

# Technologies de communication sans fil

## Table des matières

Objectifs.....	2
Wi-Fi.....	2
SSID.....	2
Standard Wi-Fi.....	2
Bandes de fréquence.....	3
Vitesse maximale.....	5
Sécurité et chiffrement.....	5
Bluetooth.....	5
Technologies à basse consommation.....	6
Bluetooth Low Energy (BLE).....	6
Zigbee.....	7
Z-Wave.....	8
Synthèse.....	9
Références.....	10



## Objectifs

- Connaître les caractéristiques importantes des réseaux et points d'accès Wi-Fi
- Explorer d'autres technologies de communication sans fil disponibles sur le marché
- Comprendre ce qui les caractérise et les différencie
- Être en mesure de choisir la technologie de communication sans fil la plus appropriée selon la situation

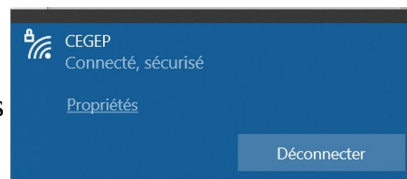
## Wi-Fi

Le Wi-Fi est une technologie que vous connaissez déjà, puisque vous l'utilisez quotidiennement. Elle permet à des appareils électroniques (ordinateurs, téléphones, tablettes, objets connectés, etc) d'obtenir un accès sans fil au réseau local, de même qu'à Internet par le biais d'une passerelle sur le réseau. Un appareil connecté par Wi-Fi utilise les protocoles de la suite TCP/IP pour communiquer avec les autres appareils.

Dans ces notes de cours, le terme « point d'accès » sera utilisé de manière générique pour désigner un dispositif permettant de déployer un réseau Wi-Fi, que ce soit un routeur, une borne d'accès ou autre.

## SSID

Vous connaissez déjà la notion de SSID d'un réseau Wi-Fi, sans peut-être le savoir. Le terme SSID, pour « *Service Set Identifier* », désigne simplement le nom identifiant un réseau Wi-Fi. Par exemple, pour vous connecter au réseau du Cégep de Sherbrooke, vous utilisez le SSID « CEGEP ». Un point d'accès Wi-Fi diffuse habituellement son SSID, ce qui permet aux utilisateurs de le voir sur leurs appareils et de le sélectionner pour se connecter au réseau correspondant.



## Standard Wi-Fi

Le fonctionnement des réseaux Wi-Fi est régi par un ensemble de standards appelé *IEEE 802.11*. Des noms plus familiers, attribués par la *Wi-Fi Alliance*<sup>1</sup>, existent pour certains de ces standards, tels que Wi-Fi 6, Wi-Fi 5, etc. Voici un aperçu des différents standards existants :

Standard	Nom familier	Année d'introduction	Débit maximal théorique
IEEE 802.11ax	Wi-Fi 6	2019	10,53 Gigabits/s
IEEE 802.11ac	Wi-Fi 5	2013	3,46 Gigabits/s

1 <https://www.wi-fi.org/>

IEEE 802.11n	Wi-Fi 4	2009	600 Mégabits/s
IEEE 802.11g	Wi-Fi 3 ( <i>nommé rétroactivement<sup>2</sup></i> )	2003	54 Mégabits/s
IEEE 802.11a	Wi-Fi 2 ( <i>nommé rétroactivement</i> )	1999	54 Mégabits/s
IEEE 802.11b	Wi-Fi 1 ( <i>nommé rétroactivement</i> )	1999	11 Mégabits/s

En règle générale, un standard d'une génération plus récente est plus performant (donc plus rapide), à condition que les appareils clients soient compatibles.

## Wi-Fi 6

Wi-Fi 6 est le standard Wi-Fi le plus récent. Il est rétrocompatible, c'est-à-dire que les clients ne supportant que Wi-Fi 5 ou Wi-Fi 4 peuvent tout de même se connecter à un réseau Wi-Fi 6. Ces clients ne profiteront cependant pas des avantages propres à cette nouvelle version du standard. Ces avantages sont les suivants :

- Une plus grande vitesse
- Une plus faible consommation d'énergie
- Une meilleure performance dans un environnement bondé (c'est-à-dire lorsqu'il y a un grand nombre d'appareils connectés au réseau)

Les appareils mobiles compatibles peuvent donc bénéficier particulièrement du Wi-Fi 6, puisque sa plus faible consommation d'énergie peut permettre d'utiliser la pile d'un appareil plus longtemps avant de devoir la recharger. Ce standard est aussi très avantageux dans un environnement où beaucoup d'appareils doivent utiliser le réseau sans fil en même temps, par exemple lorsqu'on possède beaucoup d'objets connectés, ou bien dans un lieu public.

