

# *Stratégie d'association dans un réseau hétérogène Wi-Fi/LiFi pour une meilleure efficacité énergétique*

Esther Guérin<sup>1</sup> et Thomas Begin<sup>1</sup> et Anthony Busson<sup>1</sup> et Isabelle Guérin Lassous<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univ Lyon, ENS de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, Inria, CNRS, LIP

---

Dans des scénarios très denses où la Wi-Fi ne peut pas satisfaire seule tous les clients, la LiFi (Light Fidelity) peut servir à alléger la charge pesant sur la Wi-Fi en prenant en charge une partie du trafic. Dans cette étude, nous cherchons à optimiser les associations dans un réseau hétérogène comprenant un point d'accès Wi-Fi et plusieurs points d'accès LiFi. Nous proposons une méthode simple dans sa conception comme dans son implémentation pour trouver une matrice d'associations efficace, qui repose sur un modèle analytique des performances réseau et de la consommation énergétique. Enfin, nous mettons en place des scénarios qui mettent en évidence la capacité de notre solution à trouver de meilleurs compromis que des stratégies plus basiques. Les résultats numériques montrent que ces gains peuvent être substantiels, tant sur les débits utilisateurs que sur la consommation énergétique.

**Mots-clés :** réseaux hétérogènes, Wi-Fi, LiFi, association, consommation d'énergie, stratégie, recherche locale, score

---

## 1 Introduction

La LiFi est une technologie très similaire à la Wi-Fi, à ceci près qu'elle utilise la lumière visible pour communiquer. Ainsi, elle s'opère via des points d'accès (APs) reliés au réseau par voie filaire qui offrent une connexion sans fil à un ensemble de stations (STAs). Parmi ses caractéristiques, il est à noter que la LiFi offre des débits légèrement plus faibles que la Wi-Fi, à une distance largement plus courte. Par ailleurs, la LiFi est souvent considérée comme plus vertueuse du point de vue de la consommation énergétique, notamment parce qu'elle peut être directement intégrée dans l'éclairage du bâtiment.

Notre étude porte sur des réseaux hétérogènes combinant Wi-Fi et LiFi. La Wi-Fi doit pouvoir assurer une connexion à tous les utilisateurs, où qu'ils se trouvent. La LiFi sert à réduire la charge sur la Wi-Fi afin que tous les utilisateurs aient un niveau de service satisfaisant, en particulier dans les scénarios les plus denses. Dans ce contexte, le but est de construire une méthode permettant de choisir les associations entre les STAs et les APs de telle sorte que les STAs aient toutes un débit satisfaisant tout en améliorant l'efficacité énergétique du réseau dans son ensemble.

Nous avons présenté cette étude dans un autre article plus détaillé dont la référence est la suivante : [GBBGL21]. Il présente notamment les formules utilisées dans la modélisation mathématique ainsi que les paramètres utilisés dans les expériences.

Dans ce domaine d'étude, il existe des travaux comme [AQB20] dont l'objectif est similaire mais qui utilisent une méthode distribuée pour l'atteindre, dans la prolongation de ce qui se fait actuellement dans les réseaux Wi-Fi. Ces méthodes ont l'avantage d'être simples à mettre en place et mettent peu de temps à s'exécuter, cependant elles ne peuvent pas prendre en compte le réseau dans sa globalité. Il existe également des travaux comme [LZH15][WSH17] sur des approches centralisées du problème, mais ceux-ci ne considèrent pas la consommation énergétique du réseau.

## 2 Notre solution

### 2.1 Énoncé du problème

Dans cette étude, nous nous plaçons dans une pièce représentant un bureau d'entreprise. Au centre de celle-ci se trouve un AP Wi-Fi qui assure une couverture intégrale de la pièce. En complément, nous disposons des APs LiFi de telle sorte à ce qu'ils forment une grille sur l'ensemble de la pièce. Étant donnée la portée limitée des APs LiFi, cette seconde couverture est incomplète. L'AP Wi-Fi n'est jamais éteint pour assurer la continuité du service sur toute la zone de couverture. Ce n'est pas le cas des APs LiFi qui peuvent être éteints s'ils ne sont pas utilisés afin d'économiser de l'énergie. En parallèle, des STAs sont réparties aléatoirement sur l'ensemble de la pièce, chacune demandant un certain débit au réseau. Selon leur position, elles ont accès ou non à la LiFi.

