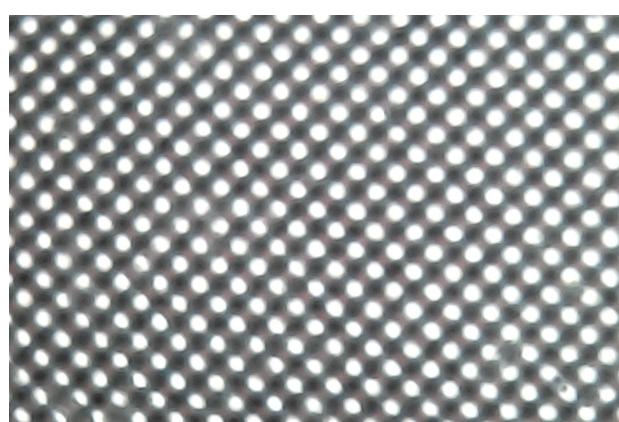
Cette inspection a permis de constater qu'en affichant la couleur verte, ce ne sont pas uniquement les diodes vertes qui s'allument, mais également les rouges. Ce phénomène semble spécifique à cette couleur, et n'a pas été observé lors de l'affichage d'autres teintes unies.



Ce comportement inattendu pourrait expliquer la surconsommation énergétique du vert, puisque deux groupes de diodes sont activés au lieu d'un seul. Il s'agirait donc non pas d'un bug, mais d'un choix technique ou d'un effet optique visant à améliorer la fidélité de la couleur verte ou sa luminosité perçue. Cela reste à confirmer sur d'autres dalles et par des experts du domaine.

### 5.1.5 Pourquoi le blanc ne consomme pas plus

Un second constat étonnant est apparu concernant la consommation de la couleur blanche, qui, contrairement à ce que l'on pourrait penser, ne représente pas la couleur la plus énergivore sur cet écran OLED.



L'observation au microscope a montré que, lorsqu'un blanc pur est affiché, une diode supplémentaire, distincte des classiques sous-pixels rouge, vert et bleu, entre en jeu. Cette diode blanche dédiée permet d'obtenir un rendu lumineux global sans avoir à allumer intensément les trois autres. Ainsi, le blanc est

produit plus efficacement, ce qui peut expliquer pourquoi il consomme légèrement moins d'énergie que des couleurs intenses comme le vert ou le rouge.

Ce système est typique des dalles OLED de type WRGB, utilisées notamment par Apple sur certains de leurs écrans haut de gamme, et qui incluent une sous-diode blanche en plus du trio RVB traditionnel. Ce choix permet non seulement d'économiser de l'énergie, mais également d'obtenir un rendu des blancs plus naturel et moins saturé.

## 5.2 Résultats du sondage : périphériques des utilisateurs

### **5.2.1 Méthodologie du sondage**

Le sondage a été réalisé à l'aide de Google Forms et diffusé via les réseaux sociaux, au sein d'un cercle personnel. Au total, **29 participants** ont répondu aux différentes questions. L'échantillon est composé de personnes âgées de **17 à 49 ans**, avec une **légère majorité d'hommes** (48%).

### **5.2.2 Données récoltées**

Le questionnaire comportait une **question principale**, suivie de questions conditionnelles selon les réponses. Les participants devaient indiquer s'ils possédaient les appareils suivants :

- ▶ Avez-vous un smartphone ?
- ▶ Avez-vous un ordinateur portable ?
- ▶ Avez-vous un ordinateur de bureau ?

