



Stage Master 2, Bilan à mi-parcours

Florent HARDY

Profilage et Optimisation de la Consommation Énergétique des Réseaux Programmables

Stage dans le laboratoire iCube, au sein de l'équipe Réseaux

du 10 Février 2025 au 26 Août 2025

Tuteurs de stage

Jean-Romain LUTTRINGER, Julien MONTAVONT
Enseignants Chercheurs
Laboratoire iCube

Enseignant référent

Pierre DAVID
Enseignant Chercheur
Université de Strasbourg

Table des matières

1	Introduction	3
2	Environnement de travail	4
2.1	Présentation de l'équipe	4
2.2	Conditions de travail	4
3	Rôle et missions	5
3.1	Long terme	5
3.2	Court terme	5
4	Travail effectué	6
4.1	Consommation énergétique des équipements réseaux	6
4.2	L'architecture des équipements réseaux programmables	7
4.3	L'environnement de développement pour P4 d'intel : P4Studio	7
4.4	Propositions de modélisation	8
4.4.1	Corrélation avec la latence	8
4.4.2	Dictionnaire du code intermédiaire	8
4.4.3	Modéliser à l'aide des paramètres	8
5	Travail à faire	9
5.1	Modélisation	9
5.2	Expérimentations	9
5.3	Élaboration de solutions	9
6	Conclusion	11
	Bibliographie	13
A	Non-corrélation entre latence et consommation	14
B	Comparaison entre alpm et lpm	15
C	Anomalie estimation du compilateur	16

1 Introduction

Ce document sert de compte rendu quant à l'unité d'enseignement Accompagnement du Stage du Master 2 SIRIS.

En France, en 2022, le numérique représente 4.4% des émissions de gaz à effet de serre [1], soit 30 mégatonnes équivalent CO₂. La moitié de ces émissions proviennent des data centers et des réseaux d'opérateurs. 40 à 50% de la consommation énergétique des data centers provient de leur infrastructure réseau [2]. [3] prédisent un taux de croissance annuel composé de 26% entre 2018 et 2024 de la part d'équipements réseaux programmables dans les data centers.

Le projet GARDEN, financé par l'Agence Nationale de la Recherche, cherche à réduire la consommation des réseaux programmables et donc des data centers qui utilisent des équipements réseaux programmables. C'est un projet de recherche, c'est-à-dire qu'il a pour but de créer de l'information qui alimentera la base de savoirs que l'on a sur la consommation énergétique des technologies de l'information et de la communication. Ce stage entre dans le cadre du projet GARDEN.

Ce stage de fin de Master 2 est la suite d'une formation à la recherche académique dont faisaient partie mon stage d'été de Master 1 ou alors l'unité d'enseignement Travail d'Étude et de Recherche par exemple. Il est encadré par Jean-Romain LUTTRINGER et Julien MONTAVONT, tous deux maîtres de conférences. Jean-Romain LUTTRINGER est spécialisé dans la recherche sur les réseaux d'opérateurs filaires et enseigne une unité d'enseignement nommée : réseaux programmables. Julien MONTAVONT est spécialisé dans la recherche sur l'IOT, dont l'une des problématique majeure est l'efficacité énergétique. Guillaume SCHREINER, ingénieur de recherche faisant également partie de l'équipe RÉSEAUX, est responsable des équipements programmables qui seront disponibles sur la plateforme Grid5000 qui hébergera les expériences.

Dans la partie Environnement de travail, une description du laboratoire iCube, de son personnel, en particulier mes encadrants, et de l'équipe dans laquelle je travaille. La partie Rôle et missions contient des précisions sur le cadre dans lequel je travaille et mes objectifs sur le long et court terme. La partie Travail effectué contient un détail des recherches que j'ai pu mener, les idées de modélisations que j'ai eues et une proposition pour réduire la consommation. La partie Travail à faire contient mes prédictions quant aux idées que j'ai citées précédemment, en particulier sur les modélisations mais également sur les expérimentations qui seront nécessaires et l'utilité d'un modèle pour estimer la consommation énergétique.

2 Environnement de travail

iCube a été créé en 2013 sous l'égide du CNRS, de l'Université de Strasbourg, de l'ENGES et de l'INSA, on compte 750 membres dont font partie des maître·sse·s de conférence, des professeur·e·s des universités et des ingénieur·e·s de recherche entre autres. Jean-Romain LUTTRINGER, un de mes encadrants, est enseignant-chercheur pour l'équipe RÉSEAUX du Département Informatique Recherche, son travail se concentre principalement sur les réseaux de cœur. Julien MONTAVONT est également enseignant chercheur mais il est aussi co-responsable de l'équipe RÉSEAUX avec Fabrice THEOLEYRE qui lui est directeur de recherche au CNRS.

