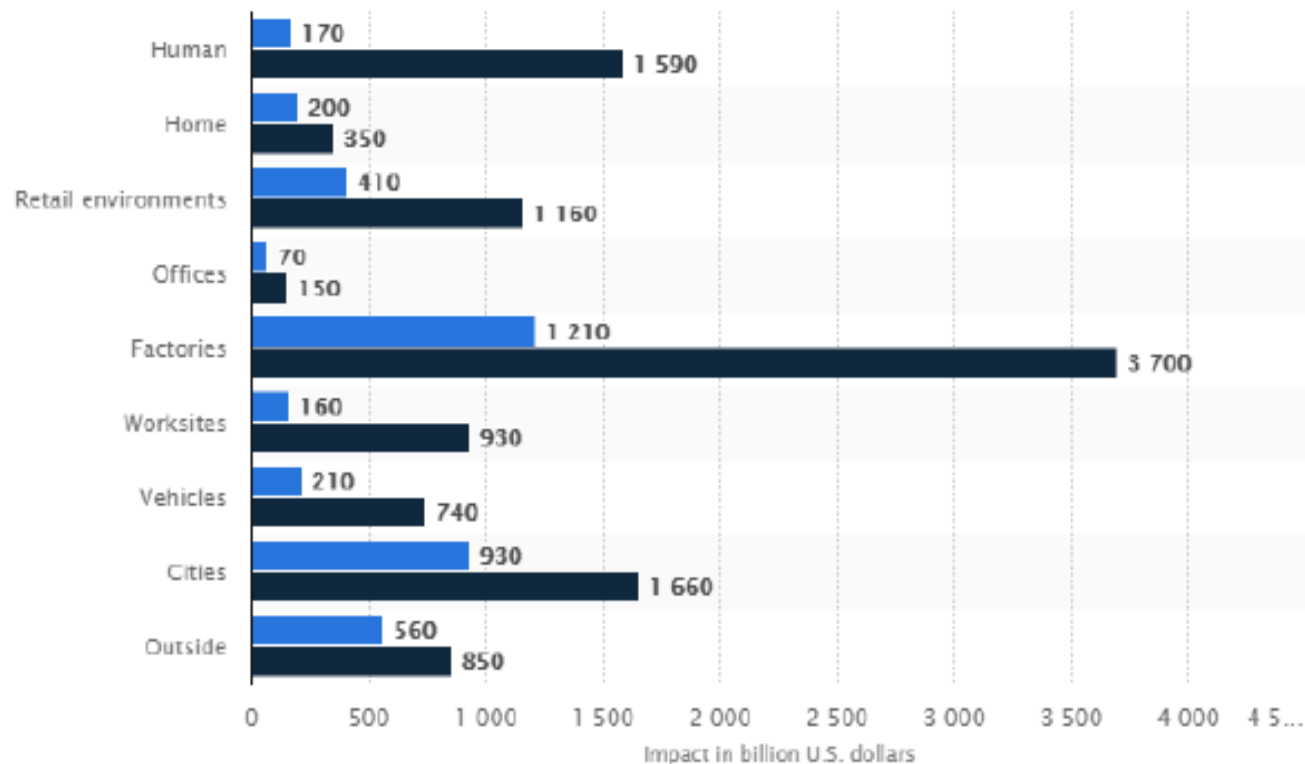




Prévisions du marché de l'IoT



Forecast economic impact of the Internet of Things (IoT) in 2025 (in billion U.S. dollars)

<https://www.statista.com/statistics/580778/worldwide-internet-of-things-economic-impact-forecast/>



Motivations

Facteurs économiques:

- Baisse des coûts des puces/capteurs
- Besoin de réduire sa facture d'électricité
- Domaine porteur pour les entreprises de l'IoT qui veulent augmenter leur chiffre d'affaires

Facteurs technologiques:

- Miniaturisation des composants
- Nouvelles technologies de communication
- Développement de l'intelligence artificielle
- Nouvelles méthodes pour le traitement de données massives (Big Data)

Facteurs politiques

- Pôles de compétitivité/compétences dans l'IoT (cnrfid, pôle SYSTEMATIC, etc.)
- Nouvelles réglementations européennes en termes de vie privée et d'utilisation des objets connectés
- Investissement dans les projets de villes intelligentes et de développement durable

Facteurs sociétaux

- Vieillesse de la société (besoin de méthodes nouvelles de soin basées sur la technologie)
- Prise de conscience des citoyens sur le fait écologique (privilégier les produits moins polluants, opter pour des solutions plus écologiques, etc.)