Pour chaque réponse affirmative, les participants étaient invités à compléter un ensemble de questions spécifiques au type d'appareil :

- ▶ **Marque et modèle**
- ▶ **Mon (périphérique) a un écran OLED**
- ▶ **J'utilise mon (périphérique) pour naviguer sur internet**
  - Jamais

- Rarement

- Parfois

- Souvent

- Très souvent

► **J'utilise le mode sombre sur mon (périphérique)**

- Toujours activé

- Activé selon l'heure automatiquement

- Je l'active parfois manuellement

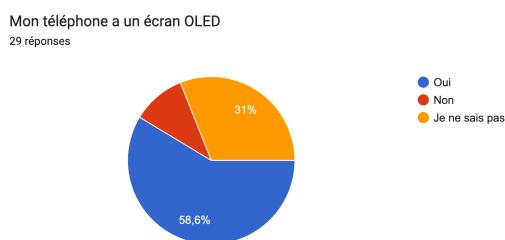
- Je ne l'utilise jamais

- Je ne sais pas ce que c'est

### 5.2.3 Analyse des réponses

#### Smartphones — une omniprésence du OLED

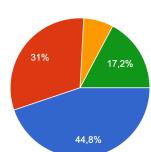
Sans surprise, tous les participants possèdent un smartphone. Concernant la technologie d'écran, 59 % déclarent avoir un écran OLED, tandis que 10 % affirment ne pas en avoir. Cependant, 31% des répondants ne savent pas quel type d'écran ils possèdent. En recoupant leurs réponses avec les modèles indiqués, il s'avère que 7 de ces 9 répondants ont effectivement un écran OLED, ce qui porte la proportion d'utilisateurs OLED à 83 %. Après avoir corrigé une incohérence dans les réponses (une personne ayant répondu « non » alors qu'elle possède un OLED), le total atteint 86 % – une majorité écrasante.



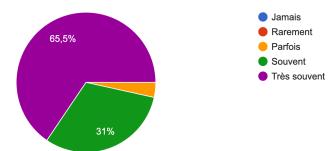
#### Smartphones — usage intensif d'internet et préférence marquée pour le mode sombre

L'usage du smartphone pour la navigation web est généralisé : 65 % des personnes interrogées l'utilisent « très souvent » à cette fin, et 31 % « souvent ». Il s'agit donc d'un usage central. Plus intéressant encore, le mode sombre est massivement adopté : 45 % l'ont toujours activé, et 31 % utilisent l'activation automatique en fonction de l'heure. Ce comportement est d'autant plus marquant que les appareils sont, par défaut, configurés en mode clair. Ce choix relève-t-il d'un souci écologique, d'un confort visuel ou simplement d'un goût esthétique ? La question reste ouverte, mais le résultat témoigne d'une appropriation active des paramètres d'affichage.

J'utilise le mode sombre sur mon téléphone  
29 réponses



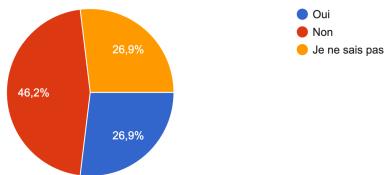
J'utilise mon téléphone pour naviguer sur internet  
29 réponses



## Ordinateurs portables — adoption modérée de l'OLED

Parmi les répondants, 90 % possèdent un ordinateur portable, mais seuls 27 % déclarent avoir un écran OLED. Pour les réponses incertaines (« je ne sais pas »), il a été difficile de trancher dans tous les cas, faute de précisions suffisantes sur la marque ou le modèle. Néanmoins, la majorité de ces cas semblent concerner des MacBook, qui, à l'heure actuelle (2025), ne disposent pas encore d'écran OLED. On peut donc raisonnablement estimer que la proportion réelle est encore inférieure à 27 %.

Mon ordinateur portable a un écran OLED  
26 réponses

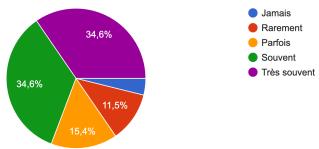


## Ordinateurs portables — navigation fréquente mais mode sombre peu adopté

L'utilisation du portable pour accéder à internet est relativement élevée, bien que moins unanime que sur smartphone : 35 % l'utilisent très souvent, et 35 % souvent, soit une majorité de deux tiers. En revanche, l'usage du mode sombre

est nettement plus dispersé. 46 % ne l'utilisent jamais, et en incluant ceux qui l'activent manuellement à l'occasion, ce chiffre monte à 50 %. Seuls 35 % l'ont toujours activé, un taux qui reste significatif mais bien inférieur à celui observé sur smartphone.