## Bandes de fréquence

Les réseaux Wi-Fi peuvent utiliser différentes bandes de fréquence radio, les plus courantes étant 2,4 GHz et 5 GHz. La bande 6 GHz peut aussi être utilisée avec le standard Wi-Fi 6.

La bande utilisée change la vitesse et la portée du réseau. Par exemple, voici les différences entre les bandes 2,4 GHz et 5 GHz :

- **2,4 Ghz**
  - Plus lent
  - Meilleure portée
  - Traverse les obstacles (tels que les murs) plus facilement, donc :
    - Permet une meilleure couverture

---

2 <https://www.pcmag.com/news/what-is-wi-fi-6-new-wi-fi-names-explained>

- Mais est plus susceptible aux interférences (ex : le voisinage)
- **5 GHz**
  - Plus rapide
  - Plus courte portée
  - Traverse moins bien les obstacles (tels que les murs), donc :
    - La couverture est moins bonne
    - Est moins susceptible aux interférences (les murs extérieurs bloquent davantage les ondes)

Notons qu'on peut généraliser ces caractéristiques à d'autres fréquences : avec une fréquence plus élevée, on peut atteindre de meilleures vitesses de transfert, mais les ondes se rendent moins loin et traversent moins bien les obstacles.

Les bandes disponibles dépendent du standard Wi-Fi utilisé. Par exemple :

Standard Wi-Fi	Bande(s) disponible(s)
Wi-Fi 4	2,4 GHz
Wi-Fi 5	5 GHz
Wi-Fi 6	2,4 GHz, 5 Ghz, 6 Ghz

La plupart des points d'accès Wi-Fi permettent d'utiliser à la fois la bande 2,4 GHz et la bande 5 GHz, soit sur le même SSID, soit sur des SSID distincts (c'est donc dire que beaucoup d'appareils supportent à la fois les standards Wi-Fi 4 et Wi-Fi 5). Lorsque les deux bandes sont utilisées sur le même SSID, c'est l'appareil client (s'il est compatible avec les deux bandes) qui choisit la bande qui lui paraît la plus appropriée (bien que certains points d'accès puissent être configurés pour forcer les clients compatibles à préférer la bande 5 GHz lorsque possible<sup>3</sup>).

Pour un réseau domestique, l'utilisation des deux bandes est recommandée, puisqu'elle permet aux appareils de bénéficier des meilleures performances de la bande 5 GHz lorsque possible, tout en étant tout de même capables d'utiliser le Wi-Fi lorsque les conditions ne permettent pas d'utiliser cette bande (par exemple, lorsque l'appareil est trop loin du routeur, ou à l'extérieur). Certains appareils plus anciens ne supportent d'ailleurs que la bande 2,4 Ghz.

Attention : il ne faut pas confondre la bande 5 GHz avec le terme « 5G », qui désigne une technologie de réseau cellulaire (« 5<sup>e</sup> génération ») et n'a rien à voir avec la fréquence des ondes.

3 <https://www.actiontec.com/what-is-band-steering/>

## Vitesse maximale

Lorsqu'on magasine des points d'accès Wi-Fi (par exemple, des routeurs résidentiels), il est courant de voir des termes tels que « AC1900 » ou « AX6000 ». Les deux lettres font ici référence au standard Wi-Fi utilisé : AC pour Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac) et AX pour Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax). Les chiffres, pour leur part, font référence à la vitesse maximale supportée par le point d'accès, en Mégabits par seconde. Attention cependant : vous n'atteindrez jamais cette vitesse dans la réalité, d'abord parce qu'il s'agit de la vitesse maximale *théorique* (dans des conditions idéales), et que cette vitesse est partagée entre les bandes (par exemple, un point d'accès ayant une bande 2,4 GHz et une bande 5 GHz attribuera une partie de la vitesse à chacune de ces bandes), ainsi qu'entre tous les appareils connectés au réseau sans fil. Par ailleurs, on ne peut évidemment jamais dépasser la vitesse de la connexion Internet lorsqu'on télécharge des données depuis un hôte distant.