Constat

- Objets connectés sont des équipements limités en capacité mémoire, en puissance de calcul et en énergie
- 50% des objets connectés ont besoin d'une faible consommation
- Les réseaux de communication existants ne sont pas adaptés aux applis de l'IoT: portée, autonomie et coût.



Réseaux de communication

- Deux grands types de réseaux de communication radio peuvent être utilisés pour communiquer avec les objets connectés
 - **Les réseaux à courte portée**: de quelques centimètres à quelques centaines de mètres maximum : Bluetooth, RFID, NFC, ZigBee, WiFi, etc.
 - **Les réseaux à grande portée**: quelques centaines de mètres à plusieurs dizaines de kilomètres: réseaux cellulaires traditionnels (GSM, GPRS, LTE, etc.)

https://fr.slideshare.net/loTTunisia/rseau-lora?next_slideshow=1



Pourquoi des réseaux LPWAN?

- Les technologies Zigbee, Wifi, etc. ont une portée limitée,
 - L'utilisation de ces technologies est consommatrice de la batterie,
 - leur coût peut être élevé.
- La solution des réseaux cellulaires traditionnels est surdimensionnée pour les applications IoT
 - Un coût élevé, une grande infrastructure, grande puissance, débit important.
- Les réseaux LPWAN (***Low Power Wide Area Networks***) est une réponse adaptée au monde de l'IoT
 - Grande portée mais avec une faible consommation d'énergie



Prévisions pour LPWAN selon Machina Research

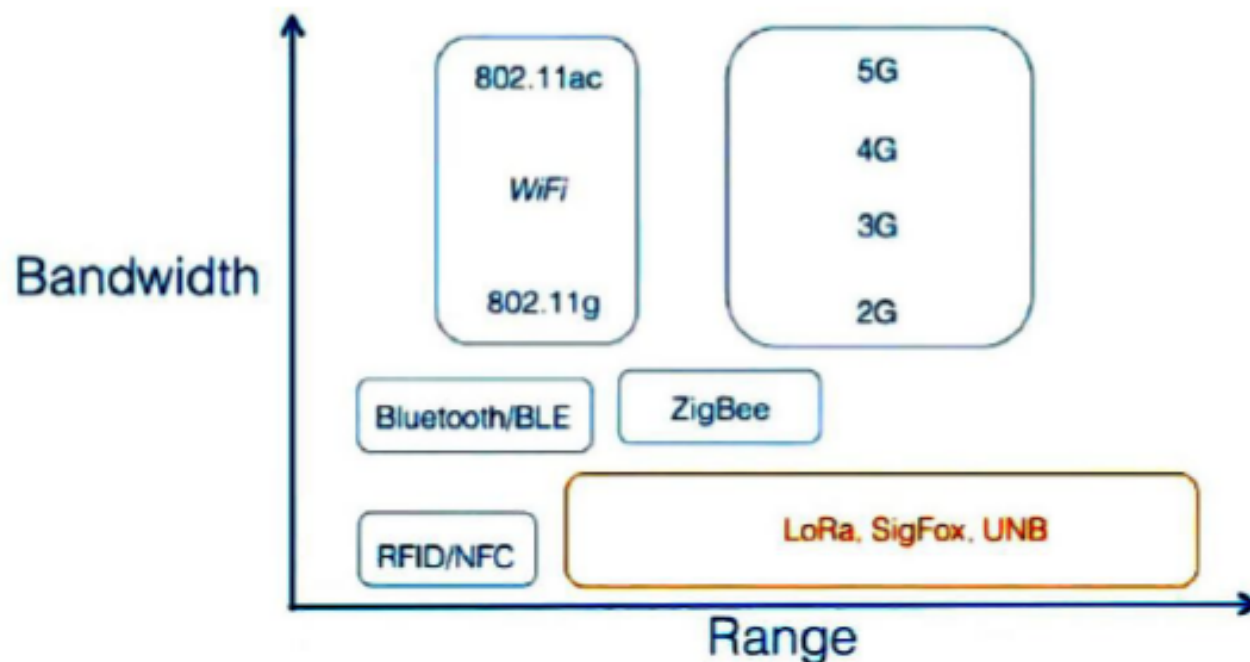


<https://www.gsma.com/iot/news/lpwa-market-forecast-connections-will-grow-3-billion-ten-years/>