Le laboratoire qui m'a accueilli se situe sur le campus d'Illkirch-Graffenstaden, au sein du bâtiment du Pôle API. La construction du Pôle API s'est achevée en 1993 et il héberge deux écoles d'ingénieur·e·s, plusieurs laboratoires et des plateformes de transfert de technologies dont une partie du FIT IOT-Lab.

2.1 Présentation de l'équipe

L'équipe de recherche RÉSEAUX d'iCube est composée de 11 membres permanents, deux post-doctorant·e·s et 5 doctorant·e·s. Comme le nom l'indique, l'équipe focalise ses recherches sur les technologies de l'information et de la communication. Les principaux sujets sont :

- les réseaux de bordure : l'étude des connexions entre objets intelligents et leur environnement en termes de fiabilité, consommation d'énergie ou de durée de vie. Julien MONTAVONT et Samir SI-MOHAMMED, par exemple, travaillent sur l'Internet des Objets [4][5] ;
- les réseaux de cœur : l'étude de l'acheminement des paquets dans les réseaux informatiques permettant les communications entre machines. Quentin BRAMAS, Jean-Romain LUTTRINGER et Pascal MÉRINDOL ont par exemple rédigé l'article GOFOR[6] qui touche au *Segment Routing*, un outil d'ingénierie de trafic utilisé dans les réseaux d'opérateurs ;
- les algorithmes distribués : l'étude des systèmes distribués, leur complexité, contraintes et applications. Quentin BRAMAS et Anissa LAMANI, en particulier, travaillent sur des problèmes portant sur des essaims de robots [7].

2.2 Conditions de travail

Je travaille la majorité du temps dans un bureau qui accueille les stagiaires, à proximité de l'équipe. Nous faisons une réunion toutes les deux semaines avec mes encadrants afin de faire un point sur l'avancement effectué et la direction dans laquelle le stage évoluera. Nous échangeons également via messagerie instantanée, principalement pour nous échanger des sources d'informations que nous trouvons intéressantes.

3 Rôle et missions

Mes missions sont rattachées au projet GARDEN, qui est un projet à long terme, c'est pourquoi je vais détailler la partie long terme afin d'avoir une vue d'ensemble du projet. Cela me permettra de détailler la partie spécifique à mon stage.

3.1 Long terme

Le but long terme du projet GARDEN est de trouver des solutions pour réduire la consommation énergétique des réseaux programmables.

Mon rôle, en tant que stagiaire, est de préparer le terrain du projet GARDEN. Cela consiste à faire des recherches ainsi que réaliser une veille documentaire, dans l'optique de collecter un maximum d'informations sur le sujet. Les informations récoltées servent à découvrir des méthodes de modélisation de la consommation énergétique, servent également à trouver des techniques d'expérimentation, des architectures d'expérimentations, des résultats auxquels on pourrait se comparer, en somme : servent à la conception d'un état de l'art.

Une fois l'état de l'art établi, il faut suivre la méthode scientifique et émettre une hypothèse. Cette hypothèse est une supposition éclairée basée sur les informations récoltées. Une fois l'hypothèse émise, il est nécessaire de prédire ce qu'elle implique et de définir une expérience capable de démontrer si l'hypothèse est correcte ou incorrecte. Finalement, avec les nouvelles informations obtenues via les expérimentations, nous pouvons émettre une nouvelle hypothèse et recommencer la boucle. Ma missions est alors de participer aux étapes de la méthode scientifique et proposer des hypothèses, des suppositions et des expériences à mes encadrants.

3.2 Court terme

Le but court terme du projet GARDEN est de profiler et modéliser la consommation énergétique d'un Tofino¹. Pour ce faire, il est nécessaire de connaître l'architecture dans les moindres détails afin de reconnaître les parties responsables de la consommation énergétique. Une fois que l'on a reconnu les parties responsables de la consommation et que l'on sait quelle part elles occupent, on peut modéliser la consommation en fonction de ces paramètres.

La modélisation de la consommation permettrait aux détenteur·rice·s de Tofino d'estimer leur consommation énergétique. La consommation énergétique des équipements réseaux est une ressource rare car très peu souvent communiquée ou accessible. De plus, si la modélisation offre un détail des parties les plus énergivores, le code pourrait être modifié pour réduire l'utilisation de technologies énergivores et au final réduire la consommation énergétique.

1. Les Tofino 1 et Tofino 2 sont des switchs programmables via le langage P4 de la marque intel.

4 Travail effectué

Pour mon début de stage, j'ai passé beaucoup de temps à me familiariser avec l'environnement que je vais étudier. Trois items en particuliers :

1. La consommation énergétique des équipements réseaux
2. L'architecture des équipements réseaux programmables
3. L'environnement de développement pour P4 d'intel : P4Studio

C'est à l'aide de ces trois sources d'informations que j'essaierai de modéliser la consommation énergétique des Tofino.

