

Université de Mons  
Faculté des sciences  
Département d'Informatique  
Service de réseaux et télécommunications

---

**Réseau Wi-Fi multi-sauts sur  
plateforme ESP**

**Rapport de projet**

---

*Directeur :*  
Bruno QUOITIN

*Auteur :*  
Arnaud PALGEN



Année académique 2019-2020

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Etat de l'Art</b>	<b>2</b>
1.1	ESP-MESH . . . . .	2

# Chapitre 1

## Etat de l'Art

### 1.1 ESP-MESH

ESP-MESH est le protocole du constructeur Espressif permettant d'établir un réseau mesh avec des ESP32. Cette section explique le fonctionnement de ce protocole.

La topologie ici utilisée est l'arbre. La racine de l'arbre est la seule interface entre le réseau ESP-MESH et le reste du réseau.

#### Construction d'un réseau

##### 1. Élection de la racine

###### — Sélection automatique

Chaque noeud se trouvant à l'état idle va transmettre son adresse MAC et la valeur de son RSSI avec le routeur via des beacons. Simultanément, chaque noeud scan les beacons des autres noeuds. Si un noeud en détecte un autre avec un RSSI plus fort, il va transmettre le contenu de ce beacon (càd voter pour ce noeud). Ce processus sera répété pendant un nombre minimum d'itérations. Après toutes les itérations, chaque noeud va calculer le ratio

$$\frac{\text{nombre de votes}}{\text{nombre de noeuds participants à l'élection}}$$

Si ce ratio est au dessus d'un certain seuil, ce noeud deviendra la racine.

###### — Sélection par l'utilisateur

La racine se connecte au routeur et elle ainsi que les autres noeuds, oublient le processus d'élection.

2. Formation de la deuxième couche

Les noeuds dans l'état idle à portée de la racine vont s'y connecter et devenir des noeuds intermédiaires.

3. Formation des autres couches

Les noeuds dans l'état idle à portée de noeuds intermédiaires vont s'y connecter. Si plusieurs parents sont possibles, un noeud choisira son parent selon deux critères :

1. La couche sur laquelle se situe le candidat parent : le candidat se trouvant sur la couche la moins profonde sera choisi.

2. Le nombre d'enfants du candidat parent : si plusieurs candidats se trouvent sur la couche la moins profonde, celui avec le moins d'enfants sera choisi.

Une fois connecté, les noeuds deviendront des noeuds intermédiaires si le nombre maximale de couche n'est pas atteint. Sinon, les noeuds de la dernière couche deviendront automatiquement des feuilles, empêchant d'autres noeuds dans l'état idle de s'y connecter.

Pour éviter les boucles, un noeud ne va pas se connecter à un noeud dont l'adresse MAC se trouve dans sa table de routage.

## **Routage**

1. Table de routage

Chaque noeud possède sa table de routage. Soit  $p$  un noeud, sa table de routage contient les adresses MAC des noeuds du sous-arbre ayant  $p$  comme racine, et également celle de  $p$ .

Elle est partitionnée en sous-tables qui correspondent au sous-arbres des enfants de  $p$ .

2. Protocole de routage

Quand un paquet est reçu,

— Si l'adresse MAC du paquet est dans la table de routage et si elle est différente de l'adresse du noeud l'ayant reçu, le paquet est envoyé à l'enfant correspondant à la sous-table contenant l'adresse.

— Si l'adresse n'est pas dans la table de routage, le paquet est envoyé au parent.

ESP-MESH utilise un mécanisme de vérification de chemin pour détecter les boucles. Si une boucle arrive, un parent va prévenir son enfant et initier une déconnexion.

### **Mise sous tension asynchrone**

La structure du réseau peut être affectée par l'ordre dans lequel les noeuds sont mis sous tension. Les noeuds ayant une mise en tension retardée suivront les deux règles suivantes :

1. Si une racine existe déjà, le noeud ne va pas essayer d'élire une nouvelle racine même si son RSSI avec le routeur est meilleur. Il va rejoindre le réseau comme un noeud dans l'état idle.  
Si le noeud est la racine désignée, tous les autres noeuds vont rester dans l'état idle jusqu'à ce que le noeud soit mis en tension.
2. Si le noeud devient un noeud intermédiaire, il peut devenir le meilleur parent d'un autre noeud ( cet autre noeud changera donc de parent).
3. Si un noeud dans l'état idle a un parent prédéfini et que ce noeud n'est pas sous tension, il ne va pas essayer de se connecter à un autre parent.

### **Défaillance d'un noeud**

- Défaillance de la racine  
Si la racine tombe, les noeuds de la deuxième vont d'abord tenter de s'y reconnecter. Après plusieurs essais ayant échoué, les noeuds de la deuxième couche vont entamer entre eux, le processus d'élection d'un nouvelle racine.  
Si la racine ainsi que plusieurs couches tombent, le processus d'élection sera initialisé sur la couche la plus haute.
- Défaillance d'un noeud intermédiaire  
Si un noeud intermédiaire tombe, ses enfants vont d'abord tenter de s'y reconnecter. Après plusieurs essais ayant échoué, ils se connecteront au meilleur parent disponible.  
S'il n'y a aucun parent possible, ils se mettront dans l'état idle.