Segmentation des technologies IoT

	Local Area Network Short Range Communication	Low Power Wide Area (LPWAN) Internet of Things	Cellular Network Traditional M2M
	40%	45%	15%
	Well established standards In building	Low power consumption Low cost Positioning	Existing coverage High data rate
	Battery Life Provisioning Network cost & dependencies	High data rate Emerging standards	Autonomy Total cost of ownership
	Bluetooth 4.0   WiFi		   

Positionnement des réseaux LPWAN



thethingsnetwork.org



LPWAN: caractéristiques/1

- Ce sont des réseaux sans fil, basse consommation, bas débit et longue portée, optimisés pour les équipements ayant besoin d'une autonomie de plusieurs années
- Les LPWAN utilisent les bandes de fréquences à usage libre sans licence appelées ISM (Industrial, Scientific, Medical)
- L'utilisation des bandes ISM implique le partage des ressources avec les concurrents (comme SigFox) et avec les autres technologies (Wifi, Zigbee, Bluetooth, RFID, etc.)
- Ces bandes de fréquences sont régulées par des autorités organisatrices et il est tenu de respecter des règles d'utilisation.

https://fr.slideshare.net/loTTunisia/rseau-lora?next_slideshow=1



LPWAN: caractéristiques/2

- LPWAN convient:
 - Aux applications qui ont besoin de communications de longue portée (douzaines de Km) et qui utilisent des objets de faible consommation
- Vitesse de transmission pour LPWAN:
 - de 300 bps à 5 kbps (avec une bande passante de 125 kHz)
- Exemples d'applications: villes intelligentes, agriculture de précision, e-santé, etc.



Domaines d'utilisation



<https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/se/internet-of-things/at-a-glance-c45-737308.pdf>



Les origines de LoraWAN

- LoRaWAN pour **Long Range** Radio Wide Area Network est un réseau LPWAN
- L'origine de cette technologie est la startup grenobloise Cycléo en 2010, rachetée en 2012 par Semtech (entreprise californienne de semi-conducteurs)
- La LoRa Alliance fait la promotion de la technologie open source LoRa
- LoRaWAN est un protocole de communication à bas débit, par radio, d'objets à faible consommation électrique connectés à l'Internet via des passerelles (<https://fr.wikipedia.org/wiki/LoRaWAN>)



LoRa Alliance: membres sponsors





LoRaWAN: caractéristiques/1

- LoRaWAN est un réseau basse consommation d'énergie, longue portée, adaptés aux objets connectés dont l'application requiert une autonomie importante
- Utilise des bandes de fréquence à usage libre ISM (partagée par d'autres technologies sans fil)
- Nécessite le respect des règles d'utilisation (puissance d'émission, rapport cyclique et bande passante)
- Exemples d'applis : smart cities, industrie connectée, agriculture de précision, etc.

