



UNIVERSITÉ DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR

Compte rendu des travaux du
TP N°1

24 septembre 2024

UE : Numérique Responsable

Réalisé par :

M. ABADIE Gaël
M. ABECASSIS Hugo
M. ZOUHAIR Guilhem
M. COCHET Nicolas
M. ARRUZAS Eliot

Encadré par :

M. NOUREDDINE Adel

Table des matières

1	Introduction	3
2	Travaux Pratiques 1 : Mesures de l'énergie logicielle	3
2.1	Objectifs du TP	3
2.2	Matériels utilisés	3
2.3	Mesure au repos	4
2.3.1	Exécution du programme	4
2.4	Mesure en activité	5
2.4.1	Analyse des données	5
2.4.1.1	Navigateur firefox	6
2.4.1.2	Navigateur Google Chrome	6
2.4.2	Conclusion et comparaison des navigateurs	7
2.5	Génération de modèles de consommation d'énergie	8
2.5.1	Raspberry Pi 4	8
2.5.1.1	Analyse des benchmarks	8
2.5.1.2	Régression Linéaire	9
2.5.1.3	Régression Polynomiale	10
2.5.2	Modélisation pour les appareils Electroniques	10
2.5.2.1	Analyse de la consommation du moniteur	10
2.5.3	Conclusion sur la consommation du moniteur	12
2.6	Conclusion	13
2.7	Bibliographie	13

Table des figures

1	Liste du matériel utilisé	3
2	Console lors de l'exécution du programme	4
3	Mesure de la puissance au repos	5
4	Graphique d'analyse du navigateur firefox	6
5	Graphique d'analyse du navigateur Google Chrome	6
6	Graphique de comparaison de la consommation de puissance entre les navigateur	7
7	Terminal résumant les données des naivgateurs	7
8	Graphique du benchmark 1 - Raspberry Pi 4	8
9	Graphique du benchmark 2 - Raspberry Pi 4	9
10	Graphique du benchmark 3 - Raspberry Pi 4	9
11	Modèle de puissance - Raspberry Pi 4	10
12	Console lors de l'exécution du programme	11
13	Graphique de la consommation de l'écran avec une luminosité de 10%	11
14	Graphique de la consommation de l'écran avec une luminosité de 30%	11
15	Graphique de la consommation de l'écran avec une luminosité de 50%	12
16	Graphique de la consommation de l'écran avec une luminosité de 100%	12

1 Introduction

Dans le cadre de l'Unité d'Enseignement "**Numérique Responsable**" du cursus Master 2 Technologie de l'Internet à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, nous avons entrepris une série de travaux pratiques visant à prendre conscience de **l'impact environnemental des technologies numériques** et de comprendre comment **optimiser cet impact**.

En effet, plus nous avançons dans notre ère numérique, plus l'impact environnemental lié aux technologies devient préoccupant. Avec la montée en puissance des appareils connectés, des datacenters, du cloud, **la consommation énergétique du domaine numérique ne cesse de croître**. De plus, l'omniprésence des technologies dans nos vies entraîne également une augmentation constante de la demande en électricité, et donc des émissions de CO₂.

Il devient alors impératif de réfléchir à des stratégies pour réduire cette empreinte écologique.

L'objectif des travaux pratiques que nous menons est de sensibiliser à ces enjeux tout en explorant des solutions concrètes pour optimiser la consommation d'énergie des dispositifs électroniques.

2 Travaux Pratiques 1 : Mesures de l'énergie logicielle

2.1 Objectifs du TP

L'objectif principal de ce TP était de comparer la consommation énergétique de plusieurs navigateurs web (Mozilla Firefox, Google Chrome) et d'autres logiciels via des mesures de consommation au repos et en utilisation active. Nous avons également étudié la consommation de plusieurs appareils comme une carte Raspberry Pi 4 ou encore un moniteur d'ordinateur.

