

Réseaux maillés LoRa® in Natura (into the Wild)

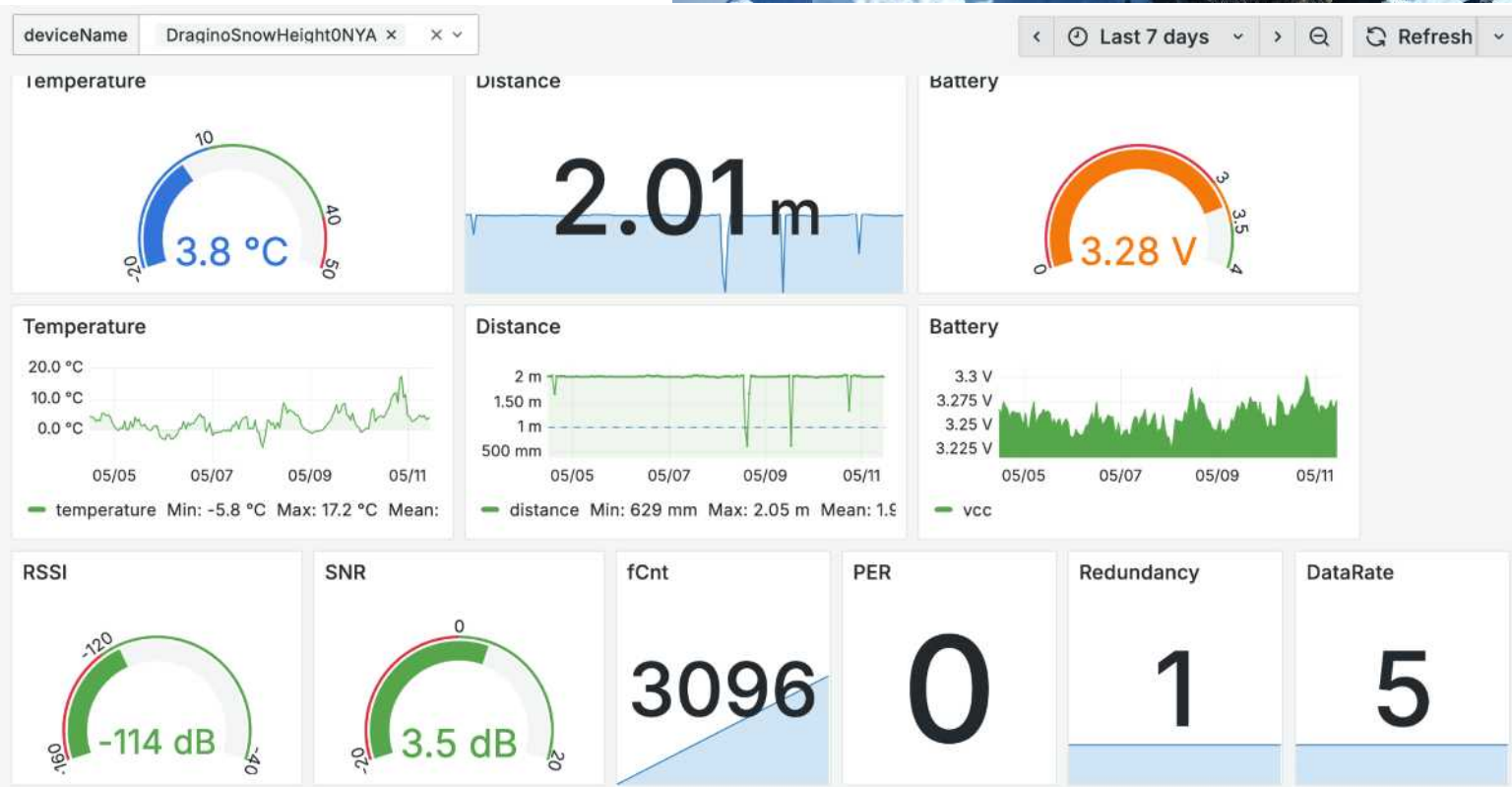
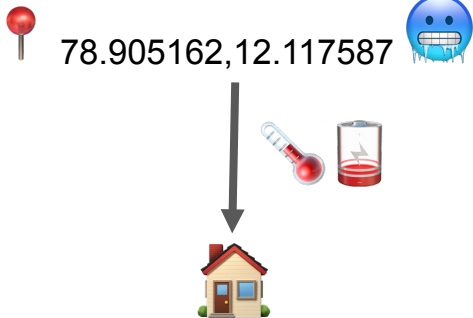
Journées LPWAN 2026
Clermont-Ferrand