4.1 Consommation énergétique des équipements réseaux

L'étude de la consommation des équipements réseaux non programmables n'est pas nouvelle, il existe

- des cadres d'étude de la consommation énergétique [8][9][10]
- des études sur la mise en veille d'équipements [11][12][13][14]
- des modélisations de consommations énergétiques d'équipements programmables [15][16] ou non-programmables[17][18]

Les modélisations citées ont toutes plus ou moins la même forme :

$$P_{total} = P_{inactif} + (E_{en-tete} \cdot D_{paquet}) + (E_{bit} \cdot D_{bit})$$

où P_{total} est la consommation énergétique totale et $P_{inactif}$ celle lorsque l'équipement est branché mais qu'aucun trafic ne le traverse. D_{paquet} et D_{bit} sont le débit en paquets par seconde et celui en bits par seconde qui traversent l'équipement. $E_{en-tete}$ et E_{bit} sont des paramètres, propre à chaque équipement, qui décrivent la consommation en fonction du débit en paquets par seconde ou en bits par seconde respectivement.

Par exemple, selon [15], pour un Tofino 1, $P_{inactif}$ vaut 108.1W, $E_{en-tete}$ vaut 7.21nJ et E_{bit} vaut 1.72pJ. Une version illustrée du modèle est présente dans la figure 1. On y voit que la consommation est très élevée dès lors qu'on branche l'équipement et qu'elle croît de manière linéaire avec le débit.

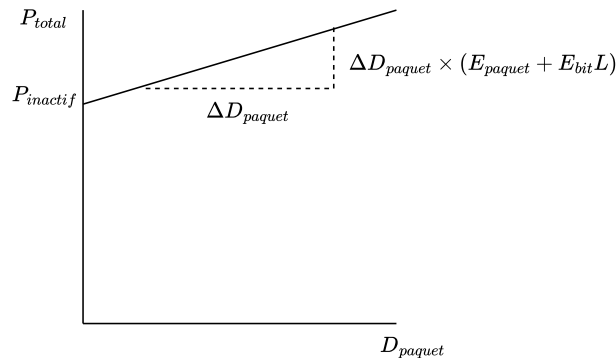


FIGURE 1 - Illustration des modèles proposés pour représenter la consommation énergétique, E_{bit} est multiplié par un facteur L car $D_{paquet} \cdot L = D_{bit}$ si L est la taille des paquets.

Notre objectif est de montrer que ce modèle n'est pas suffisant pour décrire la consommation énergétique des réseaux programmables, en tout cas elle n'est pas assez précise. On verra, dans les parties ci-dessous, que cette modélisation ne prend pas en compte la complexité du code sous-jacent.

4.2 L'architecture des équipements réseaux programmables

Dans les équipements réseaux programmables, les mémoires les plus énergivores sont la SRAM (Static RAM) et surtout la TCAM (Ternary Content-Addressable Memory). La TCAM consomme plus que la SRAM car chaque recherche nécessite de consulter toutes les cases mémoires. Les cases mémoires de la TCAM sont lues en parallèle afin que les recherches soient efficaces mais elles restent énergivores.

Les Tofinos découpent le traitement des paquets en plusieurs stages. Les cellules mémoire SRAM et TCAM sont réparties sur les différents stages. Si le traitement d'un paquet ne nécessite que 3 stages, alors les autres stages seront ignorés, leurs mémoires ne seront pas alimentées en électricité et la consommation sera moindre.

Grâce aux outils cités plus bas, nous pouvons visualiser la répartition des cases mémoires sur les différents types de mémoire et leur répartition sur les différents stages.

4.3 L'environnement de développement pour P4 d'intel : P4Studio

P4Studio est un SDE (Software Development Environment) possédant une suite d'outils dont ceux qui nous intéressent :

- un compilateur P4 sur mesure pour les équipements Tofino 1 et 2
- P4 Insight : un outil de visualisation des artefacts créés à la compilation

Le compilateur P4 nous donne une estimation de la consommation, de la partie programmable, dans le pire cas (où tous les ports subissent une charge maximale, etc.). La précision de l'estimateur a été validée expérimentalement, à quelques Watts près, par [19]. J'ai utilisé cette estimation pour voir l'effet de la taille d'une table de routage sur la consommation énergétique et j'ai obtenu les résultats de la figure 2.