Pour toutes nos mesures, nous avons utilisé des outils de mesure précis, tels qu'un wattmètre et des logiciels de benchmark (*liste complète ici : [Matériels utilisés](#)*)

2.2 Matériels utilisés

- **Wattmètre** : Dispositif de mesure de la consommation énergétique
- **PowerJoular** : Logiciel utilisé pour capturer les données énergétiques
- **Navigateurs** : Mozilla Firefox, Google Chrome, Gnome Web
- **PowerSpyCli** : Système de capture des données énergétiques
- **Raspberry Pi 4** : Utilisé pour générer un modèle de consommation
- **Moniteur d'ordinateur** : Appareil non-informatique pour la génération de modèle



FIGURE 1 – Liste du matériel utilisé

2.3 Mesure au repos

Nous avons d'abord mesuré la consommation énergétique de base du système. Pour cela, l'ordinateur a été redémarré, et toutes les applications ont été fermées pour établir une ligne de base de consommation énergétique au repos.

A l'aide de PowerSpyCli[1], une capture des données énergétiques a été effectuée pendant 60 secondes. Les valeurs obtenus ont été enregistré dans un fichier au format .csv nommé "idle.csv", accessible ici https://github.com/Guiguizou/numerique_responsable/blob/main/tp1/part1/idle/idle.csv.

Par la suite, à l'aide d'un programme python et de la librairie matplotlib[2], nous avons pu générer un graphique représentant la puissance (en Watt) consommée en fonction du temps, qui est présenté dans la partie "2.3.1 Exécution du programme".

2.3.1 Exécution du programme

En exécutant notre programme python avec les données des mesures de la puissance au repos contenues dans le fichier "idle.csv", nous obtenons le résultat ci-dessous :

- **Puissance moyenne** : env. 22.58 W
- **Écart-Type** : env. 0.92 W

```
Aperçu des premières lignes du fichier CSV :
  Timestamp    Power
0  1726732265   20.830
1  1726732266   21.549
2  1726732267   23.281
3  1726732268   21.834
4  1726732269   23.405

Puissance moyenne : 22.583080645161292 W
Écart-type : 0.9168883640216322 W
```

FIGURE 2 – Console lors de l'exécution du programme

Le graphique ci-dessous illustre l'évolution de la puissance consommée (en Watt) par un ordinateur au repos, sur une durée de 60 secondes. On observe une variabilité importante dans la consommation énergétique au cours du temps, avec des fluctuations oscillant entre env. 20.8W et 24.03W. Ces variations, bien que l'ordinateur soit censé être au repos, pourraient être dues à des processus système en arrière-plan ou à des ajustements temporaires de l'alimentation pour maintenir la stabilité du système.

Néanmoins, on constate que la courbe tend à se stabiliser autour de 21.61W a 23.34W.

Ces données mettent également l'importance de surveiller et de mesurer la consommation énergétique, même en l'absence d'activité, il y a une consommation d'énergie qui peut s'avérer importante sur le long terme.

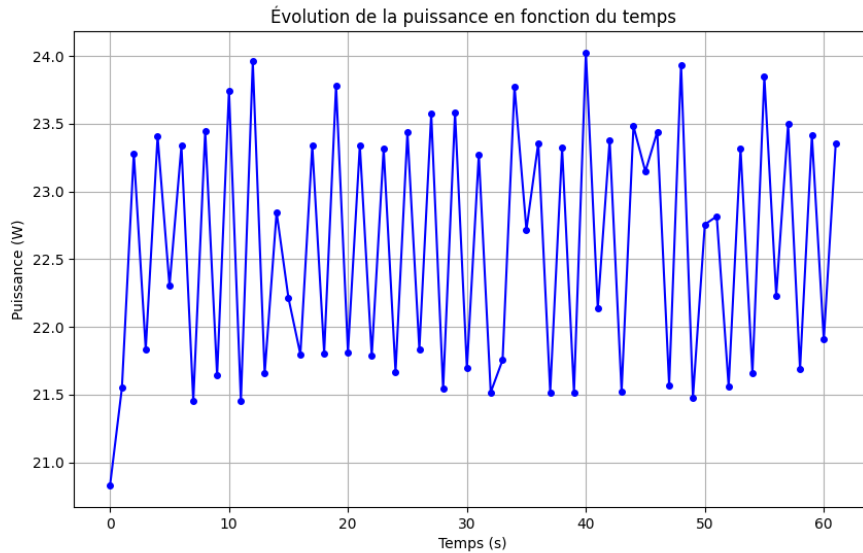


FIGURE 3 – Mesure de la puissance au repos

2.4 Mesure en activité

L'expérience a ensuite été répétée, mais, cette fois au lieu de laisser l'ordinateur au repos, nous allons mesurer sa consommation en activité. Pour ce faire, nous avons lu une vidéo spécifique dans plusieurs navigateurs (Google Chrome et Mozilla Firefox).