Didier DONSEZ & al
Grenoble INP UGA
Polytech Grenoble & LIG Drakkar



Dura LoRa sed LoRa

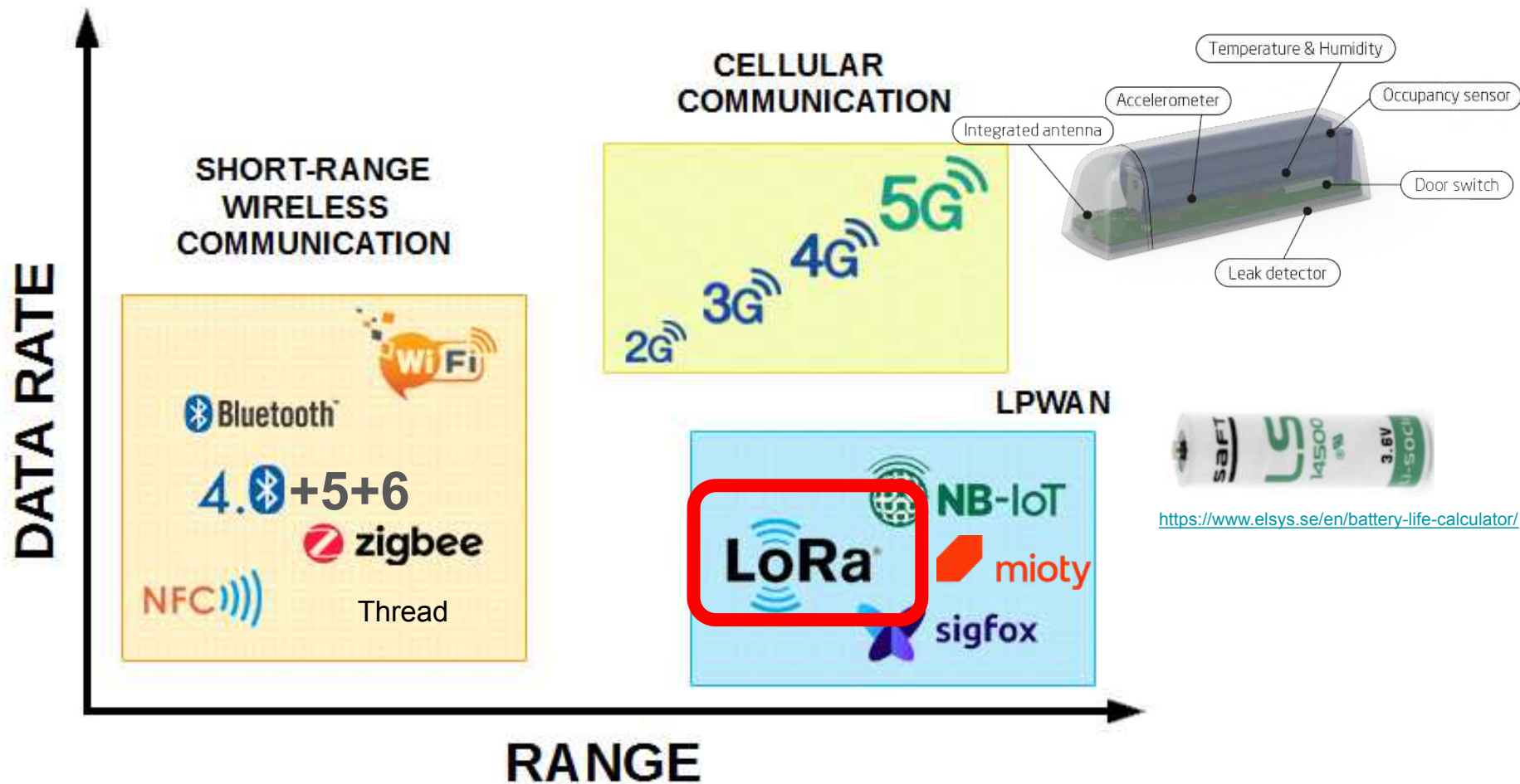
Motivations Extreme IoT



credit: JM Friedt

Wireless network technologies for IoT

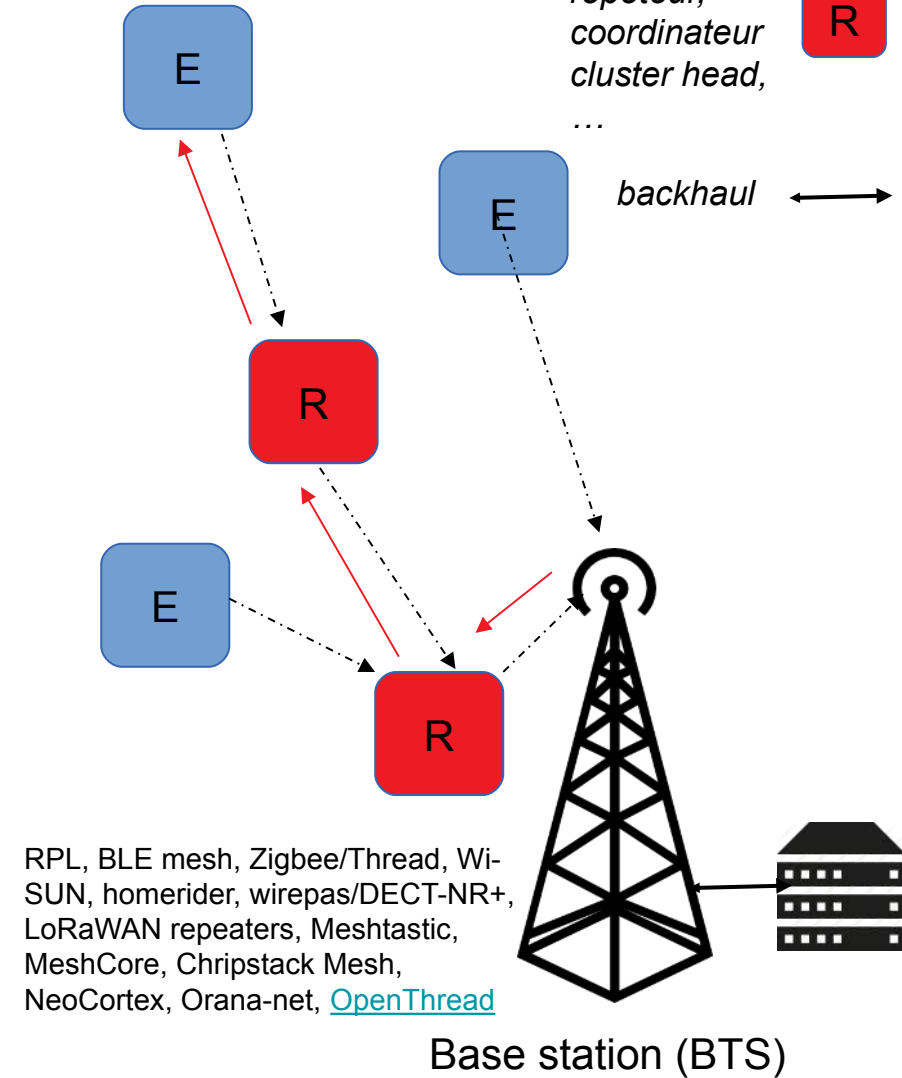
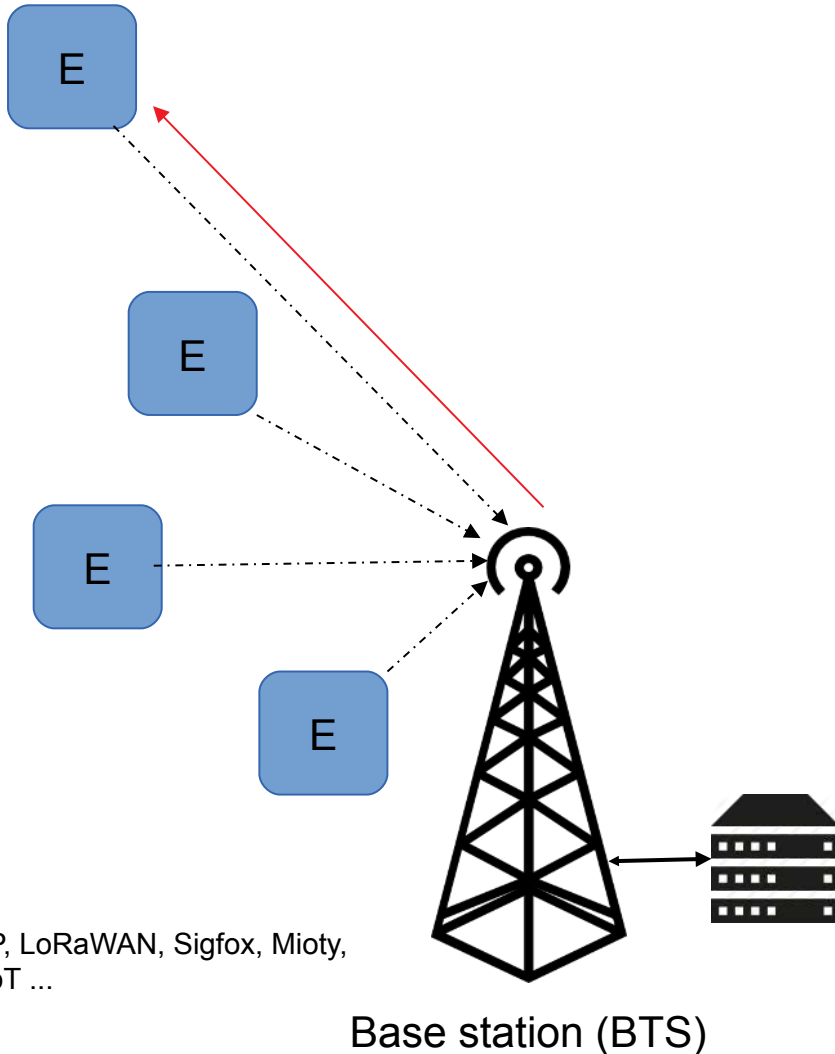
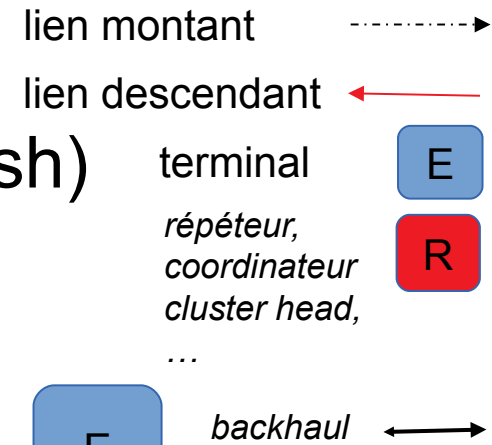
Long range + (Ultra-)Low power



temperature, humidity, acceleration, water leak, door contact and activity sensor.

Topologies réseau sans fil

Etoile (Star) versus Maillé (Mesh)



LoRa® CSS (Long Range)

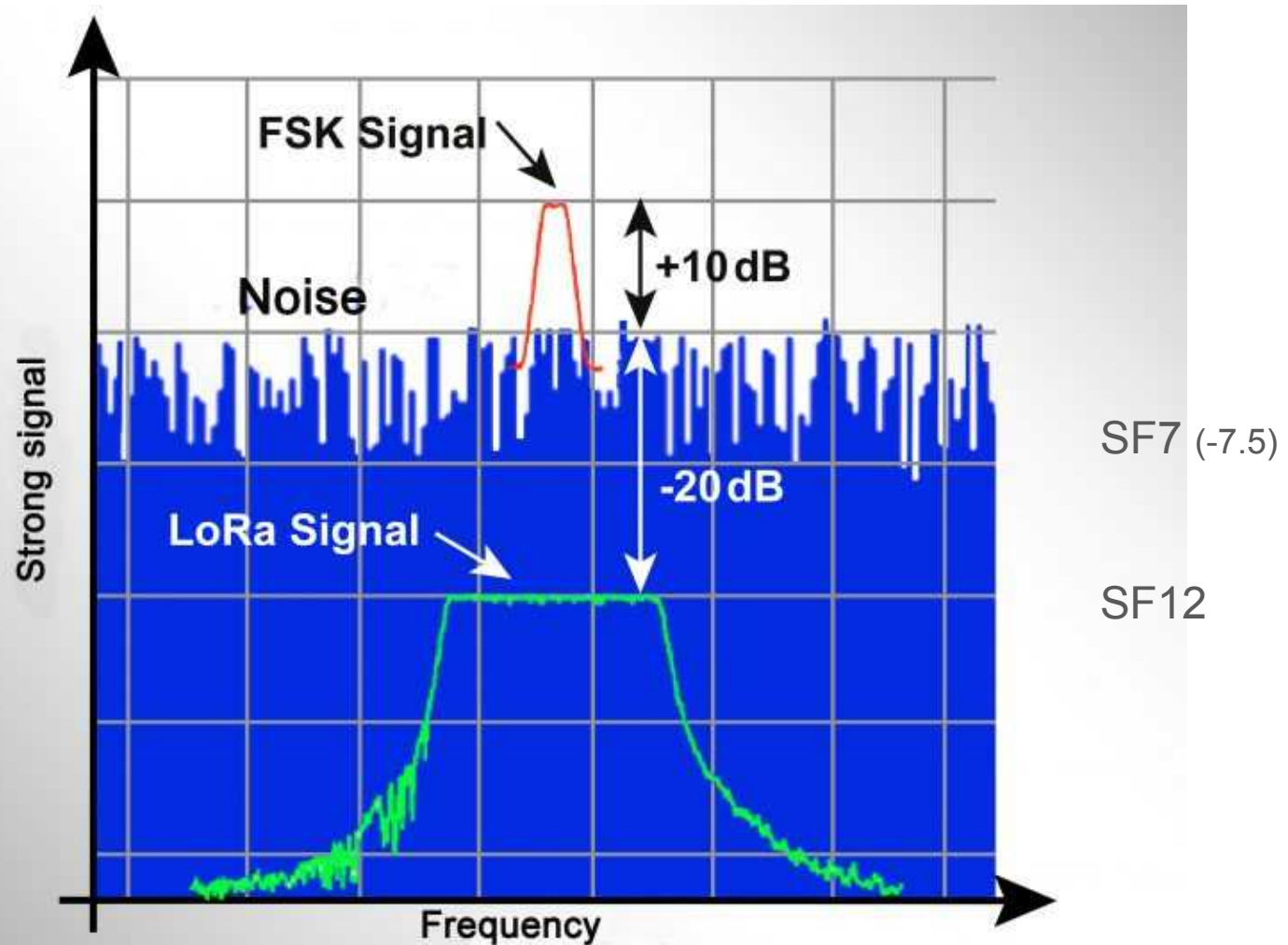


SEMTECH

- Technologie Radio LPWAN
 - Modulation basée sur l'étalement de spectre
 - Chirp Spread Spectrum
 - Brevetée par Semtech (fabricant de chip Radio)
 - Paramètres de la modulation
 - Preamble, SyncWord, Power, Spreading Factor, Coding Rate, Bandwidth, Collision Avoidance and Detection (CAD)
 - Influe sur la sensibilité du récepteur et le débit de transmission
 - 2 catégories de *transceiver*
 - Endpoints : SX12xx, LR11xx, LR20xx (SubGHz, SBand, 2.4 GHz)
 - Gateways : SX130x (SubGHz seulement)
 - Alternatives/Evolutions : LR-FHSS, Mioty, FLRC, *GFSK*