Nous supposons que le réseau est géré de manière centralisée. Il y a donc un contrôleur réseau dans la pièce, qui récolte les données des APs et des STAs pour ensuite décider des associations.

### 2.2 Modélisation mathématique

Pour atteindre nos objectifs, nous définissons une fonction objectif à maximiser. Cela passe par différentes étapes décrites ci-dessous :

1. La première étape est de modéliser ce qu'il se passe lorsqu'une association donnée est mise en place. En ce qui nous concerne, nous nous intéressons aux débits aux utilisateurs et à la consommation énergétique de chaque appareil. Pour ce faire, nous nous inspirons de modèles analytiques qui ont fait leurs preuves, à savoir le modèle de [ABGL16] pour les débits utilisateurs et [SGSB<sup>+</sup>15] pour la consommation énergétique.
2. La première étape quantifie le résultat d'une association, la deuxième et la troisième étape la qualifient. Il faut d'un côté le score pour les performances réseau et de l'autre le score pour les performances énergétiques. Pour la performance réseau, nous faisons la moyenne géométrique des niveaux de satisfaction des STAs, le niveau de satisfaction étant le rapport entre le débit obtenu et le débit demandé. Ainsi, nous assurons que les meilleures solutions ne laissent aucune STA en famine. Pour la performance énergétique, nous additionnons les consommations énergétiques de tous les APs et de toutes les STAs. Cela représente la consommation énergétique du réseau dans sa totalité.
3. La deuxième étape produit deux scores qui n'ont pas la même dimension. La troisième étape les combine en un seul score : la fonction objectif. Les scores sont projetés entre leur valeur minimale et leur valeur maximale pour enlever leur dimension physique, puis ils sont multipliés entre eux. Nous donnons un poids plus important au score des performances réseau car nous voulons que notre solution conserve un haut niveau de service tout en réduisant la consommation énergétique.

Ces modèles reposent sur un certain nombre de paramètres dont les valeurs doivent être choisies avec soin pour garantir une modélisation proche de la réalité, ce sur quoi repose l'efficacité de notre méthode. Pour notre part, nous nous sommes basés sur d'autres recherches et sur des fiches techniques de constructeur [AH20, pur].

### 2.3 Méthode d'optimisation

La fonction objectif précédemment décrite permet de comparer deux associations entre elles et de savoir laquelle est la meilleure au vu de nos exigences. Il nous faut donc maintenant chercher quelle association produit le meilleur score d'après notre fonction objectif. Nous avons opté ici pour une recherche locale d'optimum. Les calculs de modélisation étant relativement simples, nous pouvons lancer cette recherche plusieurs fois depuis des points de départ différents afin de réduire le risque d'atteindre un optimum local loin de l'optimum global.