La vidéo est accessible ici <https://cdn.kde.org/promo/Announcements/Plasma/5.20/Video.webm>

En parallèle de la lecture de la vidéo, nous utilisons à nouveau PowerSpyCli[1]

Trois séries de mesures ont été effectuées pour chaque navigateur afin d'assurer la précision des résultats. Et chaque résultat des tests ont été exportés sous plusieurs fichiers au format CSV

- "firefox-1.csv", "firefox-2.csv" et "firefox-3.csv"
- "chrome-1.csv", "chrome-2.csv" et "chrome-3.csv"

2.4.1 Analyse des données

Toutes les données sont accessible ici : https://github.com/Guiguizou/numerique_responsable/tree/main/tp1/part1/browser

Le programme python ayant permis de réaliser ces mesures et graphiques est accessible ici https://github.com/Guiguizou/numerique_responsable/blob/main/tp1/part1/browser/browser1.py

2.4.1.1 Navigateur firefox

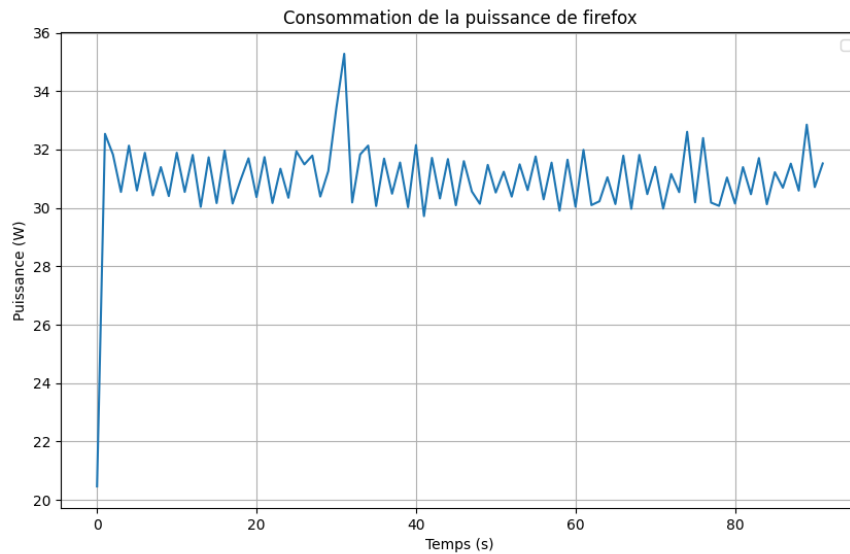


FIGURE 4 – Graphique d'analyse du navigateur firefox

Le graphique ci-dessus représente l'évolution de la consommation de puissance (en Watt) pour le navigateur Mozilla Firefox.

2.4.1.2 Navigateur Google Chrome

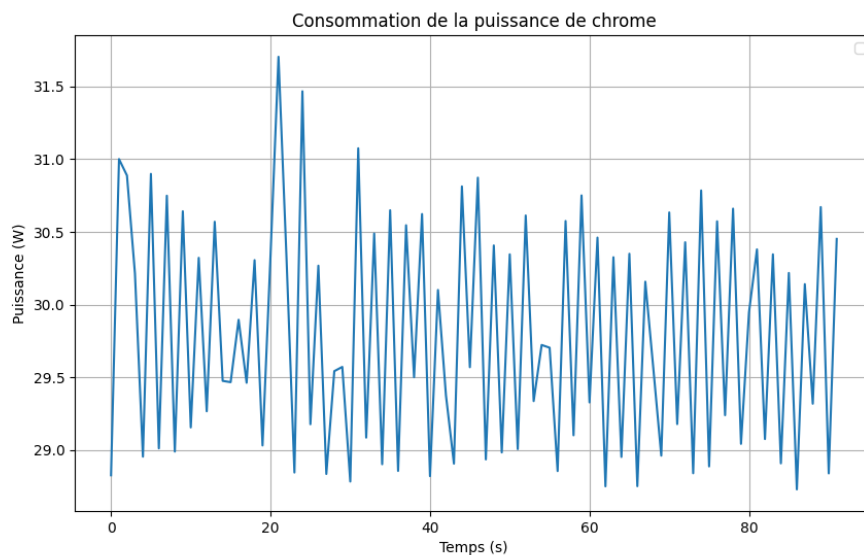


FIGURE 5 – Graphique d'analyse du navigateur Google Chrome

Le graphique ci-dessus représente l'évolution de la consommation de puissance (en Watt) pour le navigateur Google Chrome.