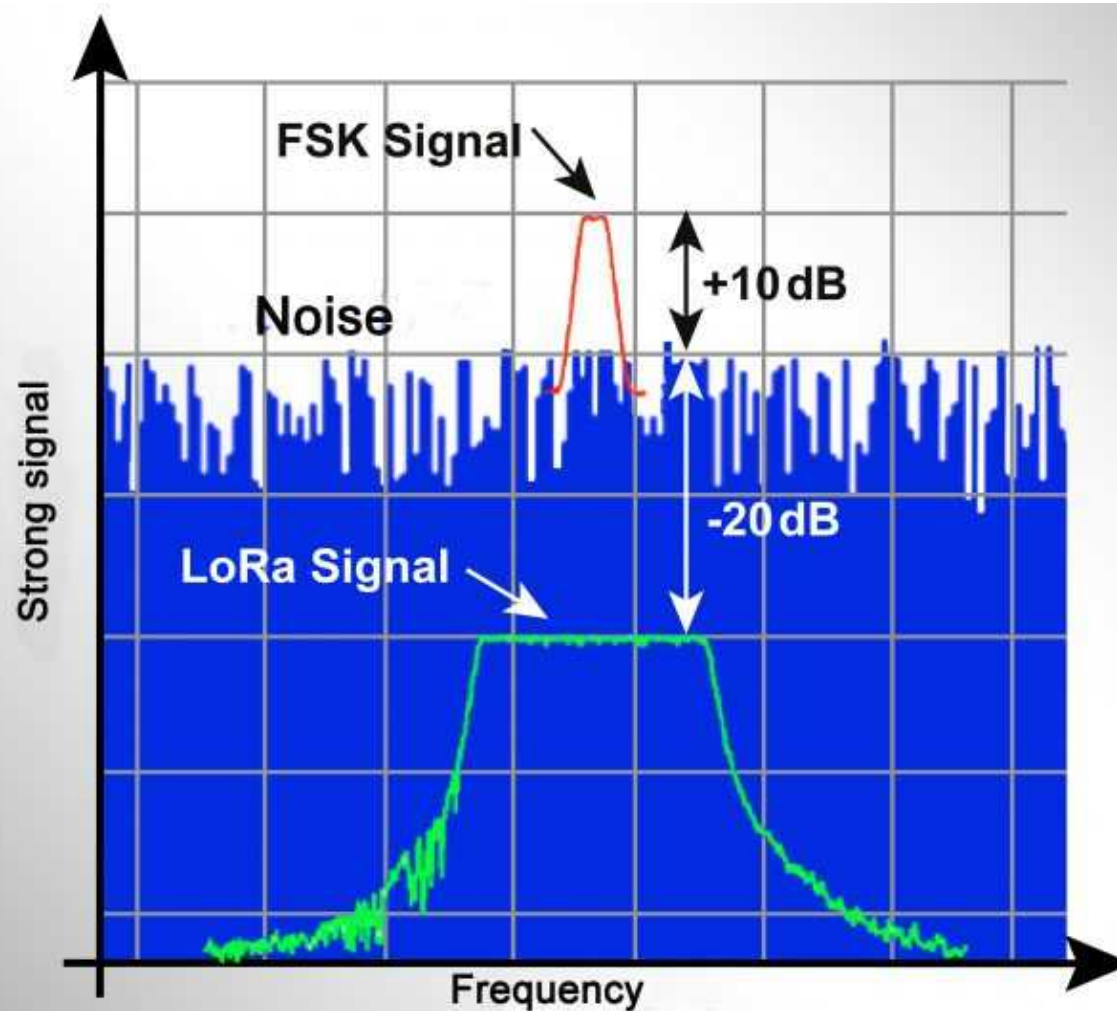
Modulation LoRa CSS

Robustesse au Bruit



Modulation LoRa CSS

Robustesse au Bruit



FLRC
SF5 (-2.5)

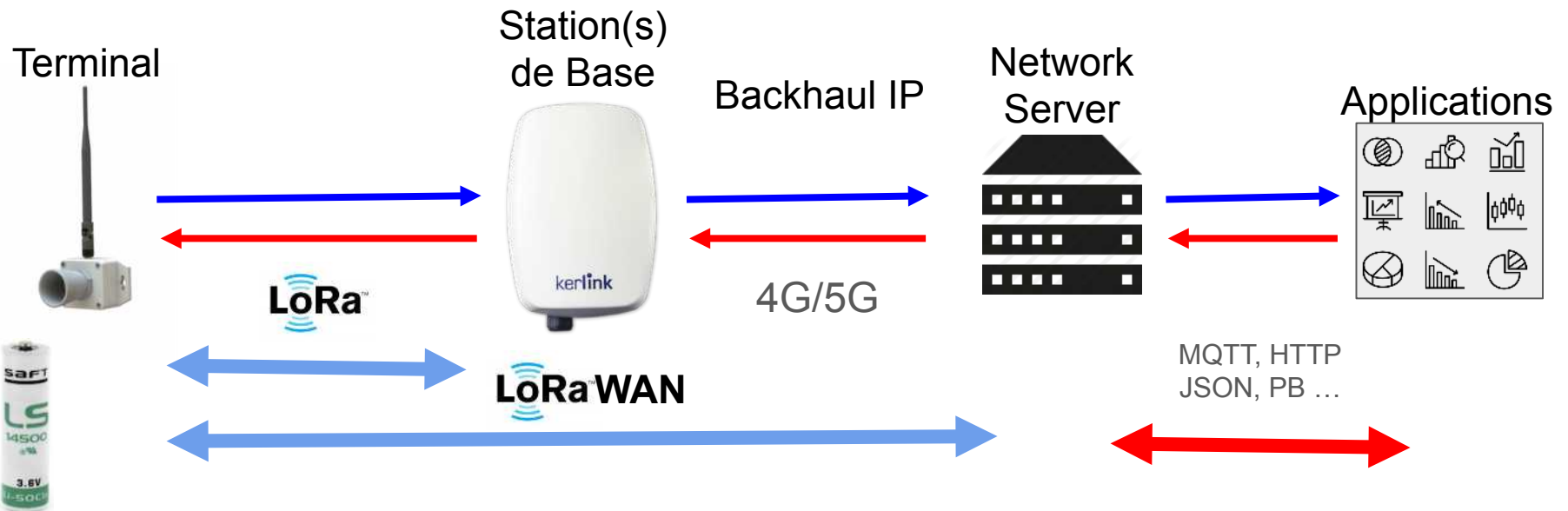
SF12
LR-FHSS-Mioty



LoRa® vs LoRaWAN



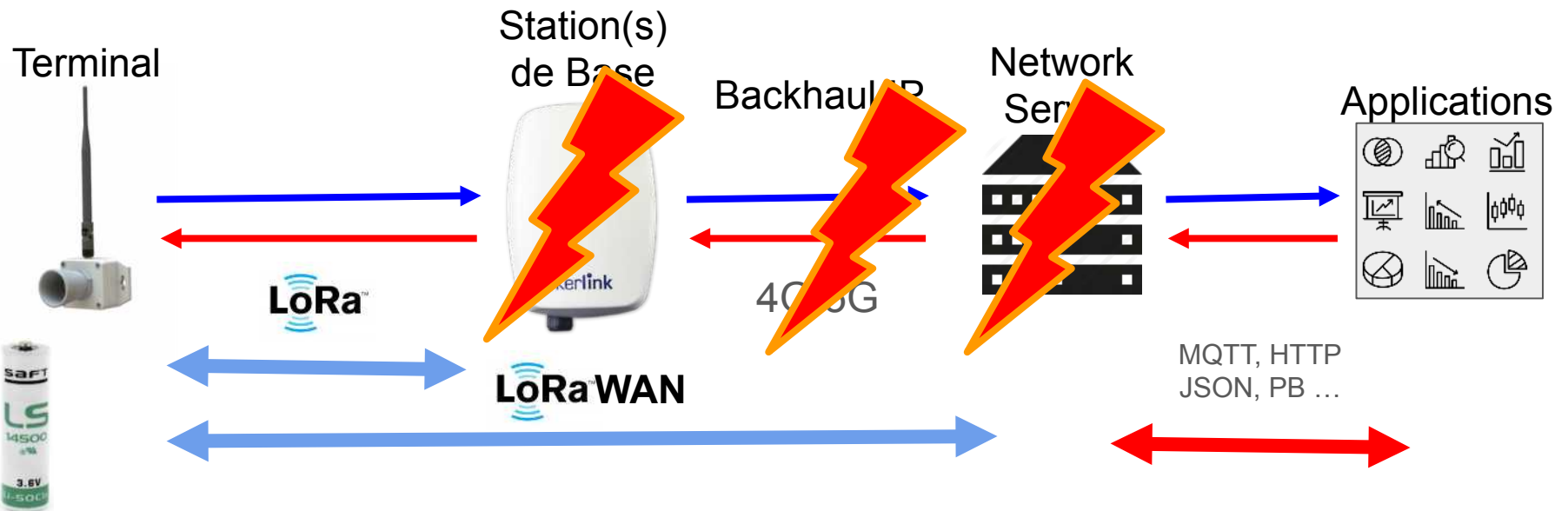
- LoRa® CSS : Technologie Radio LPWAN
 - Définit la couche physique d'une pile réseau
- LoRaWAN : un protocole réseau en étoile "sur" LoRa/LR-FHSS
 - Définit la couche MAC (Medium Access Control)



LoRa® vs LoRaWAN



- LoRa® CSS : Technologie Radio LPWAN
 - Définit la couche physique d'une pile réseau
- LoRaWAN : un protocole réseau en étoile "sur" LoRa/LR-FHSS
 - Définit la couche MAC (Medium Access Control)