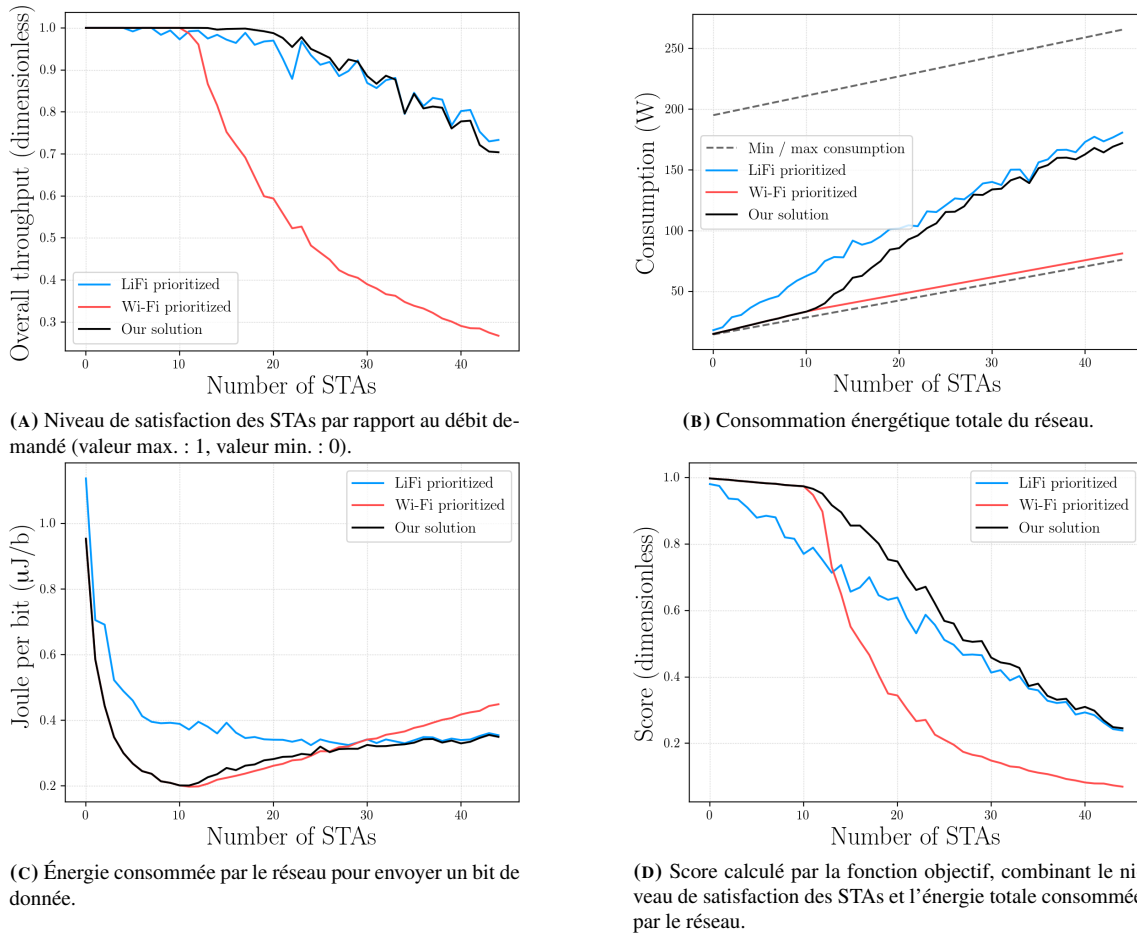


FIGURE 1 : Comparaison des différentes stratégies pour associer les STAs aux APs.

### 3 Résultats numériques

#### 3.1 Scénarios

Pour tester notre méthode, nous avons implémenté plusieurs cas d'étude dans un programme Python. Les résultats présentés dans cette section concerne un scénario où le nombre de STAs augmente progressivement. Pour chaque valeur de nombre de STAs, notre méthode est de nouveau appliquée et son résultat est comparé à d'autres stratégies sur plusieurs métriques.

Nous avons mis en place deux stratégies simples auxquelles notre solution est comparée. La première stratégie, notée "LiFi prioritized" sur les courbes, associe toutes les STAs qui le peuvent à un AP LiFi, et associe les autres à l'AP Wi-Fi. À l'opposé, la seconde stratégie, "Wi-Fi prioritized" consiste à associer toutes les STAs avec l'AP Wi-Fi et à éteindre tous les APs LiFi.

Les métriques considérées sont celles utilisées par notre méthode, à savoir le niveau global de satisfaction des utilisateurs, la consommation énergétique totale du réseau et le score de la fonction objectif. On y ajoute une dernière métrique qui sert de point de vue extérieur : elle mesure l'énergie consommée par le réseau pour envoyer un bit de donnée. Les courbes résultats sont présentées dans cet ordre.

#### 3.2 Discussion

Les courbes de la figure 1 mettent en relief plusieurs points intéressants. Tout d'abord, la stratégie "Wi-Fi prioritized" donne un aperçu des performances de la Wi-Fi seule dans ce contexte. Ici, la Wi-Fi n'est pas capable de servir plus d'une douzaine de STAs sans entrer en saturation comme le montre la courbe 1a.