2.4.2 Conclusion et comparaison des navigateurs

Pour mieux visualiser quels navigateurs consomme le moins, on peut représenter nos résultats sous la forme d'un graphique avec le diagramme en bâton ci-dessous.

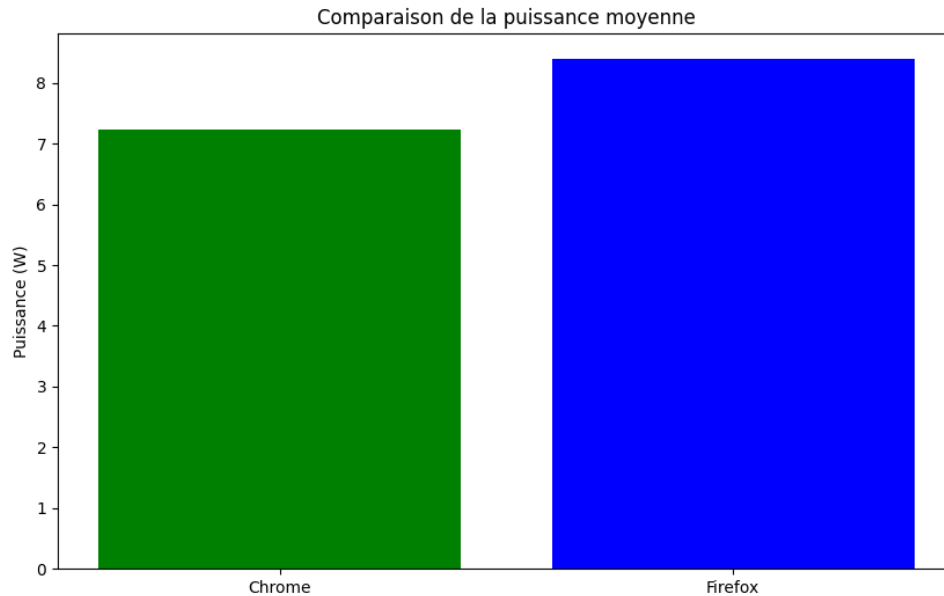


FIGURE 6 – Graphique de comparaison de la consommation de puissance entre les navigateur

On peut donc en déduire que Google Chrome semble être moins énergivore que Mozilla Firefox.

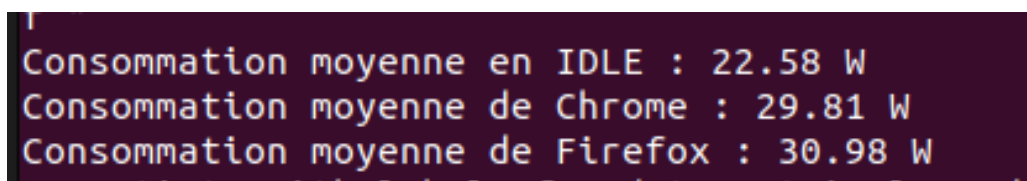


FIGURE 7 – Terminal résumant les données des naivgateurs

Enfin, pour terminer notre analyse sur cette partie, la figure 7 ci-dessus met en évidence la moyenne de la consommation des navigateurs internet et de l'ordinateur au repos.

Même si l'écart n'est pas flagrant, on peut donc bien affirmer que pour la même utilisation de l'ordinateur Google Chrome permet de réduire la consommation de puissance.

2.5 Génération de modèles de consommation d'énergie

2.5.1 Raspberry Pi 4

Pour cette partie, nous avons utilisé un Raspberry Pi 4 pour générer un modèle de consommation énergétique. En utilisant le benchmark CPU Power Benchmark et le powermètre PowerSpy, nous avons capturé les données énergétiques lors de l'exécution de diverses charges de travail sur la Raspberry. Chaque test a été enregistré dans un fichier au format CSV.

Tous les fichiers sont accessible ici : https://github.com/Guiguizou/numerique_responsable/tree/main/tp1/part2/raspberry

Nous avons ensuite appliqué des techniques de régression (linéaire et polynomiale) sur les données pour générer un modèle de consommation d'énergie.