## Sécurité et chiffrement

Vous savez déjà qu'un réseau Wi-Fi nécessite habituellement un mot de passe pour s'y connecter. Cette authentification est gérée par le standard WPA, pour « *Wi-Fi Protected Access* ». Celui-ci est né au début des années 2000 pour remplacer le standard WEP (pour « *Wired Equivalent Privacy* »), qui présentait des vulnérabilités de sécurité importantes. Il gère aussi le chiffrement des données échangées sur le réseau.

Il existe 3 versions du standard: WPA, WPA2 et WPA3. Chaque nouvelle version apporte une meilleure sécurité que la précédente. Depuis juillet 2020, les appareils utilisant le Wi-Fi doivent obligatoirement supporter le standard WPA3 pour pouvoir être certifiés par la *Wi-Fi Alliance*.

Deux modes d'authentification sont supportés par le standard :

- WPA-Personal (ou WPA-PSK, pour « *Pre-Shared Key* ») : tous les appareils se connectent au réseau à l'aide d'un même mot de passe. C'est le mode normalement utilisé pour les petits réseaux, notamment résidentiels.
- WPA-Enterprise (ou WPA-802.1x) : ce mode d'authentification oblige chaque utilisateur à saisir un nom d'utilisateur et un mot de passe pour se connecter au réseau. Ce mode est couramment utilisé en entreprise. Pour être mis en place, il nécessite habituellement un serveur d'authentification utilisant le protocole RADIUS<sup>4</sup>.

## Bluetooth

Le Bluetooth est une autre technologie qui vous est sans doute familière. Contrairement au Wi-Fi, le Bluetooth ne permet pas de mettre plusieurs appareils en réseau, et les appareils n'utilisent pas les protocoles de la suite TCP/IP pour communiquer entre eux. L'utilité du Bluetooth est plutôt d'échanger des données entre deux appareils sur une courte portée. Pour ce faire, il faut d'abord associer les deux appareils. Ce processus est communément désigné sous son nom anglais, le « *pairing* ».

---

4 [https://fr.wikipedia.org/wiki/Remote\\_Authentication\\_Dial-In\\_User\\_Service](https://fr.wikipedia.org/wiki/Remote_Authentication_Dial-In_User_Service)

Le Bluetooth utilise la bande de fréquence 2,4 GHz, qui est également utilisée par le Wi-Fi. Ces deux technologies peuvent donc parfois interférer l'une avec l'autre, ce qui peut causer des baisses de débit.

Il existe plusieurs versions du standard Bluetooth, la plus récente étant la version 5.3, publiée en juillet 2021. Cette version permet d'atteindre des débits de transmission jusqu'à 3 Mégabits/s<sup>5</sup>. Ce débit est suffisant pour la transmission audio, mais le Wi-Fi est favorisé pour les usages plus exigeants (ex : transmission vidéo).

## Technologies à basse consommation

Dans le domaine de la domotique ou celui des objets connectés (IoT) en général, il est fréquent de trouver des appareils qui sont alimentés uniquement par des piles. Pensons notamment aux capteurs de température ou d'humidité, aux montres intelligentes, aux moniteurs d'activité physique (ex : Fitbit) ou encore aux balises de proximité (ex : iBeacon<sup>6</sup>), soit des appareils pour lesquels il n'est pas toujours pratique de fournir une alimentation en électricité. Les technologies Wi-Fi et Bluetooth ne sont pas appropriées pour ces appareils, puisqu'elles sont énergivores et épuiseront donc les piles trop rapidement. Pour ce genre d'usage, on veut plutôt que les piles puissent alimenter les appareils pendant plusieurs mois, voire plusieurs années avant d'avoir à être remplacées. C'est pour cette raison que la plupart de ces objets utilisent plutôt des technologies de communication sans fil dites « à basse consommation ». Nous aborderons ici trois de ces technologies :

- Bluetooth Low Energy (BLE)
- Zigbee
- Z-Wave

Ces trois technologies ont en commun d'être conçues pour des cas d'utilisation où de petites quantités de données doivent être échangées de façon intermittente. C'est ce qui permet d'optimiser la consommation d'énergie requise pour leur fonctionnement. Les technologies Wi-Fi et Bluetooth, pour leur part, sont plus appropriées pour les appareils qui doivent échanger de plus grandes quantités de données de manière constante.