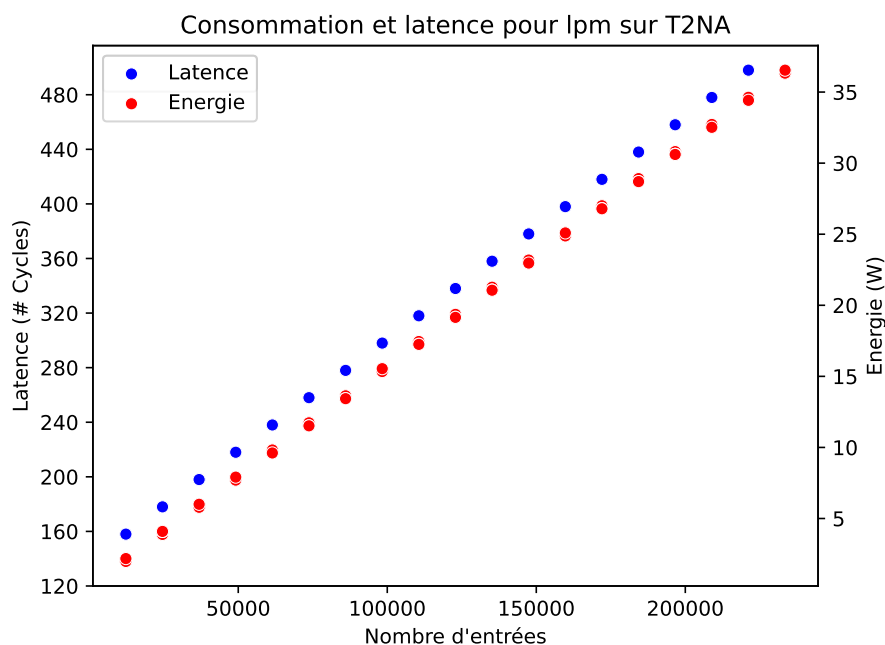


FIGURE 2 - La consommation énergétique et la latence en nombre de cycles d'horloge de la partie programmable d'un Tofino 2 dans le pire cas selon le compilateur en fonction du nombre d'entrées.

Le code utilisé pour peupler la figure 2 ne contenait qu’une seule table où l’on a forcé l’utilisation de la TCAM. On remarque que, plus le nombre d’entrées augmente, plus le compilateur alloue des cases mémoires ; et plus il alloue de cases mémoires, plus il doit allouer de stages. Ces allocations ont un coût, ici l’ordre de grandeur est 10W, ce qui n’est pas négligeable et n’est pas pris en compte dans les modélisations citées auparavant (e.g. figure 1).

On sait désormais que les Tofinos, et les réseaux programmables de manière générale, ont besoin de nouvelles modélisations de leur consommation énergétique, possiblement des nouveaux cadres d’études et surtout de données à jour et utilisables pour étudier les tendances de la consommation des réseaux.

4.4 Propositions de modélisation

Afin de modéliser la consommation énergétique des Tofinos, j’avais comme idées :

- utiliser la corrélation entre latence et consommation pour réutiliser les résultats de [20]
- utiliser le code intermédiaire généré par le compilateur pour associer à chaque opération un consommation

4.4.1 Corrélation avec la latence

[20] ont développé un modèle capable de prédire la latence d’un programme P4, écrit pour une cible Tofino, à la nanoseconde près. Si l’on regarde la figure 2, on remarque une corrélation entre la consommation et la latence. Mon idée était de s’assurer que la corrélation soit présente, en particulier en reproduisant les résultats obtenus lors de l’étude de la latence.

Malheureusement, lorsqu’on zoome sur le saut d’un stage à l’autre, on remarque que la latence suit une fonction en escalier alors que la consommation suit une fonction linéaire. (voir annexe A). Il n’y a pas de corrélation précise entre latence et consommation selon le compilateur.

4.4.2 Dictionnaire du code intermédiaire

Le compilateur, dans ses artefacts, décrit le nombre maximum de cycles d’horloge que prendrait le Tofino pour traiter un paquet. Mon hypothèse est que ce nombre est calculé à l’aide d’un dictionnaire qui contiendrait une correspondance entre les différentes opérations du code intermédiaire et le nombre de cycles qu’il faut pour les exécuter. Par exemple une assignation prendrait 2 cycles d’horloge, une recherche dans la TCAM 8, etc. .

On pourrait alors recréer ce dictionnaire, mais plutôt que des cycles d’horloges on mettrait la consommation énergétique de ces opérations. L’assignation utiliserait 0.01 Watt alors que la recherche en TCAM 0.5 Watt par exemple.

Cette méthode n’est pas forcément possible car le calcul de l’estimation est opaque.

4.4.3 Modéliser à l’aide des paramètres

Jean-Romain LUTTRINGER m’a proposé de chercher les paramètres qui pourraient influencer sur la consommation, et qu’on utiliserait ces paramètres pour élaborer un modèle.

Parmi ces paramètres se trouve par exemple une technologie brevetée [21] nommée alpm (Algorithmic Longest Prefix Match), qui augmente le nombre maximum d’entrées qu’une table peut accueillir, réduit la latence et surtout réduit la consommation énergétique.

L’alpm consiste à fragmenter l’arbre servant à chercher les correspondances les plus longues de préfixes (longest prefix match), à stocker les fragments d’arbres dans la SRAM et de n’utiliser la TCAM uniquement pour savoir dans quel fragment il faut aller chercher. Une comparaison entre lpm et alpm est disponible en annexe B, à noter qu’alpm peut aller jusqu’à environ un million d’entrées mais que le graphique s’arrête à un demi million pour des raisons de lisibilité.