Suite aux problèmes rencontrés avec les machines lors de la 1ère séance de TP, nous n'avons pas eu le temps de générer les 3 modèles de puissances pour chaque benchmark. Toutefois, nous avons pu le faire pour un benchmark dont l'analyse est disponible ci-dessous.

2.5.1.1 Analyse des benchmarks

Ci-dessous, nous pouvons retrouver 3 graphiques représentant respectivement le benchmark 1, le benchmark 2 et le benchmark 3 effectué sur la Raspberry Pi 4.

Nous pouvons observé une oscillation répétitive qui est lié à la montée en charge puis le repos sur un temps donnée de la raspberry. L'oscillation est de plus en plus importante au fil du temps car la charge augmente également entre chaque repos.

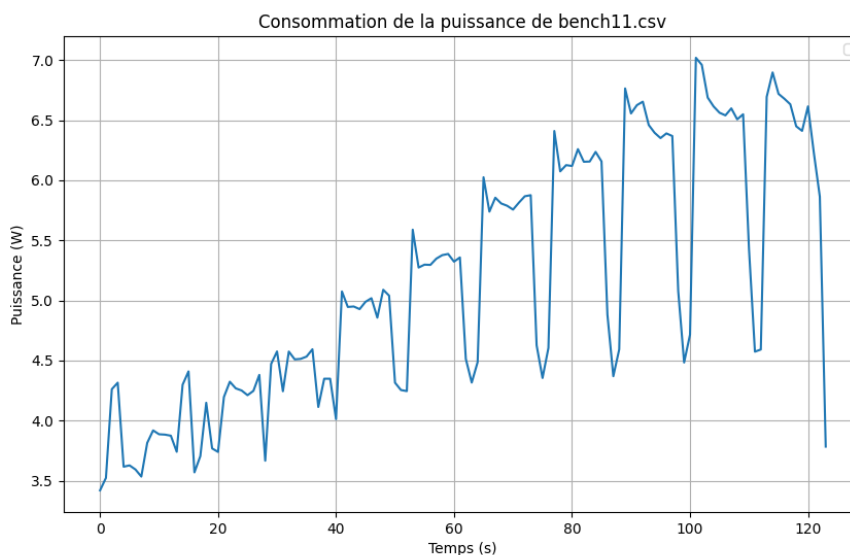


FIGURE 8 – Graphique du benchmark 1 - Raspberry Pi 4

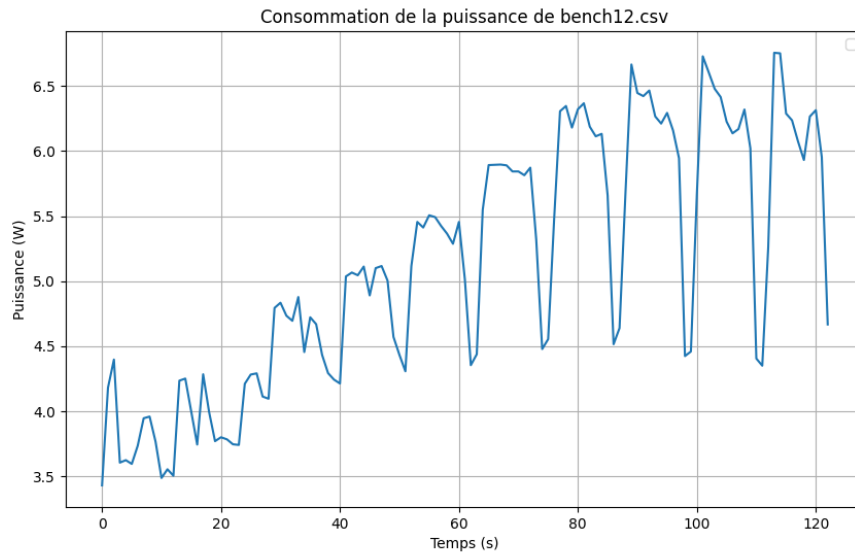


FIGURE 9 – Graphique du benchmark 2 - Raspberry Pi 4

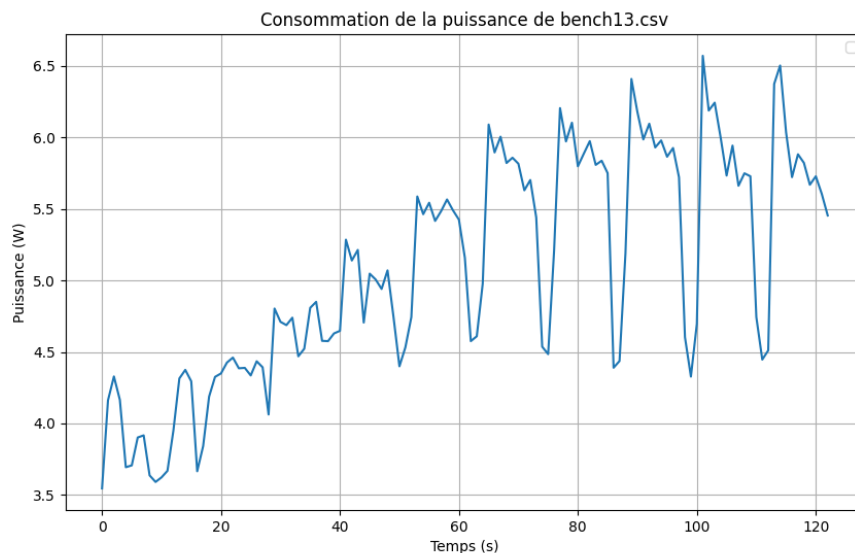


FIGURE 10 – Graphique du benchmark 3 - Raspberry Pi 4

A partir de nos données, nous avons pu générer un modèle de puissance et en déduire le taux d'erreur.

2.5.1.2 Régression Linéaire

- **Coefficient de détermination (R^2)** : 0.1664
 - Le coefficient de détermination est plutôt faible, ce qui indique malheureusement que le modèle linéaire ne parvient pas à expliquer la majorité de la variance dans les données. En effet, l'objectif est d'avoir un R^2 le plus proche de 1, ce qui signifie qu'il ajuste mieux les données.
- **Erreur Moyenne Quadratique (RMSE)** : 0.5413

- Cette erreur relativement faible signifie que le modèle est précis dans ses prédictions en termes de valeur brute.

2.5.1.3 Régression Polynomiale

- **Coefficient de détermination (R^2)** : 0.6124