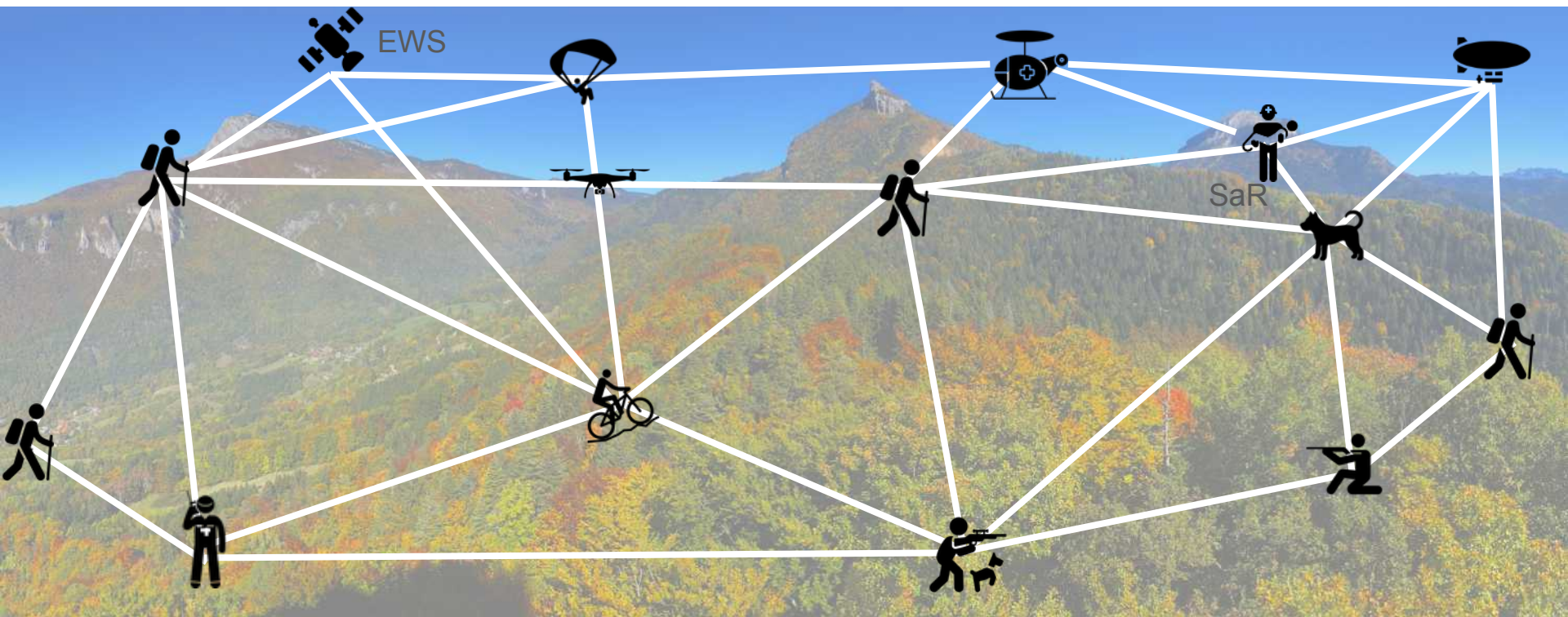


Les réseaux maillés LoRa[®]



Les réseaux maillés sans fil *Wireless Mesh Networks (WMN)*

Des nœuds indépendants communiquent entre eux
pour **s'auto-organiser** en réseau
avec ou sans infrastructure réseau préexistante (aka **offgrid**).



Applications

Réseaux de capteurs IoT (zone blanche/zone accidentée) 

Sports *outdoor*  (zone blanche)

Festivals & Large Gatherings 

Mouvements citoyens/civiques  (césure, kill-switches, contrôle sociale) [BitChat](#)

BIT

Alertes à la population (EWS) 

Search and Rescue (SaR) 

Blackout ⚡ (Spain+Portugal, 28/04/2025, next  [Carrington](#) tempest)

Catastrophe  / Crise Humanitaire ([ATAK-CIV](#))

Théâtre de guerre  ([ATAK-MIL](#))



Algorithmes d'acheminement (+80)

Innodation (Flooding)

Meshtastic, *RadioHead* [Bluetooth Mesh](#) (Casambi, BitChat, Hubble? ...),
Chirpstack Mesh ...

Routage (Routing)

IETF RPL (Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks) [RFC6553](#), [Thread](#),
[DECT-NR+](#) (Wirepas), [Wi-SUN](#) (100m+ devices), Orama-net, NeoCortex, ...

[ESP-Wifi-Mesh](#), [Dryad](#), [Northern Mechatronics](#), ...

Routing protocols in WMNs use metrics to determine efficient paths. **Metrics:** Common metrics include Hop Count, Expected Transmission Count (ETX), and others like Weighted Cumulative ETT (WCETT).

Noeuds stationnaires ou mobiles (MANET, VANET)

Patrons de communication

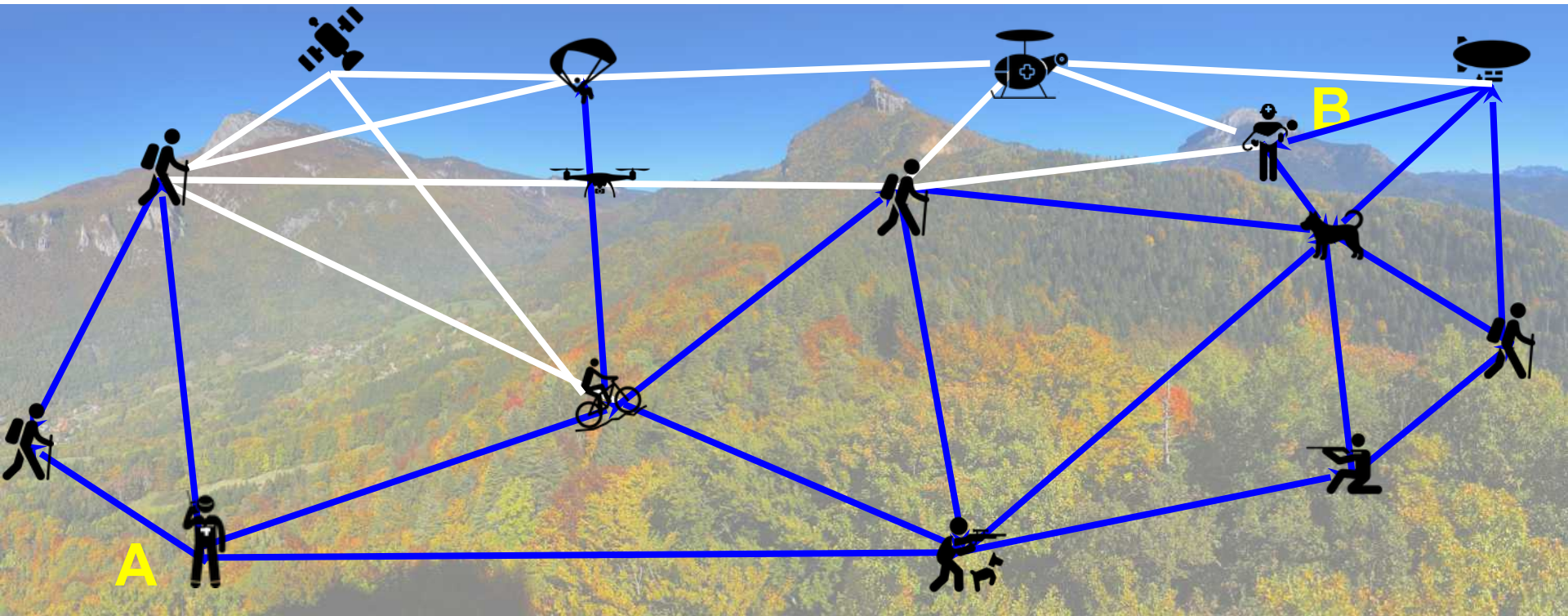
Unicast, Multicast, Broadcast, Lineaire, Pub >> Sub, Sub >> Pub ...

Clock/XO synchronization inside wireless mesh networks (WMN)

Remark : [Amazon Sidewalk](#) (neighboring LoRa network), *Reticulum* ...

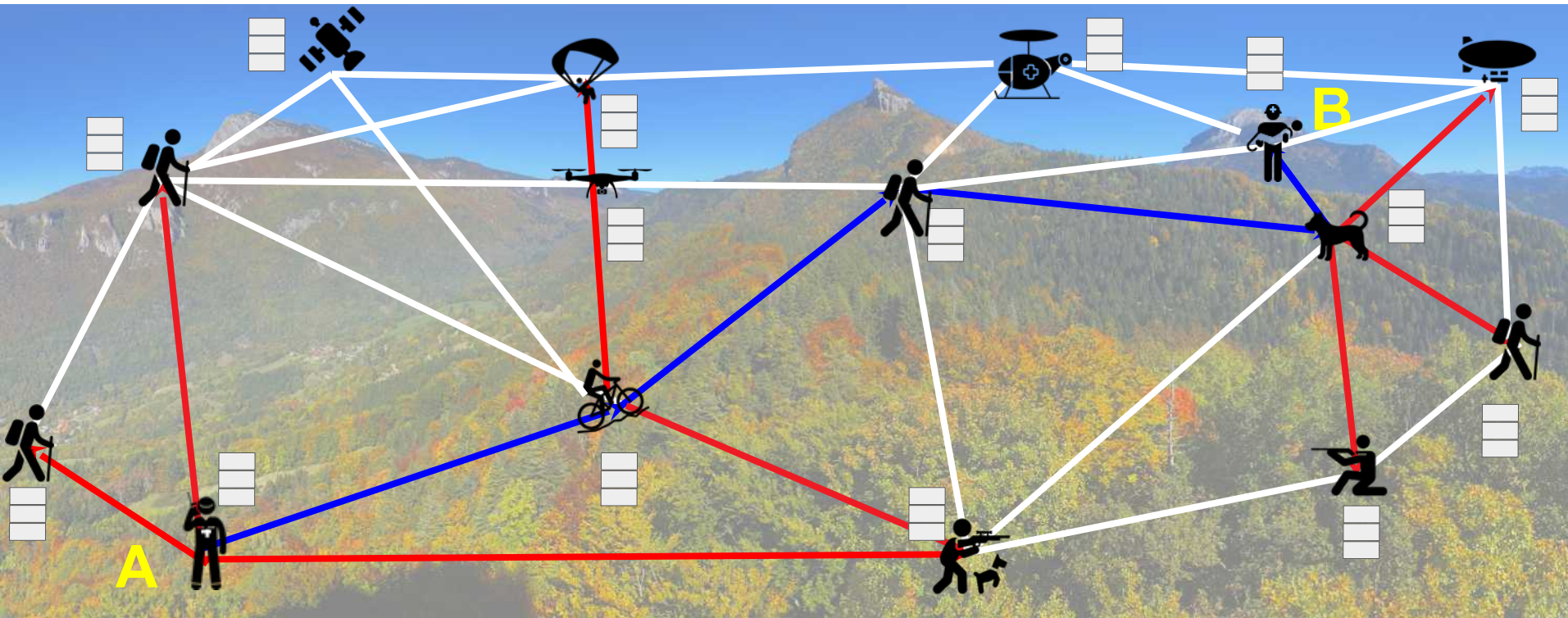
Algorithmes d'acheminement par Diffusion ou Inondation (Flooding)