5 Travail à faire

Durant la seconde moitié de mon stage, je continuerai à travailler sur la modélisation de la consommation énergétique des Tofinos, je ferai des expériences avec le vrai matériel afin de confirmer ou infirmer la précision du modèle, et une fois le modèle fini je travaillerai sur des solutions qui utiliseraient le modèle pour réduire la consommation des réseaux programmables.

5.1 Modélisation

Pour l'instant, les idées de modèle que j'ai eu ne sont pas forcément bonnes. La corrélation entre la latence et la consommation n'est présente que sur une large échelle, lorsqu'on se concentre sur une partie moins large on remarque la différence de croissance entre les deux. De plus on ne sait pas comment le compilateur calcule l'estimation de la consommation donc il nous est impossible de savoir si elle est correcte ou non. Au vu des anomalies rencontrées (voir annexe C), il n'est pas entièrement fiable.

La deuxième option serait de recréer le dictionnaire de la latence, mais le code responsable de ce calcul est sous forme binaire et n'est donc pas facile à interpréter. De plus, il est possible que mon hypothèse soit fausse et que l'estimation ne soit qu'une multiplication entre le nombre de stages et une valeur empirique que les ingénieurs d'intel ont obtenu par l'expérimentation plutôt qu'un dictionnaire reliant chaque opération à son nombre de cycles.

Finalement, je continuerai à chercher des paramètres responsables de la consommation, comme le nombre d'entrées dans les tables de routage, pour pouvoir les utiliser dans un modèle. Les prochains candidats à étudier sont les fonctions externes, qui sont des fonctions spécifiques à l'architecture intel. Parmi ces fonctions se trouvent par exemple le calcul de racine carrée, l'allocation de registres ou le clonage de paquets. Les candidats d'après seront les directives pré-processeur, les options de compilations et les technologies (comme alpm) utilisées.

5.2 Expérimentations

Afin de valider le modèle, il faudra expérimenter et utiliser les données obtenues pour confirmer ou infirmer le modèle. Le premier modèle sera sûrement trop simple et devra être mis au point à l'aide des données des différentes expérimentations.

Les expériences se feront sur la plateforme Grid5000 qui hébergera les 10 Tofinos 1 et le Tofino 2 mis à disposition par l'équipe RÉSEAUX. Les Tofinos de la plateforme seront équipés de wattmètres qui nous permettront de récupérer la consommation réelle des équipements.

Grid5000 est une plateforme de mise à disposition de bancs d'essais, surtout alimenté par les organismes de recherche et financé par l'Inria et le CNRS.

5.3 Élaboration de solutions

Une fois que la modélisation est finie et satisfaisante, elle porte déjà une valeur intrinsèque car les données sur la consommation énergétique des réseaux informatiques sont rares, encore plus pour les réseaux programmables. Elle pourrait alors être utilisée pour avoir un détail de la consommation d'opérateur·rice·s ou de data-centers, qui pourront alors modifier le code intégré dans leurs Tofinos.

La manière avec laquelle la modélisation a été créée peut également être réutilisée pour modéliser la consommation d'autres équipements programmables en P4, le langage standardisé et utilisé par les Tofinos.

Mieux encore, on pourrait élaborer une dégradation dynamique du code en fonction de la quantité de trafic. Si le trafic le permet, on peut retirer des options d'optimisations de la latence, l'équilibrage de charge entre autres.

6 Conclusion

Le projet GARDEN, financé par l'ANR, cherche à réduire la consommation des réseaux programmables. Mon rôle, en tant que stagiaire pour le projet GARDEN est de modéliser la consommation énergétique de switchs programmables auxquels on a accès : les Tofinos.

Pour préparer le terrain du projet GARDEN, j'ai démarré un état de l'art dont les trois grandes parties sont : les cadres d'études de la consommation, l'étude de la mise en veille d'équipements et la modélisation de la consommation énergétique. Je me suis également familiarisé avec l'environnement de développement pour Tofinos ainsi que les Tofinos en soi.

Une fois que j'avais récolté assez d'informations, j'avais proposé deux manières de modéliser la consommation d'un équipement réseau programmable : la réutilisation de la corrélation entre consommation énergétique et latence ; et la réécriture d'un dictionnaire qui associerait aux opérations leur consommation énergétique.