 - Ce R^2 est significativement plus élevé que celui du modèle linéaire, ce qui signifie que le modèle polynomiale de degré 3 explique bien mieux les variations dans les données.
- **Erreur Moyenne Quadratique (RMSE)** : 8.0021
 - L'erreur moyenne est plus élevée que celle du modèle linéaire, mais c'est souvent le cas avec des modèles polynomiaux complexes. Toutefois, ce modèle capture mieux les tendances globales des données.

Ci-dessous, la figure représente le résultats complet :

```

-----
Generating power models
-----
Linear Regression
-----
coefficient of determination: 0.1664702839078681
Intercept: -1.1604238424910776
Slope: 6.4507049081896035
Model: P = 6.4507049081896035 * U + -1.1604238424910776
RMSE = 0.5412986497476838
Linear Regression Average Error: 9.55552371375228
-----
Polynomial Regression
-----
Best degree 3 with RMSE 0.6124159618544971
Polynomial coefficients: [ 0. 36835.39883457 -38648.27975037 13508
.10667248]
Intercept: -11689.875957960981
Polynomial Regression Average Error: 8.002162945267225
Generating power models finished

```

FIGURE 11 – Modèle de puissance - Raspberry Pi 4

2.5.2 Modélisation pour les appareils Electroniques

Nous avons également étendu cette approche à des appareils non-informatiques, notamment un moniteur d'ordinateur. En variant des paramètres comme la luminosité de l'écran, nous avons mesuré la consommation énergétique pour chaque configuration. Les données ainsi collectées ont été utilisées pour générer des graphiques.

2.5.2.1 Analyse de la consommation du moniteur

En exécutant notre programme accessible ici : https://github.com/Guiguizou/numerique_responsable/blob/main/tp1/part2/moniteur/moniteur.py nous obtenons les résultats suivants.

