

MAÎTRISER LES RÉSEAUX SANS FILS MESH : STRATÉGIES ET RETOURS D'EXPÉRIENCE



Le CRT CRESITT est soutenu par :



Cofinancé par
l'Union européenne

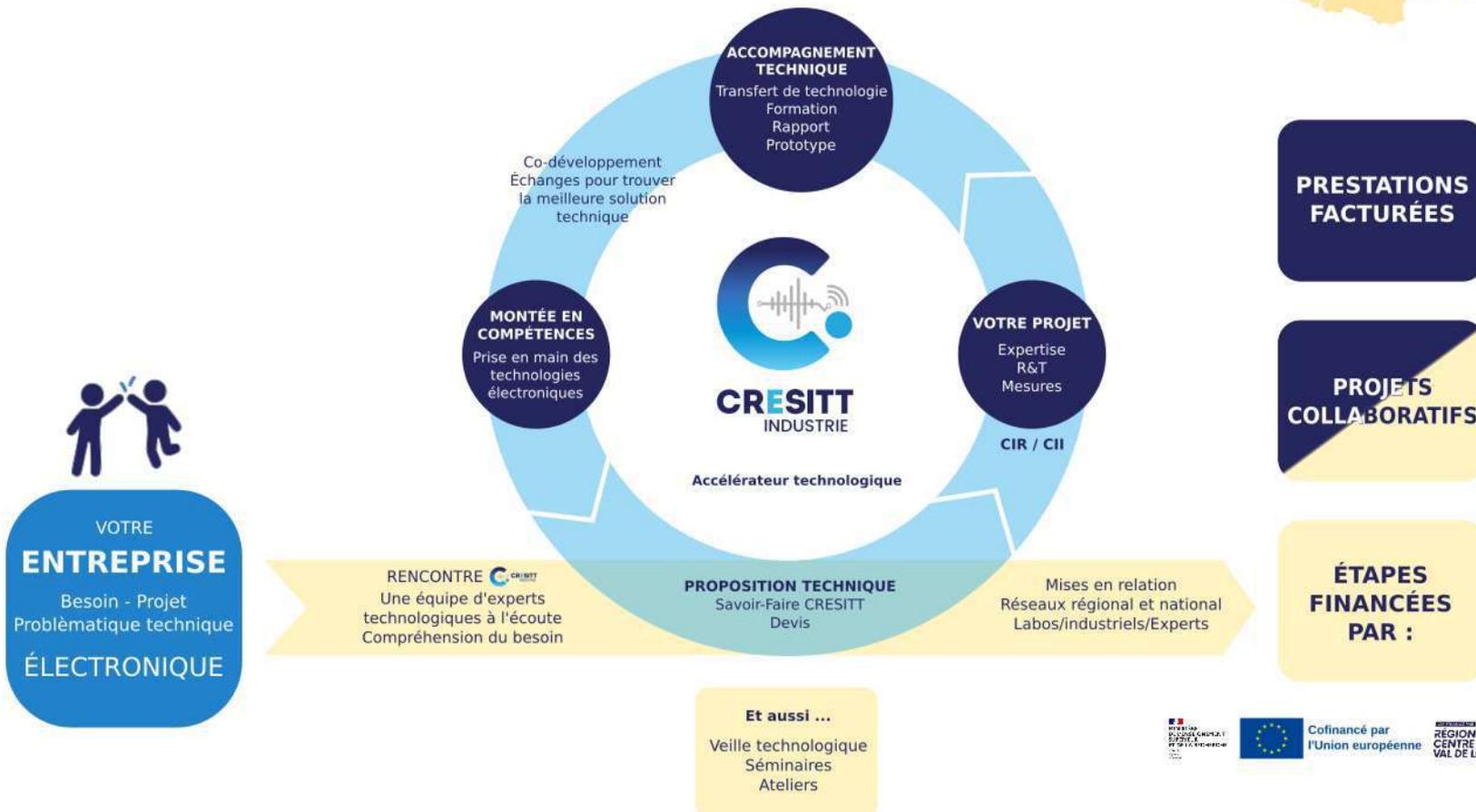


ORLÉANS
MÉTROPOLÉ

L'action de diffusion technologique est cofinancée par l'Union européenne.
L'Europe s'engage en région Centre-Val de Loire avec le Fonds européen de développement régional.