## Bluetooth Low Energy (BLE)

La technologie Bluetooth Low Energy, souvent désignée sous son acronyme BLE, fait partie de la spécification de Bluetooth depuis sa version 4. Bluetooth et BLE ne sont cependant pas compatibles entre eux, et un appareil Bluetooth ne peut donc pas communiquer avec un appareil BLE. Cela dit, la plupart des appareils mobiles récents supportent les deux standards. On peut donc communiquer avec un appareil BLE directement à partir d'un téléphone intelligent, ce qui est pratique pour interagir avec des objets connectés.

---

5 <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>

6 <https://fr.wikipedia.org/wiki/IBeacon>

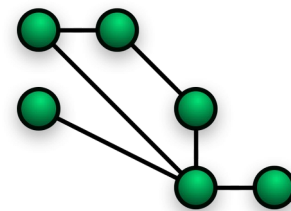
BLE utilise la bande de fréquence 2,4 GHz, comme Bluetooth et Wi-Fi. La principale différence avec Bluetooth est qu'un appareil BLE demeure « en dormance » jusqu'à ce qu'une connexion survienne, ce qui permet de consommer moins d'énergie. Les connexions ne durent en général que quelques millisecondes, puisque les données à transmettre sont généralement minimales. Il existe aussi des utilisations de BLE « sans connexion », c'est-à-dire qu'un appareil peut diffuser des données en BLE sans devoir établir de connexion (association ou *pairing*) avec les récepteurs (pensons par exemple à un capteur qui diffuse la température dans une pièce à des intervalles régulières pour que d'autres appareils puissent utiliser cette information).

BLE supporte des débits de transmission entre 125 Kilobits/s et 2 Mégabits/s.

## Zigbee

Zigbee est un autre protocole de communication sans fil à basse consommation et à bas débit conçu principalement pour la domotique. Bien qu'il s'agisse d'une technologie à basse consommation, on ne la trouve pas uniquement dans des appareils alimentés par pile. Elle est par exemple fréquemment utilisée par les ampoules intelligentes et les interrupteurs intelligents. L'utilisation de cette technologie au lieu du Wi-Fi peut avoir pour avantages de désencombrer le réseau Wi-Fi et forcer le contrôle local des objets connectés (par opposition aux appareils Wi-Fi qui sont souvent contrôlés par des serveurs distants et qui nécessitent donc une connexion Internet fonctionnelle pour être utilisés – ces appareils souffrent par ailleurs parfois de vulnérabilités qui peuvent compromettre la sécurité d'un réseau).

Une particularité importante de Zigbee (et de son principal compétiteur, Z-Wave) est qu'il peut créer automatiquement un réseau maillé (Mesh), c'est-à-dire un réseau pair à pair dont les nœuds peuvent relayer les données à d'autres nœuds. Un réseau Zigbee comprend trois types de nœuds :



[Image par l'utilisateur Foobaz sur Wikimedia Commons \(domaine public\)](#)

- Un **coordonnateur Zigbee** (ZC pour « *Zigbee Coordinator* ») : c'est l'appareil qui crée et coordonne le réseau. Tout réseau Zigbee en comprend exactement un.
- Un **routeur Zigbee** (ZR pour « *Zigbee Router* ») : c'est un appareil qui fait partie du réseau (par exemple, une prise intelligente) et qui peut aussi servir de relais dans le réseau maillé. Un réseau Zigbee peut en comprendre plusieurs. Les appareils de ce type permettent d'augmenter la robustesse et la portée du réseau. Il s'agit obligatoirement d'appareils branchés à l'alimentation électrique, puisqu'ils doivent demeurer éveillés en permanence afin d'être en mesure de relayer les données. On dit aussi qu'il s'agit d'appareils « à fonctionnalité complète » (traduction libre de « *Full-Function Device* » ou FFD) puisqu'ils implémentent la fonctionnalité complète de Zigbee (ils accomplissent la fonction pour laquelle ils ont été prévus ET agissent comme relais).
- Un **point de terminaison Zigbee** (traduction libre de « *Zigbee Endpoint Device* » ou ZED) : c'est un appareil qui fait partie du réseau Zigbee, mais qui ne peut pas relayer les données aux autres nœuds du réseau. Il s'agit typiquement d'appareils alimentés par pile (par exemple, des

capteurs), on ne veut donc pas qu'ils agissent comme relais, car cela les forcerait à demeurer éveillés en tout temps, ce qui viderait la pile rapidement. On dit donc qu'il s'agit d'appareils « à fonctionnalité réduite » (traduction libre de « *Reduced Function Device* » ou RFD).