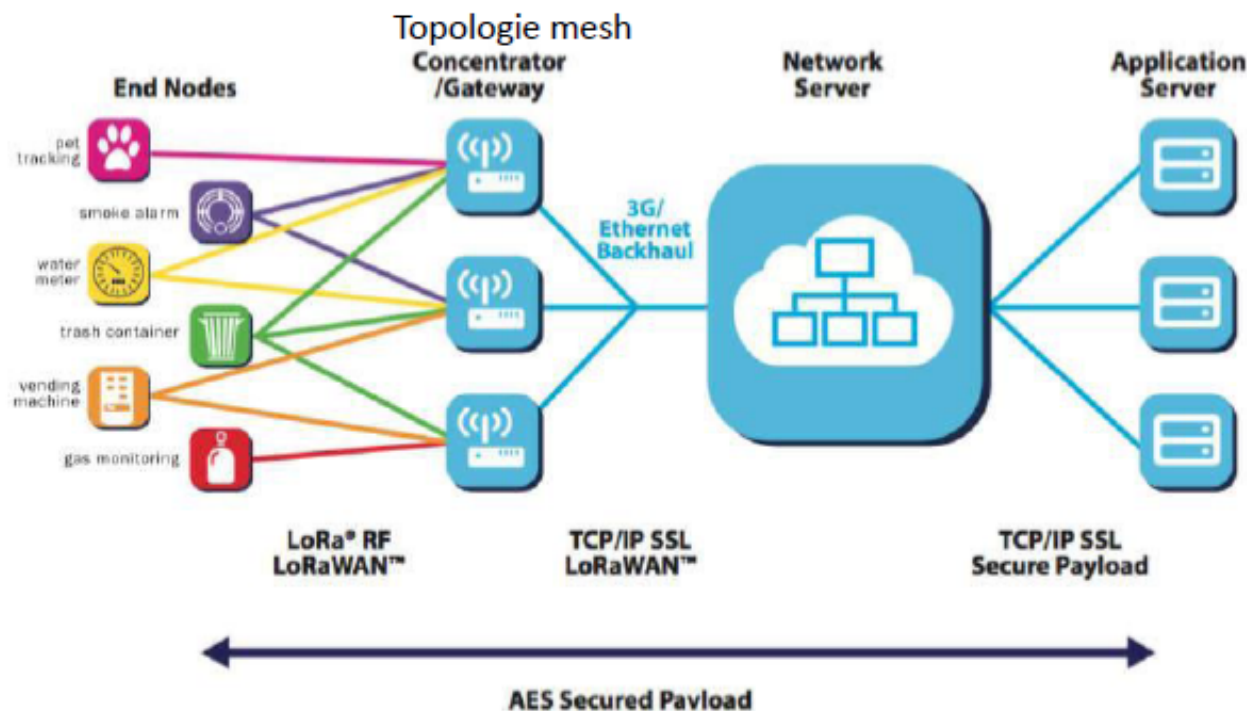
<http://www.linuxembedded.fr/2017/12/introduction-a-lora/>



LoRaWAN: caractéristiques/2

- LoRa est la couche physique qui permet des communications sans fil longue distance
- LoRaWAN définit le protocole de communication et l'architecture réseau
- LoRa utilise les bandes de fréquences ISM (868 MHz en Europe et 915 MHz aux USA)
- Une portée comprise entre 15 et 20 km dans les zones rurales et entre 3 et 8 km dans les zones urbaines
- Modulation à étalement de spectre
- Débit faible entre 300bps et 50Kbps selon le facteur d'étalement (spreading factor)

Architecture LoRa/1



- Topologie « star-of-stars »
- Au centre : le serveur réseau
- Les équipements sont dits end-devices
- Les end-devices communiquent en modulation LoRa avec les passerelles
- Les passerelles envoient les données vers le réseau via l'IP
- Le serveur réseau communique avec des serveurs applicatifs qui exploitent les données en provenance des end-devices.



Architecture LoRa/2

- Les nœuds extrémités utilisent le protocole LoRa pour communiquer en un seul saut avec l'ensemble des passerelles qui les couvrent (non pas exclusivement avec une passerelle définie).
- Les transmissions entre end-devices et passerelles doivent respecter les règles suivantes :
 - Le end-device change de canal de manière pseudo-aléatoire à chaque transmission.
 - Respect du rapport cyclique autorisé (1% en Europe, soit 36 secondes par heure).
 - Respect de la puissance maximale d'émission autorisée (25mW Europe).
- Le serveur réseau gère la sécurité (E2E, end to end), le débit adaptatif et la redondance.