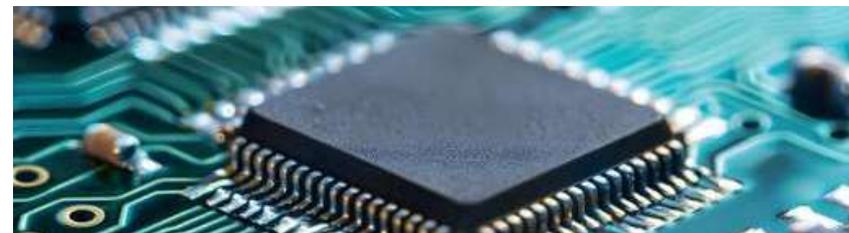
TECHNOLOGIES ÉLECTRONIQUES





HARDWARE

Capteurs et mise en forme des signaux
Électronique analogique & numérique
Analog front end
Architectures dédiées à l'embarqué,
dont μ contrôleurs et FPGA
Systèmes d'alimentation
Convertisseurs d'énergie DC/DC
Optimisation électronique de puissance
Adaptation et Design d'antenne



FIRMWARE

Acquisition et processing
Traitement des signaux embarqués
Logiciels couches basses embarqués
Sécurisation
Protocoles sans fils :
BLE, LORA, Matter, RFID UHF, NFC, ...
Gestion de l'énergie
Linux embarqué
Protocoles réseaux : MQTT , HTTPS, ...



OPTIMISATION DES PERFORMANCES RF ET ÉNERGÉTIQUE

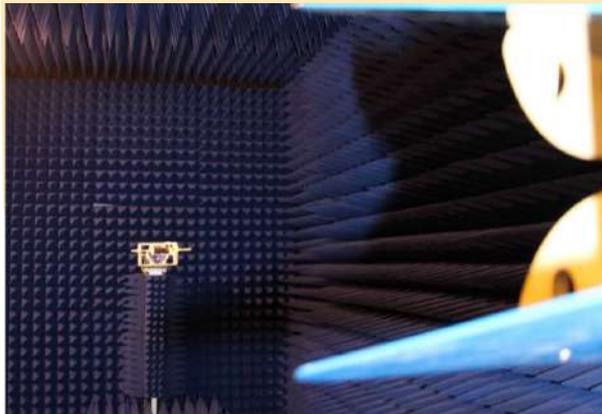
COMPATIBILITÉ ELECTRO-MAGNÉTIQUE

Rayonnée et Conduite
Immunité et Emissivité
Marquage CE



RADIOFRÉQUENCES

Choix, adaptation et
mesures d'antennes
Mesures selon directive RED
Simulations de propagations
et conception d'antennes



SYSTÈMES AUTONOMES

Mesures de
consommations électriques
Gestion des différentes
sources d'alimentation et
techniques de récupération
d'énergie





Cofinancé par
l'Union européenne



Composants et protocoles

- Communication en LoRa Mesh, par Samuel ROUXEL du CRESITT Industrie
- Présentation de la technologie Wirepas MESH et cas d'usage dans différents domaines d'applications, par Eden SUIRE de Wirepass

LoRa Mesh

**MAÎTRISER LES RÉSEAUX SANS FILS MESH :
STRATÉGIES ET RETOURS D'EXPÉRIENCE**



A central graphic features a clock face with the date "24 juin 2025" and a Wi-Fi symbol. Surrounding the clock are icons representing various mesh network applications: a house, a factory, a car, a smartphone, a padlock, a person, a server rack, and a building. To the left, a tree diagram lists network technologies: LORA, 5G MESH, BLE MESH, WIFI, WIREPAS, and ZIGBEE. The CRESITT INDUSTRIE logo is at the bottom left of the graphic, and the text "Au Lab'0 à Orléans Présentiel & Visio" is at the bottom right. A row of partner logos is at the very bottom.