- **Luminosité à 10%** : env. 5.91 W
- **Luminosité à 30%** : env. 8.02 W
- **Luminosité à 50%** : env. 10.19 W
- **Luminosité à 100%** : env. 16.26 W

```
PS C:\Users\guigu\Downloads> python .\moniteur.py
Consommation moyenne avec la luminosité à 10% : 5.91 W
Consommation moyenne avec la luminosité à 30% : 8.02 W
Consommation moyenne avec la luminosité à 50% : 10.19 W
Consommation moyenne avec la luminosité à 100% : 16.26 W
```

FIGURE 12 – Console lors de l'exécution du programme

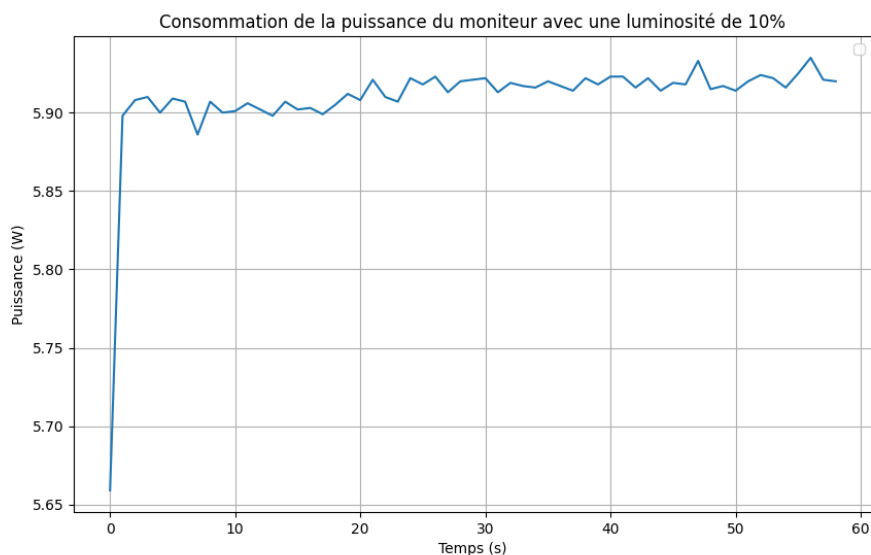


FIGURE 13 – Graphique de la consommation de l'écran avec une luminosité de 10%

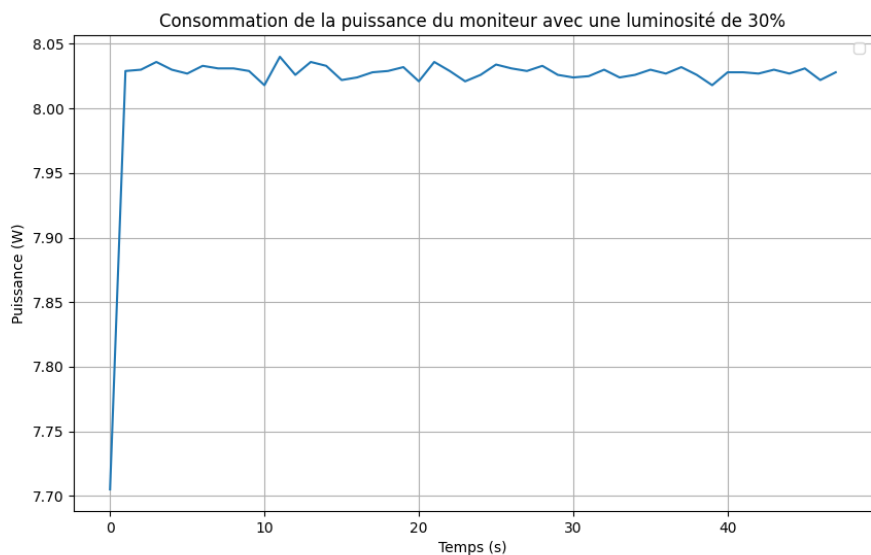


FIGURE 14 – Graphique de la consommation de l'écran avec une luminosité de 30%

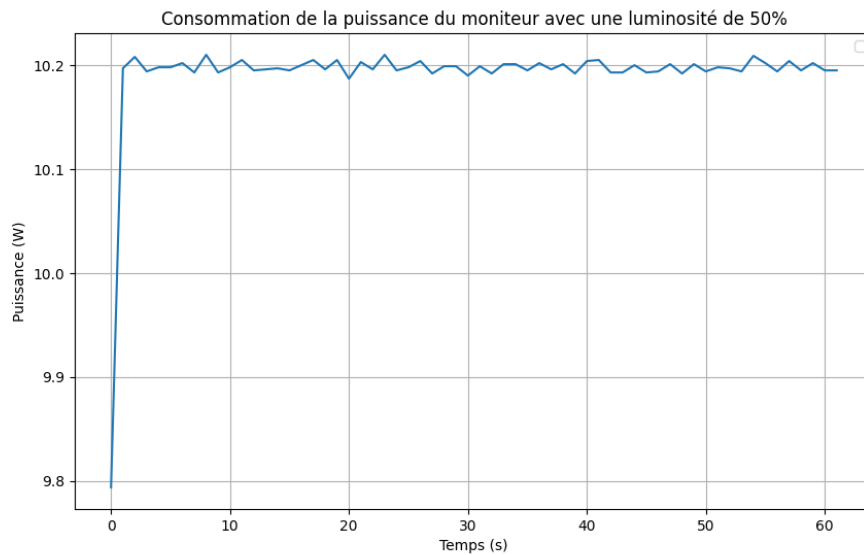


FIGURE 15 – Graphique de la consommation de l'écran avec une luminosité de 50%

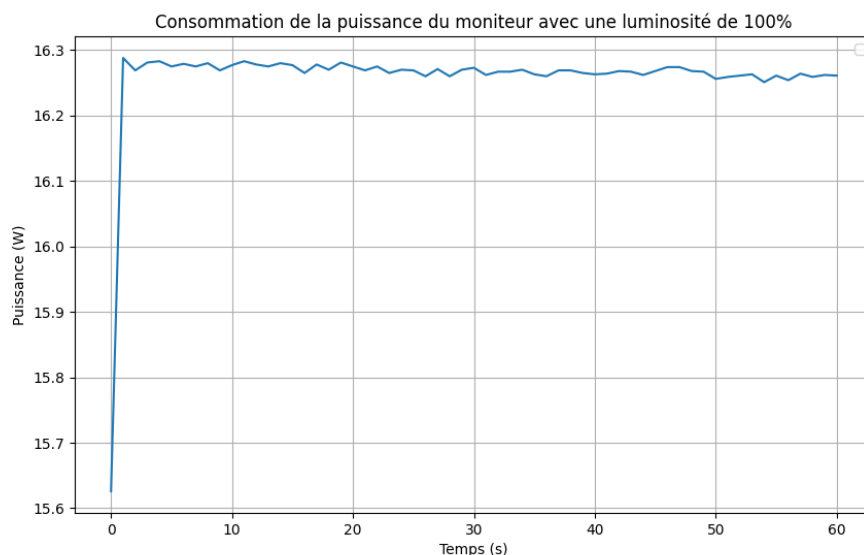


FIGURE 16 – Graphique de la consommation de l'écran avec une luminosité de 100%

2.5.3 Conclusion sur la consommation du moniteur

Comme on a vu précédemment, les consommations moyennes du moniteurs que nous avons relevé en fonction de la luminosité sont :

- **Luminosité à 10%** : env. 5.91 W
- **Luminosité à 30%** : env. 8.02 W