Zigbee utilise la bande de fréquence 2,4 GHz, tout comme le Wi-Fi, le Bluetooth et le BLE. Un réseau Zigbee peut donc interférer avec ces technologies. Jusqu'à 65 000 appareils peuvent faire partie d'un réseau Zigbee. Cette technologie permet des débits de transmission jusqu'à 250 Kilobits/s.

Zigbee est un protocole ouvert dont il existe plusieurs variantes. Cette particularité cause parfois des problèmes d'interopérabilité, c'est-à-dire que certains appareils Zigbee ne peuvent pas interagir avec certains autres appareils Zigbee. La version 3.0 du protocole vise à résoudre ce problème en unifiant les différentes variantes. Un appareil Zigbee 3.0 devrait donc théoriquement pouvoir interagir sans problème avec tous les autres appareils Zigbee 3.0, à condition d'avoir été certifié comme tel par la *Connectivity Standards Alliance* (anciennement la *Zigbee Alliance*). Avant cette version, même des appareils certifiés pouvaient être incompatibles entre eux.

## Z-Wave

Z-Wave est le principal compétiteur de Zigbee, car il s'agit d'une technologie assez semblable. Comme Zigbee, il s'agit d'une technologie de communication sans fil à basse consommation et à bas débit. Comme Zigbee, elle peut créer automatiquement un réseau maillé dont les nœuds (à l'exception de ceux alimentés par pile) agissent comme relais de données pour les autres nœuds. Les principales différences avec Zigbee sont les suivantes :

- Z-Wave utilise la bande de fréquence 900 MHz, ce qui permet aux appareils du réseau d'avoir une meilleure portée en plus d'éviter les interférences avec les réseaux Wi-Fi, Bluetooth et BLE.
- Z-Wave supporte un maximum de 232 appareils sur un même réseau, contre 65 000 pour Zigbee.
- Z-Wave permet un débit jusqu'à 100 Kilobits/s, contre 250 Kilobits/s pour Zigbee.
- Le standard Z-Wave est en partie fermé, mais en cours d'ouverture par la *Z-Wave Alliance*.
- L'interopérabilité entre appareils Z-Wave est meilleure que pour Zigbee (bien que Zigbee 3.0 améliore cet aspect).

L'utilisation de la bande 900 MHz est indéniablement le plus grand avantage de Z-Wave par rapport à Zigbee. Malgré cet avantage, il est difficile de trouver des appareils Z-Wave pour certains types de produits, tels que les ampoules intelligentes. D'autres types de produits utilisant cette technologie sont cependant plus communs, comme les capteurs (d'ouverture de porte, de température, de mouvement, etc), les prises de courant, interrupteurs et thermostats intelligents. Les appareils utilisant Z-Wave sont par ailleurs souvent plus coûteux que ceux utilisant Zigbee, mais l'ouverture du standard devrait contribuer à améliorer la situation.



# Synthèse

Le tableau suivant<sup>7</sup> présente une synthèse de la comparaison entre les technologies Wi-Fi, Bluetooth, Bluetooth Low Energy (BLE), Zigbee et Z-Wave :

Caractéristique	Wi-Fi	Bluetooth	Bluetooth Low Energy (BLE)	Zigbee	Z-Wave
<b>Fréquence(s)</b>	2,4 GHz / 5 GHz / 6 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	900 MHz
<b>Interférence</b>	Interférence possible en 2,4 GHz avec Bluetooth, BLE et Zigbee	Interférence possible avec Wi-Fi, BLE et Zigbee	Interférence possible avec Wi-Fi, Bluetooth et Zigbee	Interférence possible avec Wi-Fi, Bluetooth et BLE	Pas d'interférence avec Wi-Fi, Bluetooth, BLE et Zigbee
<b>Réseau maillé (Mesh)</b>	Possible avec des routeurs Mesh	Non	Possible	Automatique	Automatique
<b>Consommation d'énergie</b>	Élevée	Moyenne	Faible	Faible	Faible
<b>Débit</b>	Débit théorique maximal de 9,6 Gigabits/s en Wi-Fi 6	Jusqu'à 3 Mégabits/s	Jusqu'à 2 Mégabits/s	Jusqu'à 250 Kilobits/s	Jusqu'à 100 Kilobits/s
<b>Disponibilité des appareils</b>	Excellente	Excellente pour les périphériques sans fil tels que des écouteurs, claviers, souris, manettes de jeu, etc. Pas vraiment utilisé pour la domotique.	Faible, mais en augmentation	Modérée	Faible, à part pour les capteurs
<b>Coût des appareils</b>	Faible	Moyen	Moyen	Élevé	Élevé