Chaque nœud, ou un sous-ensemble aléatoire de nœuds, retransmet le paquet reçu jusqu'à ce que le TTL (nombre de sauts/*hops*) atteigne 0.



Algorithmes d'acheminement par Routage (Routing)

En Unicast, le paquet est transmis uniquement dans la direction du destinataire prévu, selon des tables de routage.



Comparaison

/^ESHT^ST/C

Orienté mobilité (Mono freq. Mono SF)

MQTT est natif pour les noeuds (BLE et Wifi)

MESHCORE™

Routage avancé sur des réseaux plutôt “figés” (Mono freq. Mono SF)

⚠ <https://blog.meshcore.io/2026/04/23/the-split>

Chripstack Mesh



Conservation de l'écosystème des endpoints et gateways LoRaWAN (8 Freq x 8 SF)

Les réseaux maillés LoRa pour l'IoT

Plusieurs alternatives propriétaires (ISM 433, 868, 2400 MHz)

Orama-net, NeoCortex, [Dryad](#), [Northern Mechatronics](#), ANS ...

ou open source

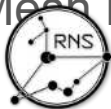
Meshtastic



MeshCore

MESHCORE™

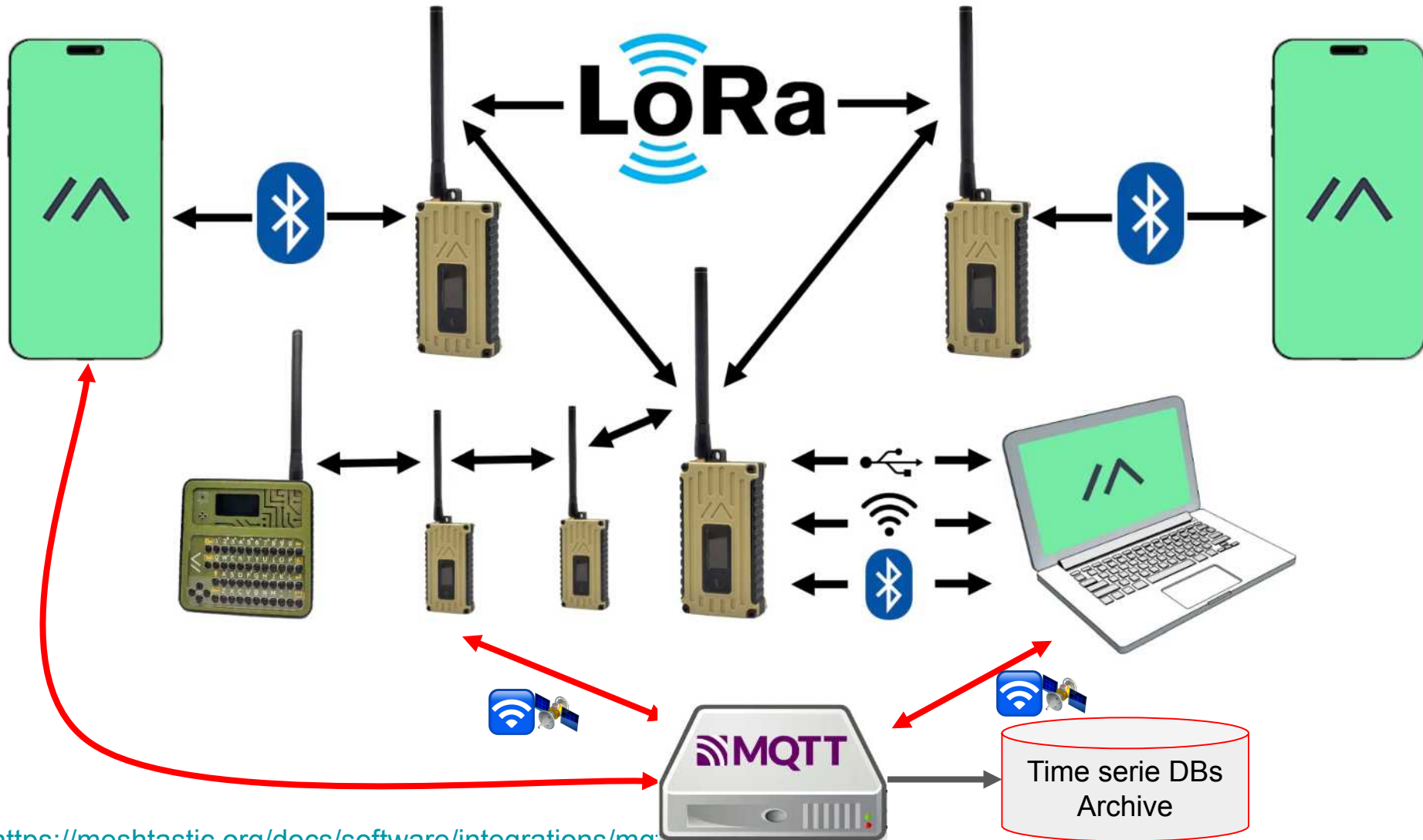
Chirpstack Mesh Relay/Border Gateway



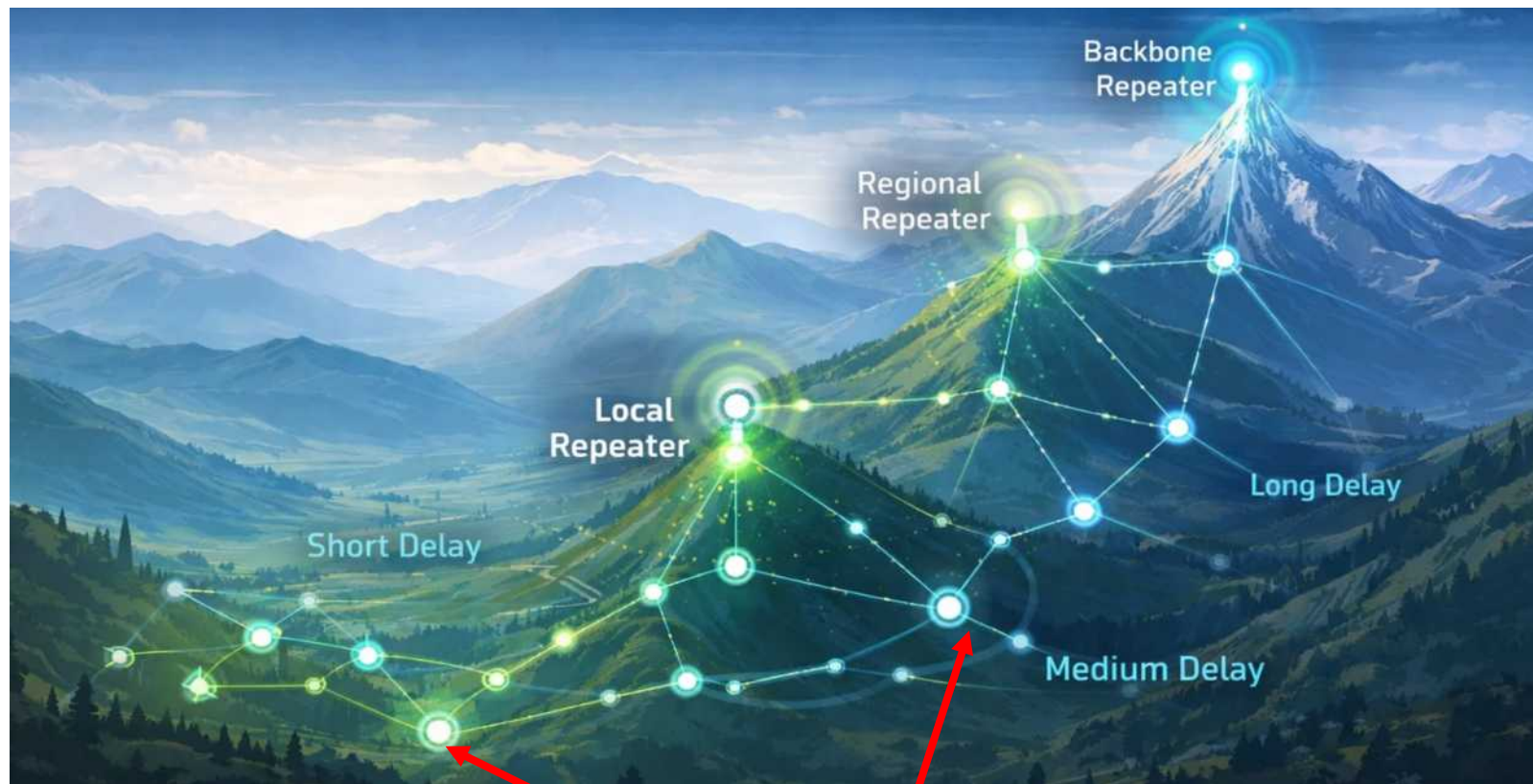
Reticulum



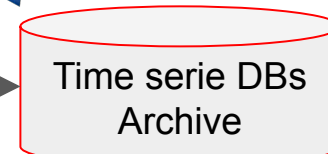
Réseaux maillés Meshtastic /^ESHT^ST/C



Réseaux maillés MeshCore **MESHCORE™**



Acheminement par Inondation / routage



<https://w6hs.net/meshcore-repeater-deployment-timing-considerations-for-wide-area-networks/>