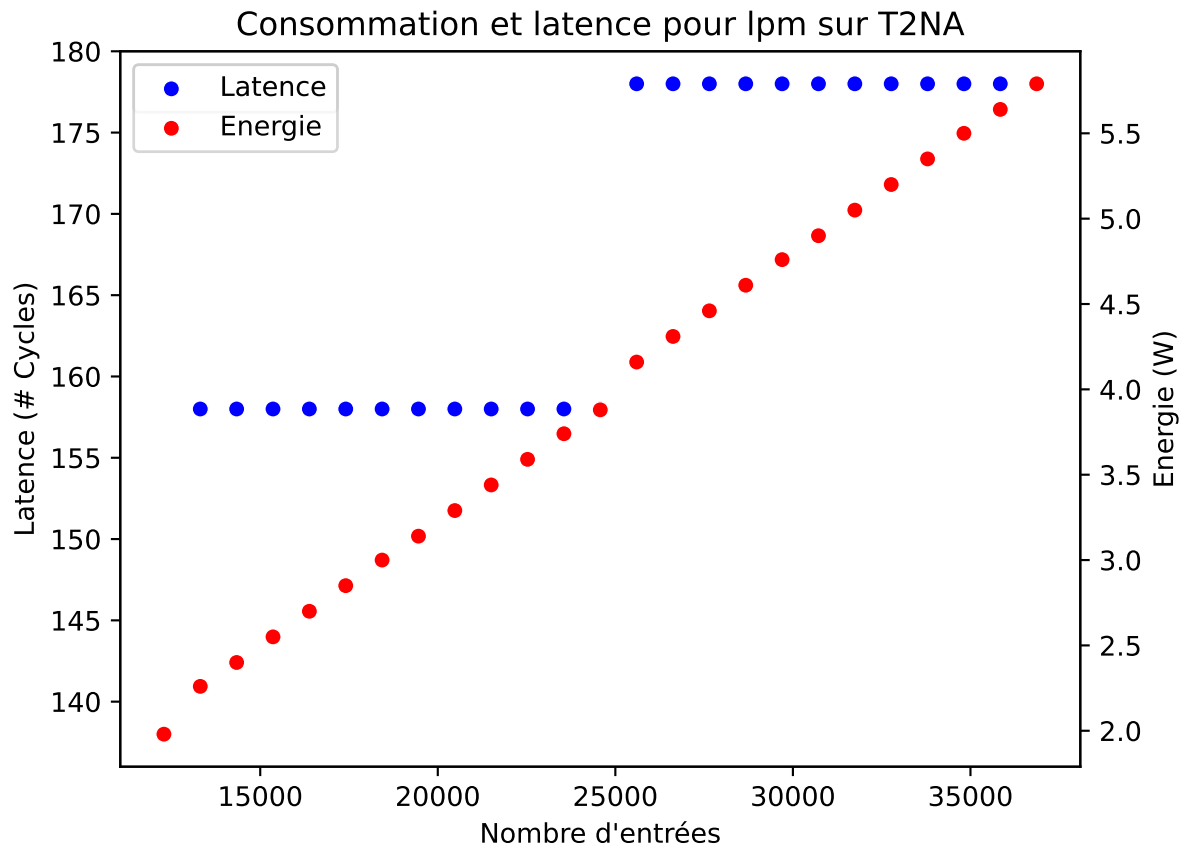
Il me reste néanmoins à trouver les différents paramètres qui nous permettront de modéliser la consommation énergétique d'un Tofino. On mettra en place des expériences pour valider le modèle et l'améliorer. Finalement, le modèle servira à l'élaboration de solutions cherchant à réduire la consommation énergétique, par exemple en dégradant le code afin qu'il consomme moins si le trafic le permet.