Cependant, en deçà de ce nombre, la stratégie du tout Wi-Fi est optimale : en effet, les utilisateurs obtiennent le débit qu'ils ont demandé et allumer des APs LiFi représenterait un surcoût énergétique inutile. Au-delà d'une douzaine de STAs, activer des APs LiFi en plus de l'AP Wi-Fi permet de continuer à garantir un bon niveau de service pour les utilisateurs, et ce jusqu'à une cinquantaine de STAs. Cependant, ces performances réseau se payent au niveau de la consommation énergétique comme le montre la courbe 1b. C'est sur ce point que notre méthode prouve son utilité. Elle permet de maintenir plus longtemps les performances réseau comme la stratégie "LiFi prioritized", tout en limitant la consommation énergétique associée. C'est également ce que pointe la courbe 1c : le réseau est généralement plus efficace avec notre méthode.

Il est intéressant de noter comment procède notre méthode pour obtenir ses résultats. Elle maximise toujours l'utilisation de l'AP Wi-Fi avant de répartir les STAs restantes sur un minimum d'APs LiFi. Cela s'explique par le fait que l'AP Wi-Fi ne peut pas être éteint sous nos hypothèses, et il doit donc être rentabilisé. La recherche de la solution est alors réduite à choisir quelles STAs seront associées avec la Wi-Fi de telle sorte à ce que celles qui restent puissent être prises en charge correctement par les APs LiFi.

## 4 Conclusion

Notre étude visait à comprendre comment pouvaient interagir les deux technologies que sont la Wi-Fi et la LiFi. Notre travail a prouvé qu'il était possible d'optimiser avec une méthode simple un réseau hétérogène, et il a quantifié les gains qu'il était possible d'obtenir ainsi. Cette méthode a de plus l'avantage de ne modifier que les associations entre STAs et APs, ce qui signifie qu'elle ne nécessite aucun changement de matériel.

Nos prochaines recherches sur ce sujet suivront principalement deux axes. Le premier consiste à renforcer le réalisme de notre étude, notamment en changeant la disposition des STAs. Le second est de voir comment évoluent les résultats quand le ratio entre le nombre d'APs Wi-Fi et le nombre d'APs LiFi est différent.

## Références

- [ABGL16] Mohammed Amer, Anthony Busson, and Isabelle Guérin Lassous. Association optimization in wi-fi networks : Use of an access-based fairness. In *Proceedings of the 19th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, MSWiM '16, page 119–126, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [AH20] Hamada Alshaer and Harald Haas. Software-defined networking-enabled heterogeneous wireless networks and applications convergence. *IEEE Access*, 8 :66672–66692, 2020.
- [AQB20] Muhammad Asad, Saad Qaisar, and Abdul Basit. Client-centric access device selection for heterogeneous qos requirements in beyond 5g iot networks. *IEEE Access*, 8 :219820–219836, 2020.
- [GBBGL21] Esther Guérin, Thomas Begin, Anthony Busson, and Isabelle Guérin Lassous. *Towards a Throughput and Energy Efficient Association Strategy for Wi-Fi/LiFi Heterogeneous Networks*, page 119–126. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2021.
- [LZH15] Xuan Li, Rong Zhang, and Lajos Hanzo. Cooperative load balancing in hybrid visible light communications and wifi. *IEEE Transactions on Communications*, 63(4) :1319–1329, 2015.
- [pur] pureLiFi. Data sheet.
- [SGSB<sup>+</sup>15] Pablo Serrano, Andres Garcia-Saavedra, Giuseppe Bianchi, Albert Banchs, and Arturo Azcorra. Per-frame energy consumption in 802.11 devices and its implication on modeling and design. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 23(4) :1243–1256, 2015.
- [WSH17] Xiping Wu, Majid Safari, and Harald Haas. Access point selection for hybrid li-fi and wi-fi networks. *IEEE Transactions on Communications*, 65(12) :5375–5385, 2017.