versus **MESHCORE™**

Plutôt adapté aux réseaux avec des répéteurs mobiles/nomades

- pas de preuve d'identité mais favori
 - addr: 32 bits (LSB MacAddress)
 - PK ED25519
- 8 channels max.
- PSK for channel (AES 128/256)
- ECDH for DM
- 12 roles
- 14+ TTL: 3+
 - **nodeinfo**, txt, telemetry , position, lpp, traceroute, range, neighbour, admin, S&F, paxcounter, atak, zps ...
- PlatformIO + RadioLib + MQTT + UI + FS
- ~120 boards/variants
- loc 64K C++ → UI
- loc 2000 protobuf (16K C)
- + cli + web + plugin ATAK
- Sims, maps, radio cov.
- MQTT (flag), hash location (privacy)
- No FUOTA
- No WWeb of Trust

Optimisé pour les réseaux avec des noeuds fixes

- pas de preuve d'identité mais favori
 - addr: PubKey[0]
 - PK ED25519
- channel privé/hashtag (40+)
- PSK for channel (AES128)
- ECDH for DM
- 4+ roles
- 8+ (path) TTL : 9+
 - **advert**, req/resp, txt, raw
 - fcnt, cmac, digsig
- PlatformIO + RadioLib + FS
- ~70 boards/variants
- loc 50K C++
- + cli + web
- MQTT observers
- Sims, maps, radio cov.
- No FUOTA
- No WWeb of Trust

/MESHTAST/O

versus

pour moi 📶 📶 📶

MESHCORE™

Plutôt adapté aux réseaux avec des répéteurs mobiles/nomades 🏃

- Roles Sensor 📶 & Tracker 📍
- Support pour capteurs I2C/GPS
- 📶 Telemetry, LPP, Position
 - pas de série temporelle
 - Canal 0 ("public")
- Inondation
 - pas de uplink - downlink
- Pas de synchronisation 🕒 (abs/rel)
- Pas de PM avancé (deep sleep 😴)
- Pas de frame counter
- Pas d'adaption (type OTAA)
 - favorites ❤️, PSK 🔒

Optimisé pour les réseaux avec des noeuds fixes

- 1 "role" Sensor 📶 📍
- Support plus limité pour capteurs I2C/GPS
- 📶 LPP en Req-Res
 - pas de série temporelle
 - route source → "sink"
 - 1 seul "sink"
- Pas de synchronisation 🕒 (abs/rel)
- Pas de PM avancé (deep sleep 😴)
- Frame counter (timestamp)
 - pas de réinitialisation (ABP)
- Pas d'adaption (type OTAA)
 - favorites ❤️, PSK 🔒

👷 Piste (Piste Geopred)

- 📶 Raw (Temporal LPP)
 - DM
 - channel PSK 🔒
- TMP117 (0.1°C)
- syncword 0x34 BW125KHz

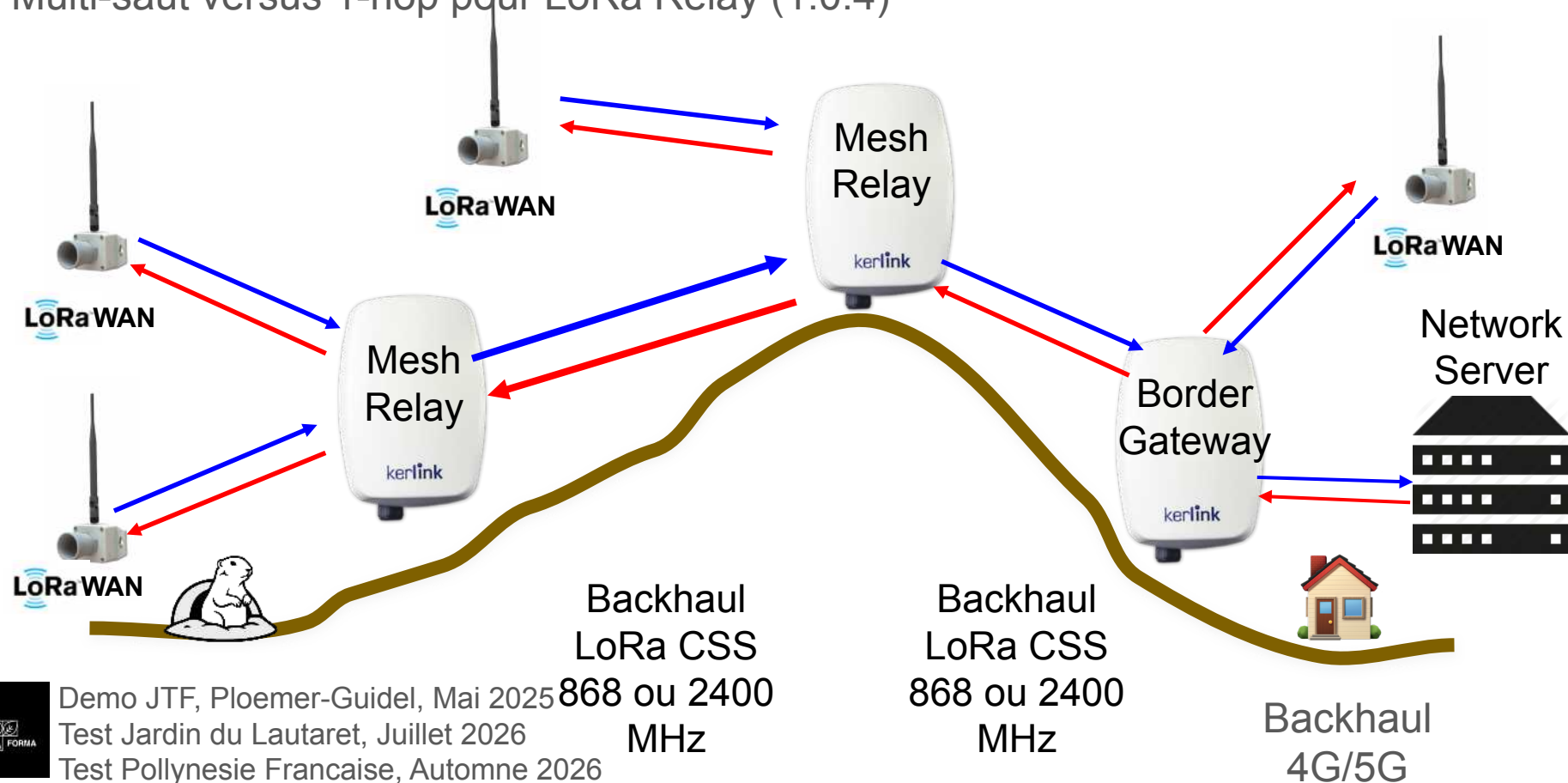
Chirpstack Mesh



Compatibilité endpoints LoRaWAN

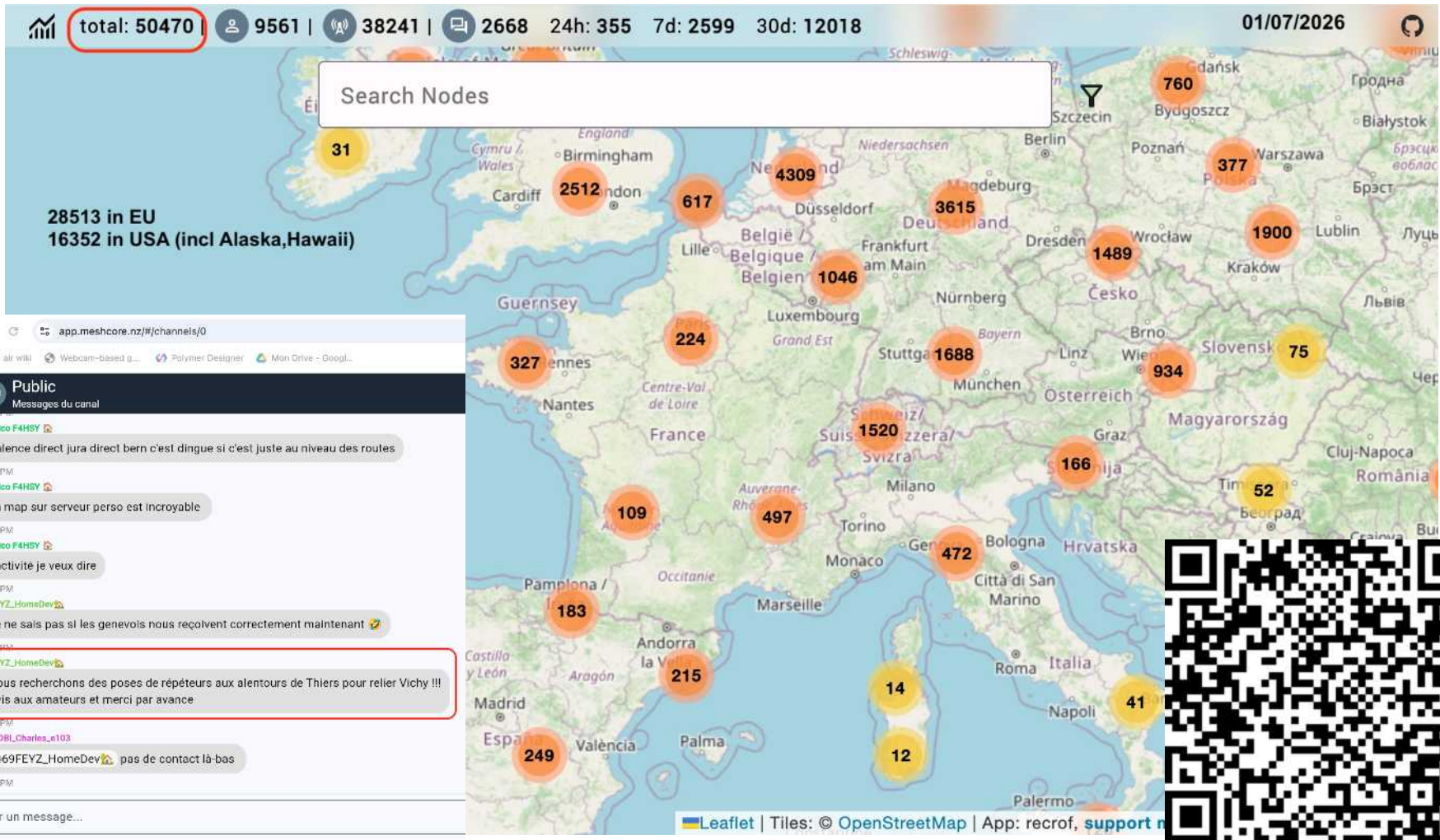
8 canaux freq 125 kHz x 8 SF (SF5 à SF12)