Bibliographie

- [1] “Actualisation des chiffres de l’impact du numérique en france.” <https://ecoresponsable.numerique.gouv.fr/actualites/actualisation-ademe-impact/>.
- [2] G. Grigoryan and M. Kwon, “Towards greener data centers via programmable data plane,” in *2023 IEEE 24th International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR)*, pp. 62–67, IEEE.
- [3] Omdia, “Data center switch silicon evolves.” <https://www.datacenterknowledge.com/networking/data-center-switch-silicon-evolves>.
- [4] F. Veisi Goshtasb, J. Montavont, and F. Theoleyre, “Energy efficient and reliable maintenance for sdn-based scheduled wireless networks,” in *IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, IEE, Jan 2024.
- [5] S. Si-Mohammed, T. Begin, I. Guérin Lassous, and P. Vicat-Blanc, “Hints : A methodology for iot network technology and configuration decision,” *Internet of Things*, vol. 22, p. 100678, 2023.
- [6] Q. Bramas, J.-R. Luttringer, and P. Mérindol, “A simple and general operational framework to deploy optimal routes with source routing,” 2023.
- [7] Q. Bramas, A. Lamani, and S. Tixeuil, “The agreement power of disagreement,” *Theoretical Computer Science*, vol. 954, p. 113772, 2023.
- [8] A. P. Bianzino, A. K. Raju, and D. Rossi, “Apples-to-apples : a framework analysis for energy-efficiency in networks,” vol. 38, no. 3, pp. 81–85.
- [9] A. Clemm, C. Pignataro, E. Schooler, L. Ciavaglia, A. Rezaki, G. Mirsky, and J. Tantsura, “Green networking metrics for environmentally sustainable networking.”
- [10] H. T. Dang, H. Wang, T. Jepsen, G. Brebner, C. Kim, J. Rexford, R. Soulé, and H. Weatherspoon, “Whippersnapper : A p4 language benchmark suite,” in *Proceedings of the Symposium on SDN Research*, SOSR ’17, pp. 95–101, Association for Computing Machinery.
- [11] L. Röllin, “How fast can it wake up ? putting link sleeping into practice,” p. 42 p. Artwork Size : 42 p. Medium : application/pdf Publisher : ETH Zurich.
- [12] L. Röllin, R. Jacob, and L. Vanbever, “A sleep study for ISP networks : Evaluating link sleeping on real world data,” p. 8 p. Artwork Size : 8 p. Medium : application/pdf Publisher : ETH Zurich.
- [13] F. Giroire, D. Mazauric, J. Moulrierac, and B. Onfroy, “Minimizing routing energy consumption : From theoretical to practical results,” in *2010 IEEE/ACM Int’l Conference on Green Computing and Communications & Int’l Conference on Cyber, Physical and Social Computing*, pp. 252–259, IEEE.
- [14] P. Reviriego, J. Maestro, J. Hernández, and D. Larrabeiti, “Study of the potential energy savings in ethernet by combining energy efficient ethernet and adaptive link rate,” vol. 23, no. 3, pp. 227–233.
- [15] J. Lim, “Power modelling framework for network switches.”
- [16] V. Sivaraman, A. Vishwanath, Z. Zhao, and C. Russell, “Profiling per-packet and per-byte energy consumption in the NetFPGA gigabit router,” in *2011 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, pp. 331–336.
- [17] A. Vishwanath Member, K. Hinton, R. W. A. Ayre, and R. S. Tucker, “Modeling energy consumption in high-capacity routers and switches,” vol. 32, no. 8, pp. 1524–1532.
- [18] J. Ahn and H.-S. Park, “Measurement and modeling the power consumption of router interface,” in *16th International Conference on Advanced Communication Technology*, pp. 860–863. ISSN : 1738-9445.
- [19] J. Lim, “How much does it burn ? profiling the energy model of a tofino switch,” p. 33 p. Artwork Size : 33 p. Medium : application/pdf Publisher : ETH Zurich.

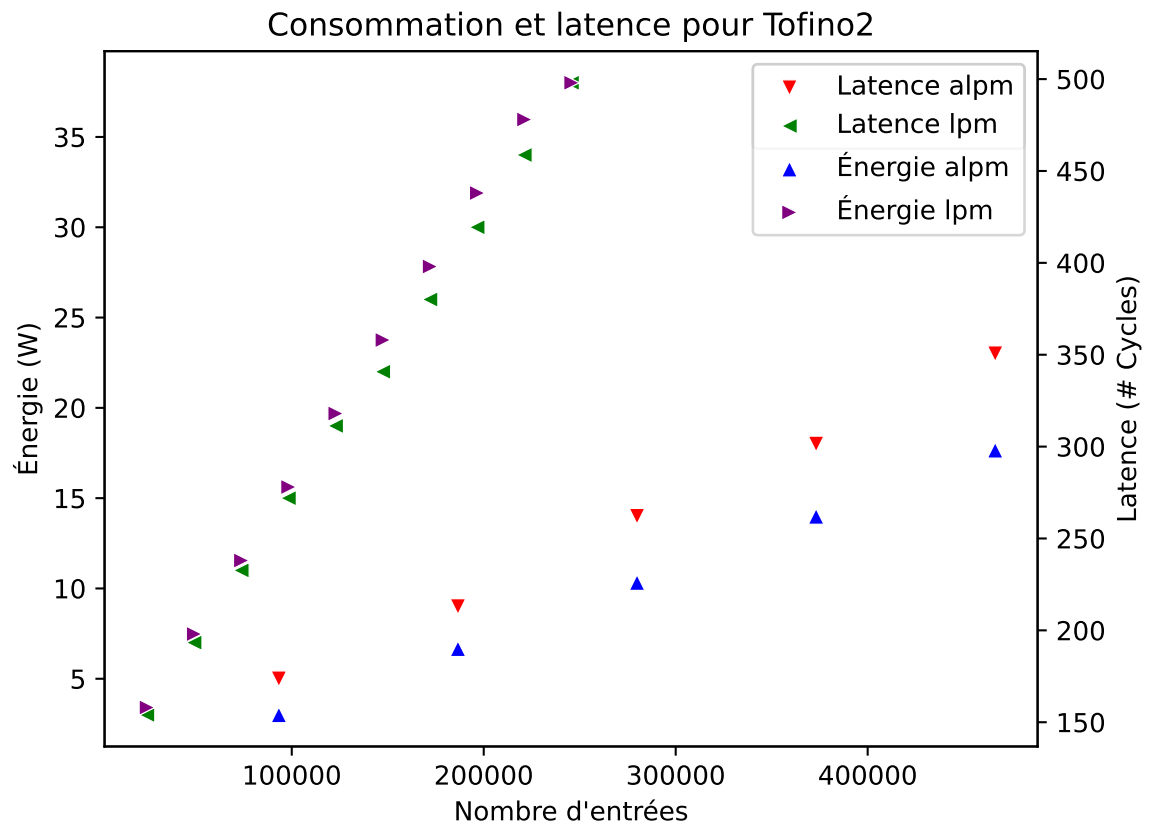
- [20] D. Franco, E. Ollora Zaballa, M. Zang, A. Atutxa, J. Sasiain, A. Pruski, E. Rojas, M. Higuero, and E. Jacob, “A comprehensive latency profiling study of the tofino p4 programmable ASIC-based hardware,” vol. 218, pp. 14–30.
- [21] H. Wang, “Algorithmic longest prefix matching in programmable switch.”