- **Luminosité à 50%** : env. 10.19 W
- **Luminosité à 100%** : env. 16.26 W

En regardant plus attentivement, on peut voir que l'augmentation de la consommation de la puissance semble être linéaire. En effet, entre la luminosité à 10% et 30%, la consommation augmente d'environ 2.11W.

Entre 30% et 50% d'environ 2.17W.
Et enfin entre 50% et 100% d'environ 6.07W

Ce qui suggère qu'entre 50% et 70% nous aurions eu une augmentation de la consommation d'environ 2.15W soit une consommation moyenne de 12.34W et, nous estimons donc qu'à 90% la consommation moyenne aurait été d'environ 14.49W.

2.6 Conclusion

Ce TP nous a permis de comprendre et de quantifier l'impact énergétique des logiciels et des appareils électroniques. Les résultats obtenus montrent que certains navigateurs sont plus énergivores que d'autres, et les modèles de consommation d'énergie générés pour la Raspberry Pi 4 et le moniteur d'ordinateur fournissent des informations précieuses sur leur consommation sous différentes charges.

2.7 Bibliographie

- [1] PowerSpyCli — Adel Nouredine [en ligne], <https://github.com/joular/powerspycli?tab=readme-ov-file>.
- [2] Matplotlib — Visualization with Python Documentation [en ligne], <https://matplotlib.org>.