<http://www.linuxembedded.fr/2017/12/introduction-a-lora/>



Exemple d'application: Eclairage intelligent



Le protocole *LoRa-MAC* permet aussi des *communications point à point* entre deux *end-devices*

<http://intelilight.eu/wp-content/uploads/2015/06/inteliLIGHT-LoRa-system-architecture.jpg>



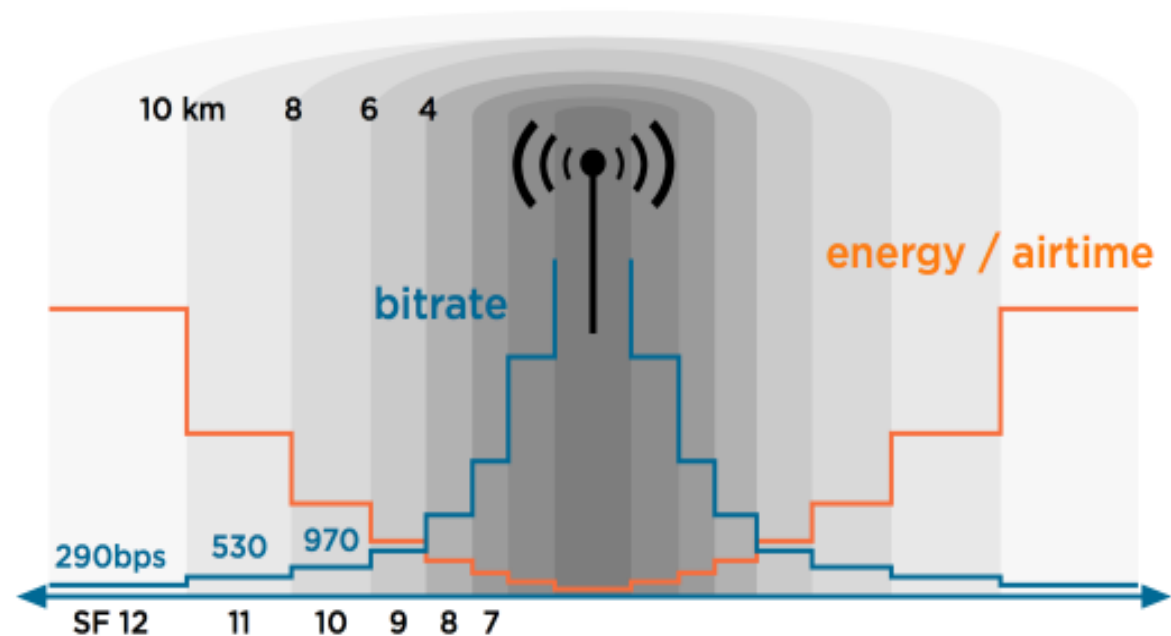
Adaptation du débit

- Les end-devices transmettent sur n'importe quel canal disponible à un instant donné
- LoRa adapte le débit de données en fonction du débit demandé
- Le débit de données est optimisé en minimisant le temps d'une trame et la consommation énergétique des nœuds
- SF est le facteur d'étalement du spectre (SF) = $\log_2(R_c/R_s)$
Rc: le débit du message transmis
Rs: le débit du symbole à transmettre

Spreading factor (at 125 kHz)	Bitrate	Range (indicative value, depending on propagation conditions)	Time on Air (ms) For 10 Bytes app payload
SF7	5470 bps	2 km	56 ms
SF8	3125 bps	4 km	100 ms
SF9	1760 bps	6 km	200 ms
SF10	980 bps	8 km	370 ms
SF11	440 bps	11 km	740 ms
SF12	290 bps	14 km	1400 ms
(with coding rate 4/5 ; bandwidth 125Khz ; Packet Error Rate (PER): 1%)			