A Non-corrélation entre latence et consommation



ANNEXE A - Zoom sur le passage d'un stage à l'autre de l'estimation de la consommation et de la latence selon le compilateur.

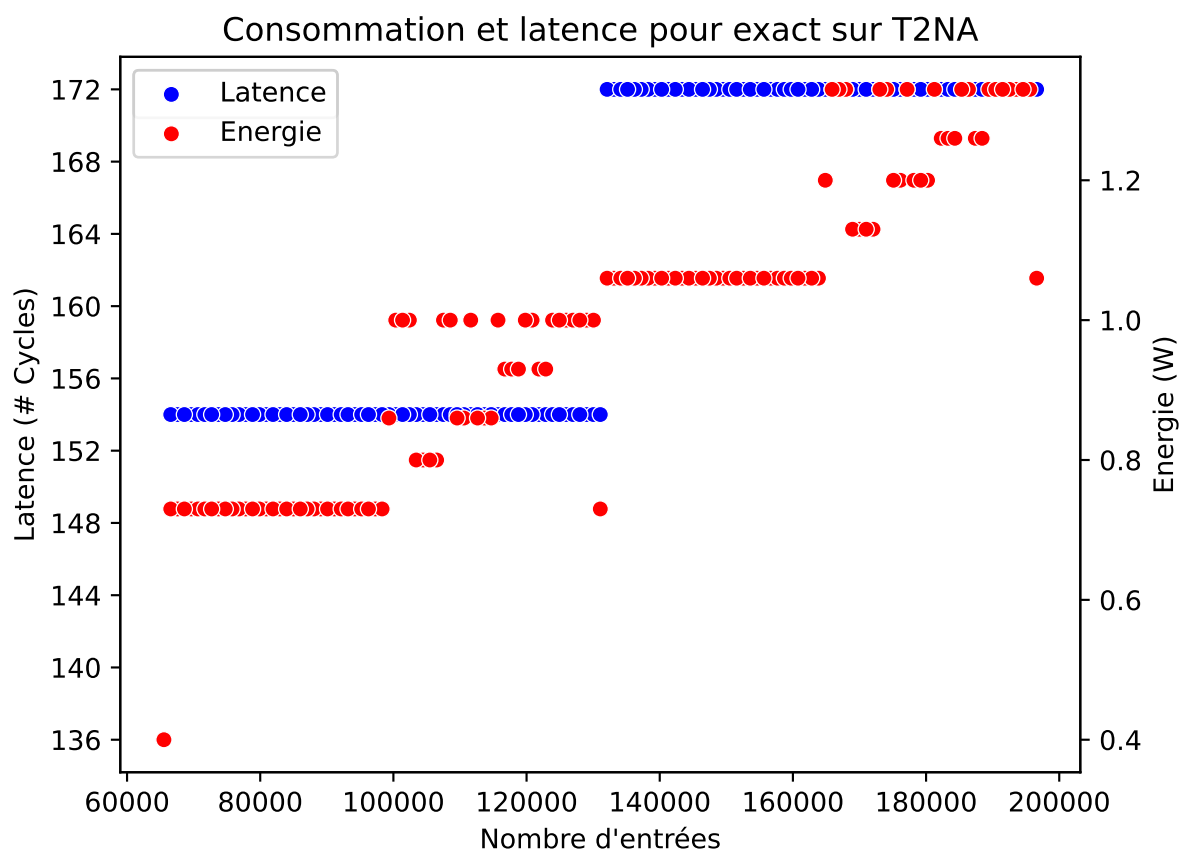
B Comparaison entre alpm et lpm



ANNEXE B - Comparaison de la latence et de la consommation estimée selon le compilateur entre alpm et lpm.

Le graphique s'arrête à un demi million pour des raisons de lisibilité, alpm peut atteindre environ un million d'entrées

C Anomalie estimation du compilateur



ANNEXE C - Zoom sur les anomalies de l'estimation de la consommation d'énergie.

On remarque que juste avant de changer de stage, aux alentours de 130000 entrées, la consommation revient à 0.7W comparé à la croissance observée entre 100000 et 130000 entrées. Cette baisse de consommation est tout de suite suivie d'un pic correspondant au passage au stage suivant qui consomme aux alentours de 1W.