J'utilise mon ordinateur portable pour naviguer sur internet  
26 réponses



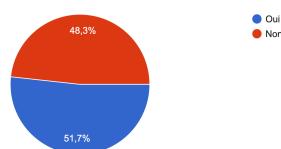
J'utilise le mode sombre sur mon ordinateur portable  
26 réponses



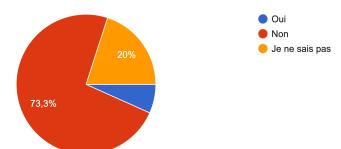
## Ordinateurs de bureau — minorité d'utilisateurs, aucun écran OLED

Les ordinateurs fixes sont moins courants parmi les répondants : seulement 52 % en possèdent un. En ce qui concerne les écrans OLED, le constat est clair : aucun participant ne possède un écran OLED sur son ordinateur de bureau. Les rares réponses affirmatives (« oui » ou « je ne sais pas ») ont été vérifiées, et après validation des modèles, 100 % des appareils sont équipés d'écrans LCD. Ce résultat reflète l'état du marché, où l'OLED reste encore peu répandu dans les configurations desktop.

J'ai un ordinateur fixe  
29 réponses



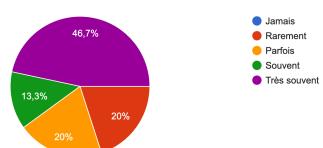
Mon ordinateur fixe a un écran OLED  
15 réponses



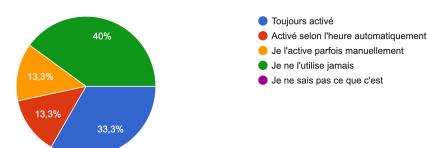
## Ordinateurs de bureau — un usage fréquent d'internet malgré une faible personnalisation

Les utilisateurs d'ordinateurs de bureau sont pourtant actifs : 47 % les utilisent très souvent pour naviguer, et 13 % souvent. Cela rend d'autant plus significatif le constat que seulement 33 % utilisent toujours le mode sombre, 13 % l'activent automatiquement, et 40 % ne l'utilisent jamais. On observe donc une personnalisation bien plus limitée que sur smartphone, malgré un usage régulier.

J'utilise mon ordinateur fixe pour naviguer sur internet  
15 réponses



J'utilise le mode sombre sur mon ordinateur fixe  
15 réponses





## Terminologie

1. **OLED (Organic Light-Emitting Diode)** : Technologie d'affichage où chaque pixel émet sa propre lumière grâce à des composés organiques. Permet des noirs parfaits, un contraste élevé et des écrans très fins. Principalement utilisée dans les smartphones haut de gamme, téléviseurs et certains moniteurs professionnels.
2. **LCD (Liquid Crystal Display)** : Écrans plats fonctionnant grâce à un rétroéclairage passant à travers des cristaux liquides. Technologie dominante dans les écrans d'ordinateurs, téléviseurs et smartphones, appréciée pour sa faible consommation, sa finesse et sa production de masse.
3. **CRT (Cathode Ray Tube)** : Technologie d'affichage utilisant un faisceau d'électrons projeté sur un écran fluorescent. Couramment utilisée dans les téléviseurs et moniteurs jusqu'au début des années 2000, elle offre des couleurs naturelles et un temps de réponse très rapide, au prix d'un encombrement et d'une consommation énergétique élevés.
4. **Watts (W)** :
5. **Wattheures et Kilowattheures (Wh et kWh)** :

## Table des figures

1. How the RGB Model Creates Different Colors  
<https://amadine.com/useful-articles/rgb-vs-cmyk>
2. Hex Color - The Code Side Of Color  
<https://www.smashingmagazine.com/2012/10/the-code-side-of-color/>
- 3.

## Bibliographie

1. International Energy Agency. (2025). Global Energy Review 2025. IEA.  
<https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025/key-findings>

2. International Energy Agency. (2025). Electricity 2025. IEA. <https://www.iea.org/reports/electricity-2025>