Multi-saut versus 1-hop pour LoRa Relay (1.0.4)



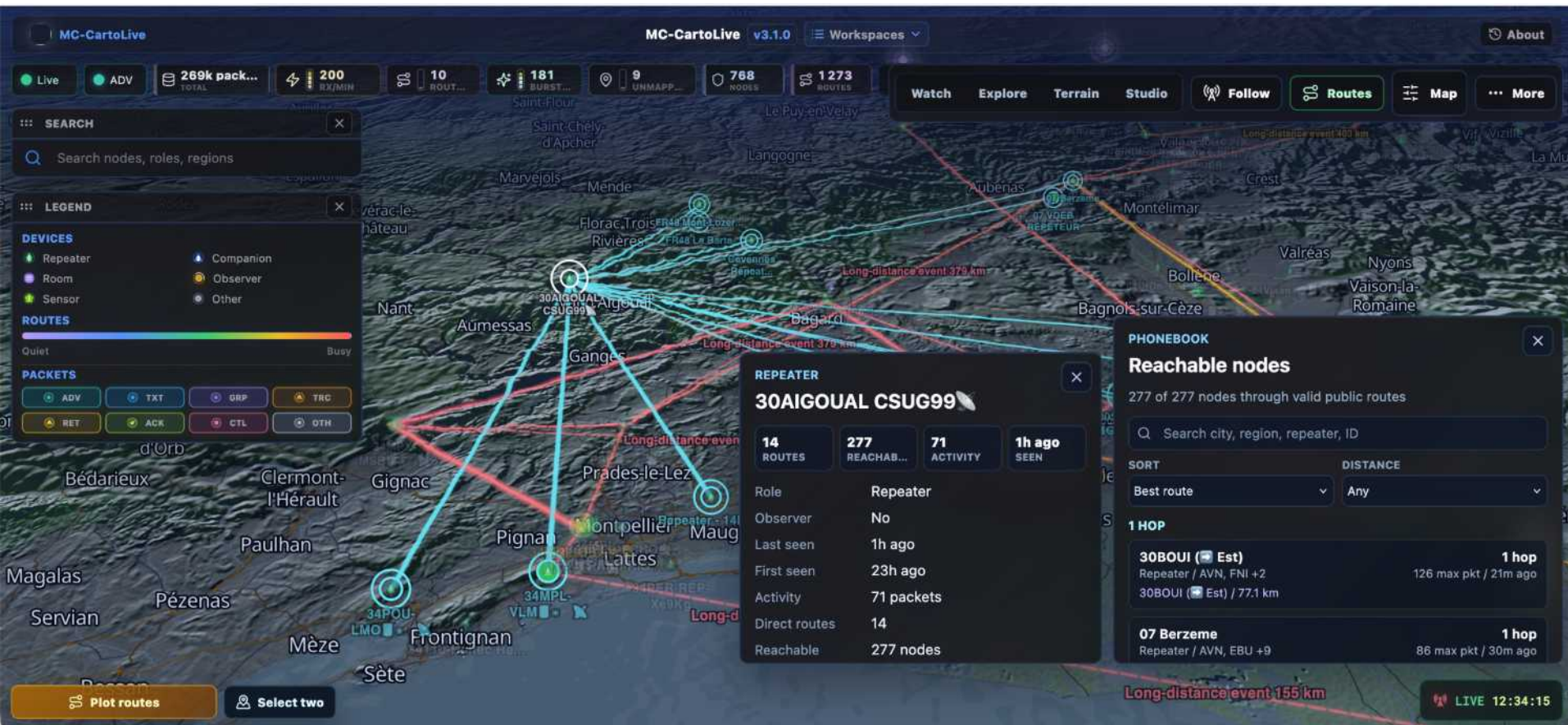
Meshcore community status

<https://map.meshcore.io/>



Meshcore community status

<https://meshcore.serveurperso.in/>



Test terrain (Métropole de Grenoble) Meshcore versus Meshtastic versus Home-Made



Fort du Murier



Test terrain (Mont Aigoual) Meshcore versus Meshtastic versus Home-Made

Mont Aigoual



Exp. near space (aka stratosphere) / new space

SatIoT +EWS, SaR, TXT ou Direct 2 Cell (du pauvre)

June 2026

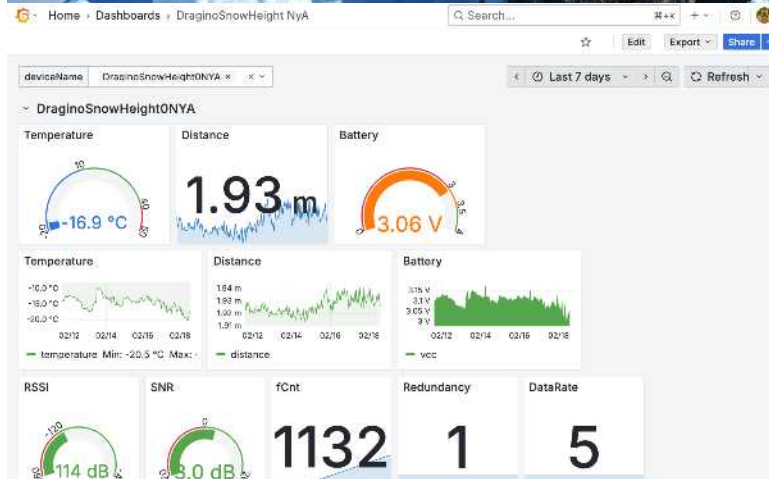


October 2026



Suivi hydro-glaciologie : Mont Blanc, Svalbard ...

<https://maps.app.goo.gl/HzzCyKfyVcj5obZm9>



Surveillance volcanologique 🌋 (Etna, Piton des Neiges ...)

Suivi des précurseurs des éruptions : Radon, Température, Gaz, Sismologie



Cratère de la Bocca Nuova (Etna)

crédits photo : Julien SUDRE, Luca TERRAY, Laurent ROYER (2023)

Réseaux villageois

Suivi zones sensibles, forêts tropicales, parcs nationaux...



Sécurisation des infrastructures routières

Contexte : Augmentation des éboulements à cause du réchauffement climatique

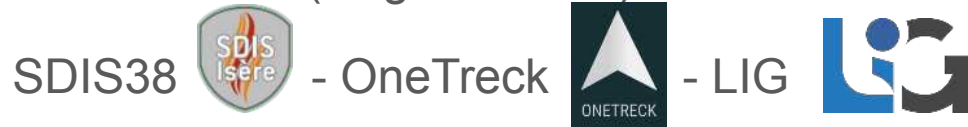
- Diminution de 30 à 50 % de la durée de vie des infrastructures routières
- Multiplication par 6 du coût des dommages d'ici 2050

Projet GeoPred (Isterre & LIG, Carnot LSI) Falaises du Saint Eynard



Réseaux d'urgence / Disaster networks

Projet VERCORS (Région AURA)