Les facteurs d'étalement/1

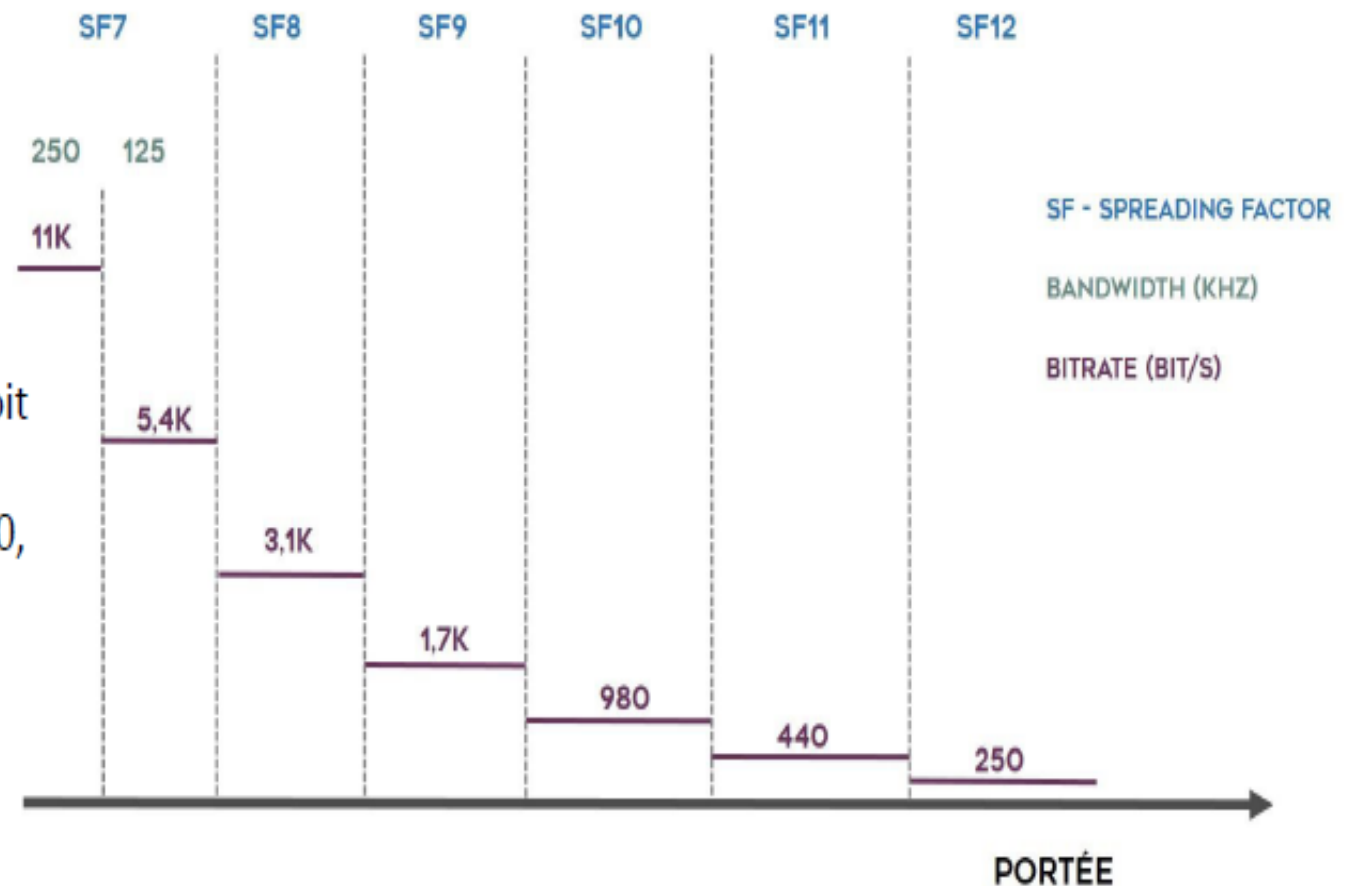
LoRaWAN supporte 6 facteurs d'étalements: de SF7 à SF12