### **Changement de racine**

Un changement de racine n'est possible que dans deux situations :

1. La racine tombe. (voir point précédent)
2. La racine le demande. Dans ce cas, un processus d'élection de racine sera initialisé. La nouvelle racine élue enverra alors une switch request à la racine actuelle qui répondra par un acquiescement. Ensuite la nouvelle racine se déconnectera de son parent et se connectera au routeur. L'ancienne racine se déconnectera du routeur et rentrera dans l'état idle pour enfin se connecter à un nouveau parent.

## Paquets ESP-MESH

Les paquets ESP-MESH sont contenu dans une trame wifi. Une transmission mutli-sauts utilisera un paquet ESP-MESH transporté entre chaque noeuds par un paquet wifi différent.

La figure 1.1 montre la structure d'un paquet ESP-MESH :

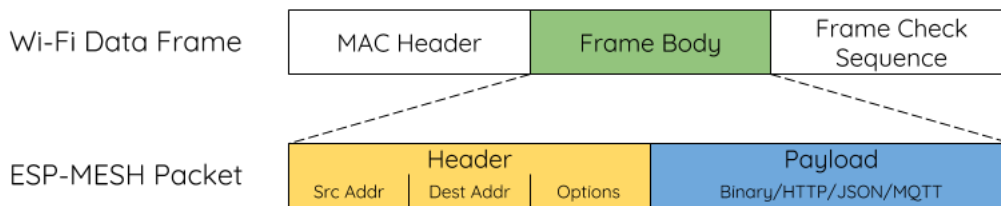


FIGURE 1.1 – Paquet ESP-MESH [1]

Le header d'un paquet ESP-MESH contient les adresses MAC source et destination ainsi que diverse options.

Le payload d'un paquet ESP-MESH contient les données de l'application.

## Multicasting

Le multicasting permet d'envoyer simultanément un paquet ESP-MESH à plusieurs noeud du réseau. Le multicasting peut être réalisé en spécifiant

- Soit un ensemble d'adresses MAC  
Dans ce cas, l'adresse de destination doit être `01:00:5E:xx:xx:xx`  
Cela signifie que le paquet est un pquet multicast et que la liste des adresses peut être obtenue dans les options du header.
- Soit un groupe préconfiguré de noeuds  
Dans ce cas, l'adresse de destination du paquet doit être l'ID<sup>1</sup> du groupe et un flag `MESH_DATA_GROUP` doit être ajouté.

## Broadcasting

Le broadcasting permet de transmettre un paquet ESP-MESH à tous les noeuds du réseau. Pour éviter de gaspiller de la bande passante, ESP-MESH utilise les règles suivantes :

1. Quand un noeud intermédiaire reçoit un paquet broadcast de son parent, il va le transmettre à tous ses enfants et en stocker une copie
2. Quand un noeud intermédiaire est la source d'un paquet broadcast, il va le transmettre à son parent et à ses enfants

---

1. Dans un réseau ESP-MESH, chaque groupe a un ID unique

3. Quand un noeud intermédiaire reçoit un paquet d'un de ses enfants, il va le transmettre à ses autres enfants, son parent et en stocker une copie
4. Quand une feuille est la source d'un paquet broadcast, elle va le transmettre à son parent
5. Quand la racine est la source d'un paquet broadcast, elle va le transmettre à ses enfants
6. Quand la racine reçoit un paquet broadcast de l'un de ses enfants, elle va le transmettre à ses autres enfants et en stocker une copie
7. Quand un noeud reçoit un paquet broadcast avec son adresse MAC comme adresse source, il l'ignore
8. Quand un noeud intermédiaire reçoit un paquet broadcast de son parent, qui a été à l'origine transmis par l'un de ses enfants, il va l'ignorer

### Contrôle de flux

Pour éviter que les parents soient submergés de flux venant de leurs enfants, chaque parent va assigner une fenêtre de réception à chaque enfant. Chaque noeud enfant doit demander une une fenêtre de réception avant chaque transmission. La taille de la fenêtre peut être ajustée dynamiquement. Une transmission d'un enfant vers un parent se déroule en plusieurs étapes :

1. Le noeud enfant envoie à son parent une requête de fenêtre. Cette requête contient le numéro de séquence du paquet en attente d'envoi.
2. Le parent reçoit la requête et compare le numéro de séquence avec celui du précédent paquet envoyé par l'enfant. La comparaison est utilisée pour calculer la taille de la fenêtre qui est transmise à l'enfant.
3. L'enfant transmet le paquet en accord avec la taille de fenêtre. Une fois la fenêtre de réception utilisée, l'enfant doit renvoyer une demande de fenêtre.

### Performances

Espressif fournit les performances d'ESP-MESH pour un réseau de 100 noeuds avec un nombre maximum de couches de 6 et un nombre d'enfants maximum par noeuds de 6.

Temps de construction du réseau	< 60 secondes
Latence par saut	10 à 30 millisecondes
Temps de réparation du réseau	Si la racine tombe : < 10 secondes Si un noeud enfant tombe : < 5 secondes

# Bibliographie

- [1] Esp-mesh api guide, 2018. <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/api-guides/mesh.html>.