<sup>7</sup> Inspiré de ce tableau : <https://www.smarthomepoint.com/Zigbee-zwave-wifi-bluetooth-comparison/#a-comparison-of-Zigbee-vs-z-wave-vs-wifi-vs-bluetooth>

## Références

- <https://www.lifewire.com/definition-of-service-set-identifier-816547>
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](https://fr.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11)
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
- <https://www.pcmag.com/news/what-is-wi-fi-6-new-wi-fi-names-explained>
- <https://www.minim.com/blog/wifi-4-vs-wifi-5-vs-wifi-6>
- <https://www.youtube.com/watch?v=Mx5-T8ZwxbU>
- <https://www.howtogeek.com/368332/wi-fi-6-what%E2%80%99s-different-and-why-it-matters/>
- <https://www.actiontec.com/what-is-band-steering/>
- <https://www.intel.com/content/www/us/en/gaming/resources/wifi-6.html>
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/5G>
- <https://www.pcmag.com/how-to/what-do-those-ac-and-ax-numbers-on-your-wi-fi-router-mean>
- <https://ham.stackexchange.com/questions/5547/what-is-the-difference-between-channel-frequency-band-in-rf>
- [https://www.youtube.com/watch?v=B\\_vwGEbi36Q](https://www.youtube.com/watch?v=B_vwGEbi36Q)
- <https://www.spiceworks.com/tech/networking/articles/wpa-wifi-protected-access/>
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Remote\\_Authentication\\_Dial-In\\_User\\_Service](https://fr.wikipedia.org/wiki/Remote_Authentication_Dial-In_User_Service)
- <https://www.hellotech.com/blog/what-is-the-difference-between-bluetooth-and-wifi>
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>
- <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/core-specification-5-3/>
- <https://volantechnology.com/blog/bluetooth-vs-ble/>
- <https://www.link-labs.com/blog/bluetooth-vs-bluetooth-low-energy>
- <https://www.smarthomepoint.com/Zigbee-zwave-wifi-bluetooth-comparison/>
- <https://www.hackster.io/news/comparison-of-wireless-technologies-bluetooth-wifi-ble-Zigbee-z-wave-6lowpan-nfc-wifi-eece5593d80f>
- <https://restechtoday.com/making-sense-of-smart-home-protocols-now-and-in-the-future/>
- <https://predictabledesigns.com/wireless-technologies-bluetooth-wifi-Zigbee-gsm-lte-lora-nb-iot-lte-m/>

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth\\_Low\\_Energy](https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_Low_Energy)
- <https://stackoverflow.com/questions/61320592/does-ble-data-transfer-require-pairing-pairless-bt-data-transfer#answer-61327312>
- <https://www.blackhillsinfosec.com/understanding-Zigbee-and-wireless-mesh-networking/>
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Topologie\\_mesh](https://fr.wikipedia.org/wiki/Topologie_mesh)
- <https://www.digi.com/solutions/by-technology/Zigbee-wireless-standard>
- <https://csa-iot.org/all-solutions/Zigbee/Zigbee-faq/>
- <https://www.theverge.com/2019/12/19/21029661/zwave-open-standard-radios-smart-home-multiple-vendors-silicon-labs>
- <https://www.the-ambient.com/guides/zwave-z-wave-smart-home-guide-281>
- <https://news.silabs.com/2019-12-19-Silicon-Labs-and-Z-Wave-Alliance-Expand-Smart-Home-Ecosystem-by-Opening-Z-Wave-to-Silicon-and-Stack-Suppliers>
- <https://www.cnx-software.com/2019/12/24/z-wave-open-standard-to-enable-third-party-z-wave-silicon-and-stack-suppliers/>
- <https://docs.silabs.com/z-wave/latest/z-wave-docs/zwave-specification>
- <https://www.nxp.com/docs/en/brochure/75017677.pdf>
- <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/recent-enhancements/mesh/>