Noeuds réseau LoRa maillé (communautaire et privé) sur la métropole grenobloise

/^ESHT^ST/C **MESHCORE™**



Mesh repeater (solar powered)
100 euros



Companion/Tracker
BLE+LoRA 40 euros

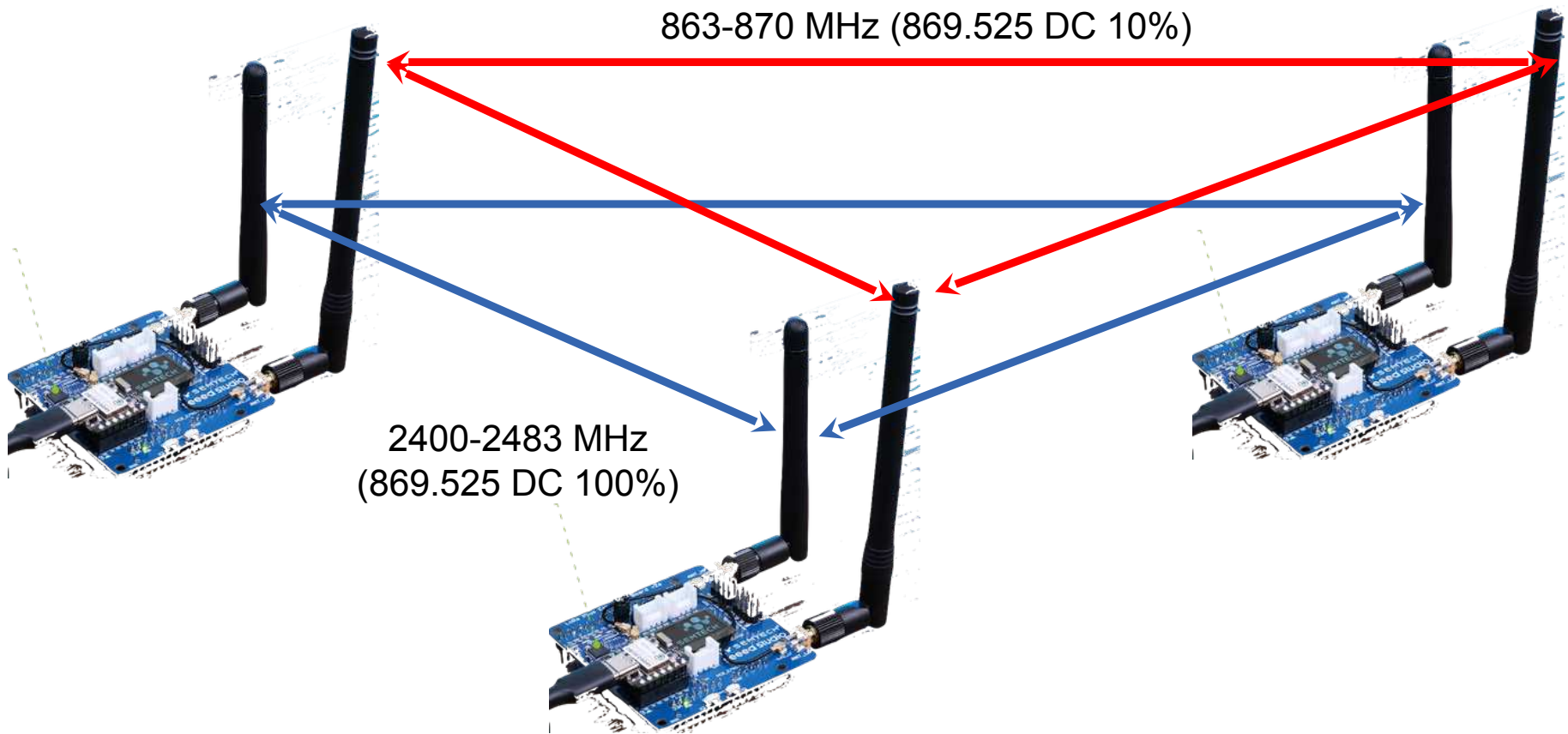


“Observer” (PoE MQTT)
100 euros

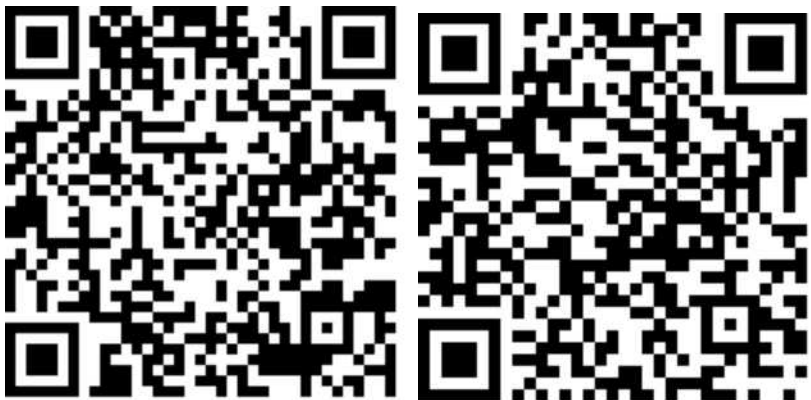
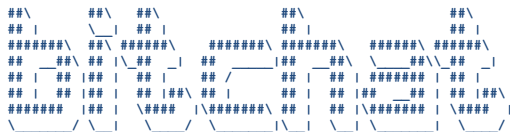
Noeuds LR2021 Meshcore (EU868 et ISM2400)



LoRa CSS, [FLRC](#) FSK, OFDM

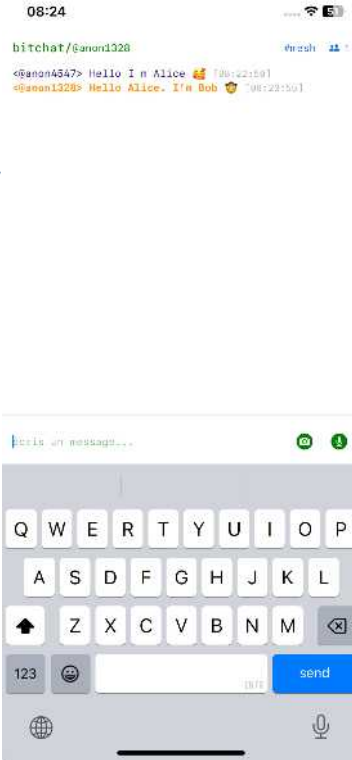
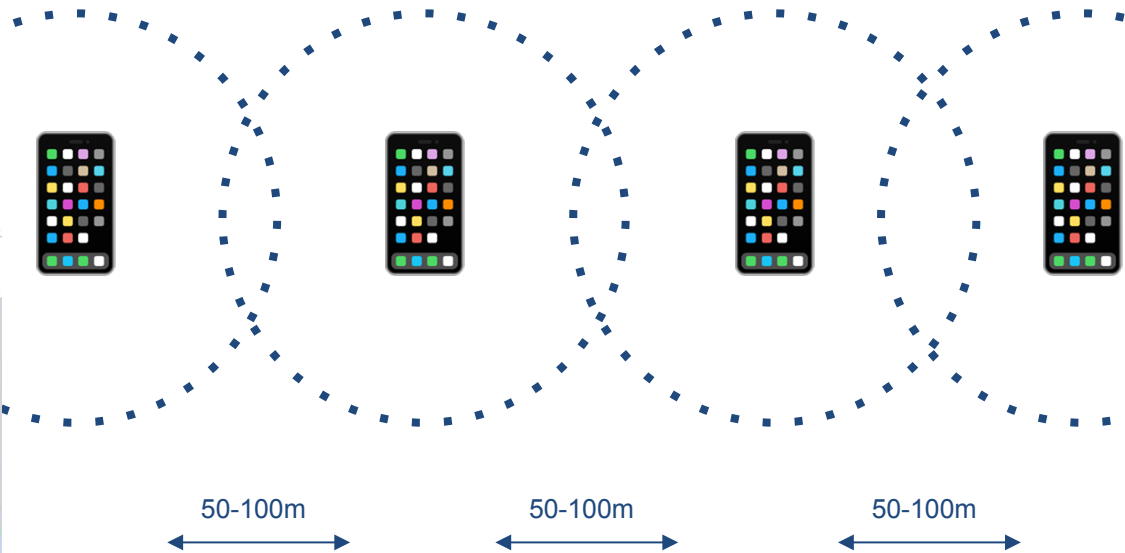
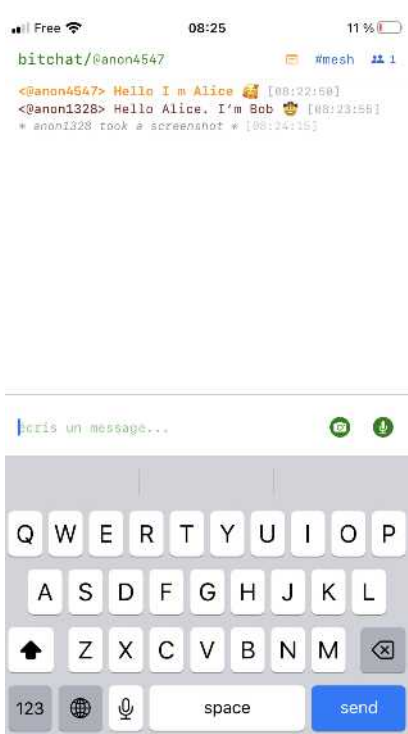


BitChat (BLE) Mesh Network



Android

iOS



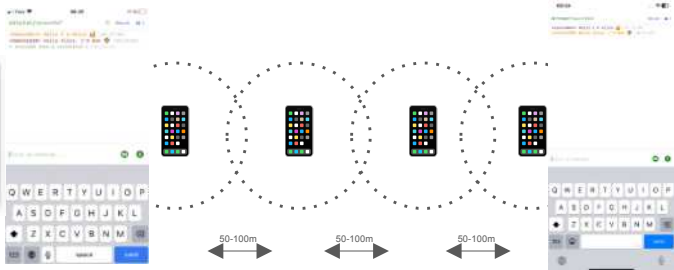
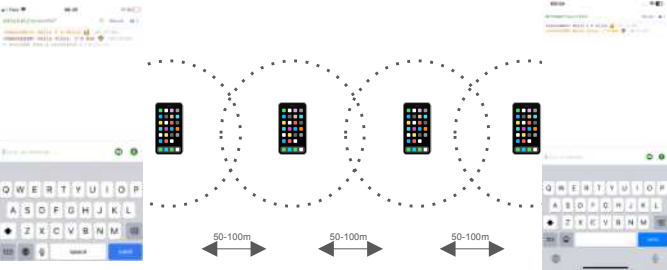
BitChat Coverage Extender



/^ESHT^ST/C



TAK messages



Un peu de pub

Ariel OS Day + RIOT Summit 1-4 Septembre 2026, Grenoble

Atelier Résilience Numérique, Journée Nationale de la Résilience 13 Octobre 2026

Numéro Résilience Numérique, Annales de Mines, Mars 2027

[GTEB Fragilité et Résilience](#) SLICES FR (Fabrice V., Didier D., ...)

Walt On The Roof <https://fenix.imag.fr/>