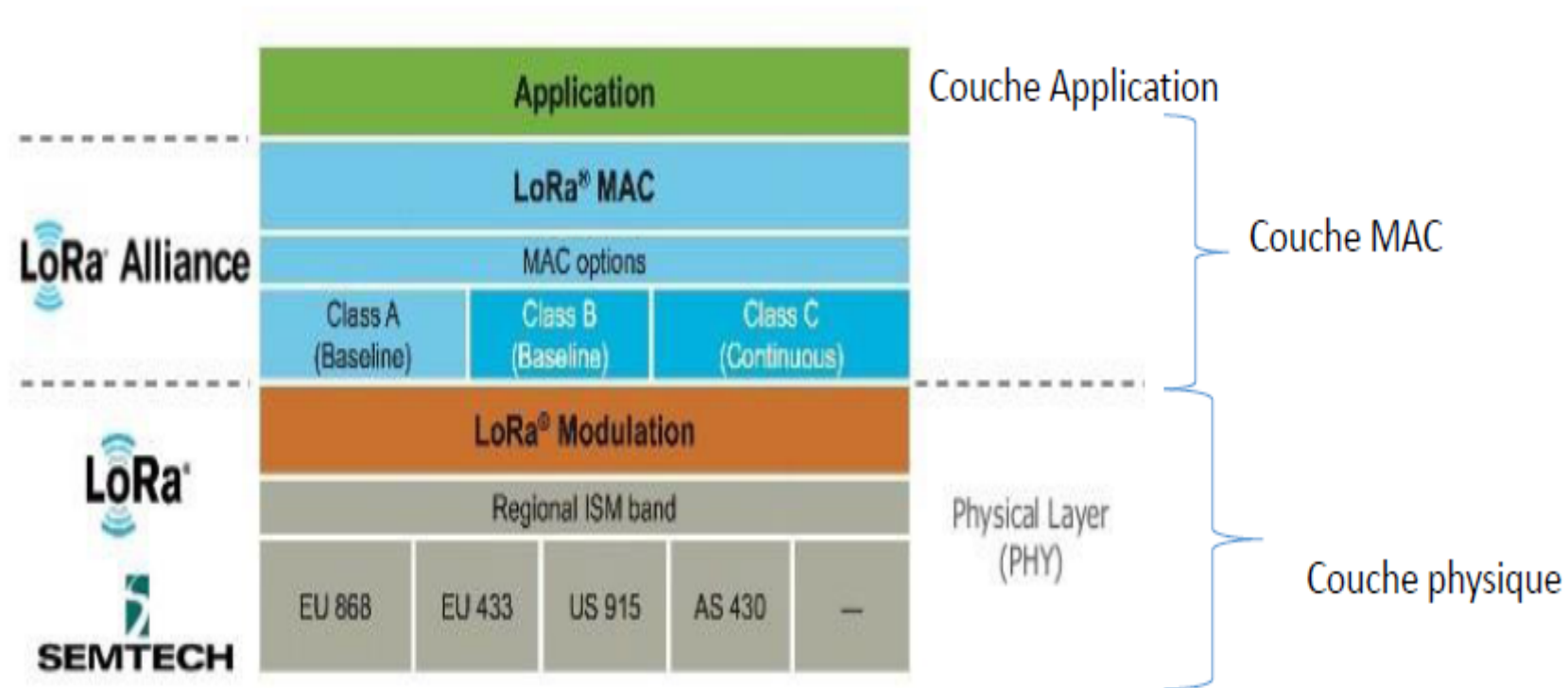
Le débit utile et la portée en fonction du facteur d'étalement

Les facteurs d'étalement/2

Une passerelle LoRaWAN doit au minimum proposer trois canaux de fréquence: 868.10, 868.30 et 868.50 avec une bande passante de 125KHz



Couches réseau de LoRa





La couche physique

- En Europe, la bande de fréquence ISM est définie par l'ETSI
- Les canaux peuvent être librement fournis par l'opérateur réseau
- Les équipements EU868Mhz doivent être capables d'opérer dans les bandes de fréquences de 863 à 870 MHz
- Chaque équipement LoRa doit supporter par défaut les 3 canaux (868.10 Mhz, 868.30 Mhz, 868.50 Mhz) pour la transmission



La couche MAC: les classes

LoRa MAC offre trois classes de services

- **Classe A « All »**: offre une communication bidirectionnelle dans laquelle une transmission montante (uplink) est suivie par deux courtes fenêtres de réception (downlink) définies aléatoirement (ALOHA).
- **Classe B « Beacon »**: Le fonctionnement est le même que pour la classe A avec l'ajout d'un slot de réception programmé en plus des deux fenêtres aléatoires. La planification est permise par l'envoi d'un beacon de synchronisation par la passerelle.
- **Classe C « Continuous »**: concerne les end-devices qui écoutent le réseau continuellement. Ce mode de fonctionnement est réservé aux périphériques qui n'ont pas de contraintes d'énergie.

<http://www.linuxembedded.fr/2017/12/introduction-a-lora/>



