Le CRT CRESITT est soutenu par :

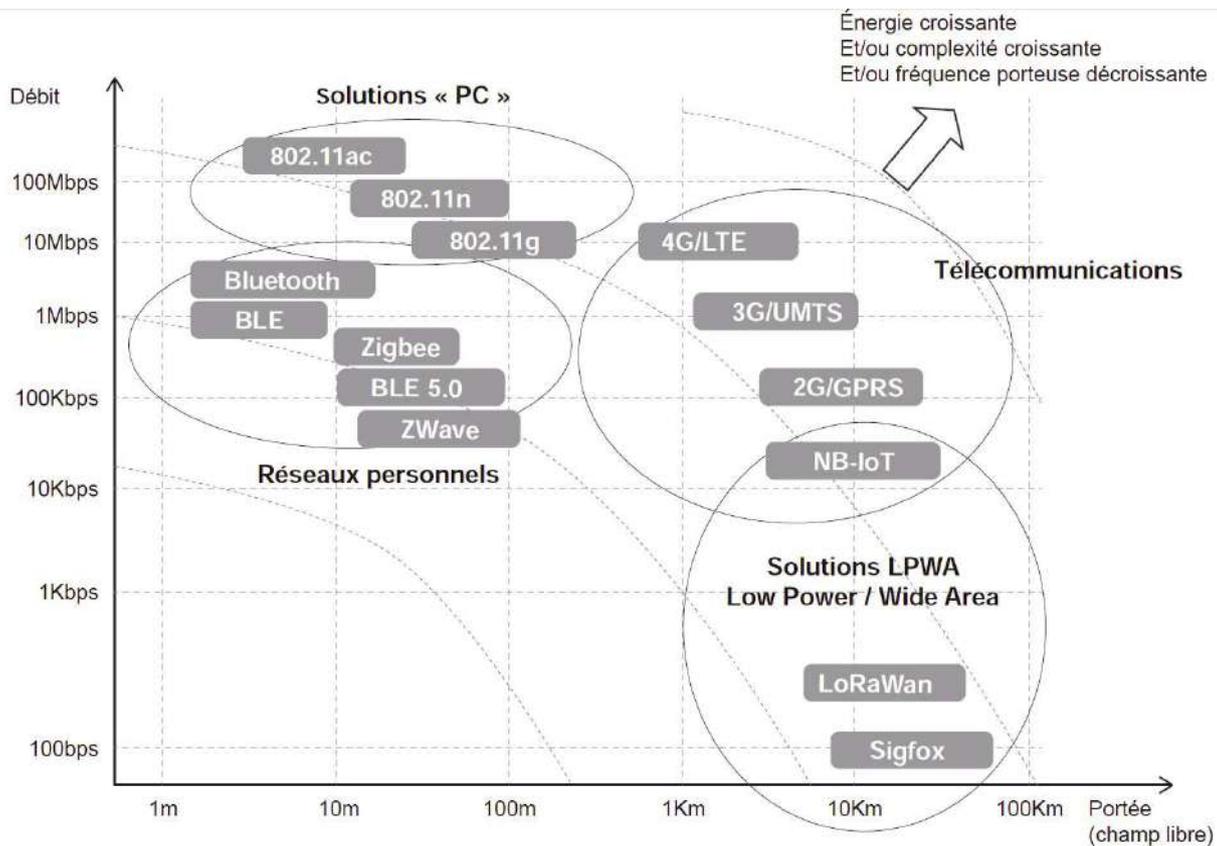


Cofinancé par
l'Union européenne



L'action de diffusion technologique est cofinancée par l'Union européenne.
L'Europe s'engage en région Centre-Val de Loire avec le Fonds européen de développement régional.

- Rappel technologie LoRa
- LoRa Mesh
- Meshtastic
- Performances
- Conclusion



Src : <https://www.elektormagazine.fr>
(mai-juin 2018)

• Caractéristiques

- Fréquences : 433Mhz, 863-870Mhz, 2.4Ghz
- Largeur de bande (BW) : 125kHz ou 250kHz
- Étalement de spectre (SF) : 7 à 12 (nb bits pendant durée d'un symbole)
- Taux de codage : 4/5, 4/6, 4/7, 4/8 (CR : 1,2,3,4 bit(s) tous les 4bits)
- Débits atteignables en Europe: de 180bps à 50kbps

DR	SF	BW (kHz)	Débit binaire utile en bits/s				Max Payload
			CR=4/5	CR=4/6	CR=4/7	CR=4/8	
DR6	7	250	10938	9115	7812	6836	230
DR5	7	125	5469	4557	3906	3418	230
DR4	8	125	3125	2604	2232	1953	230
DR3	9	125	1758	1465	1256	1099	123
DR2	10	125	977	814	698	610	59
DR1	11	125	537	448	384	336	59
DR0	12	125	293	244	209	183	59
DR7	FSK		50000				230

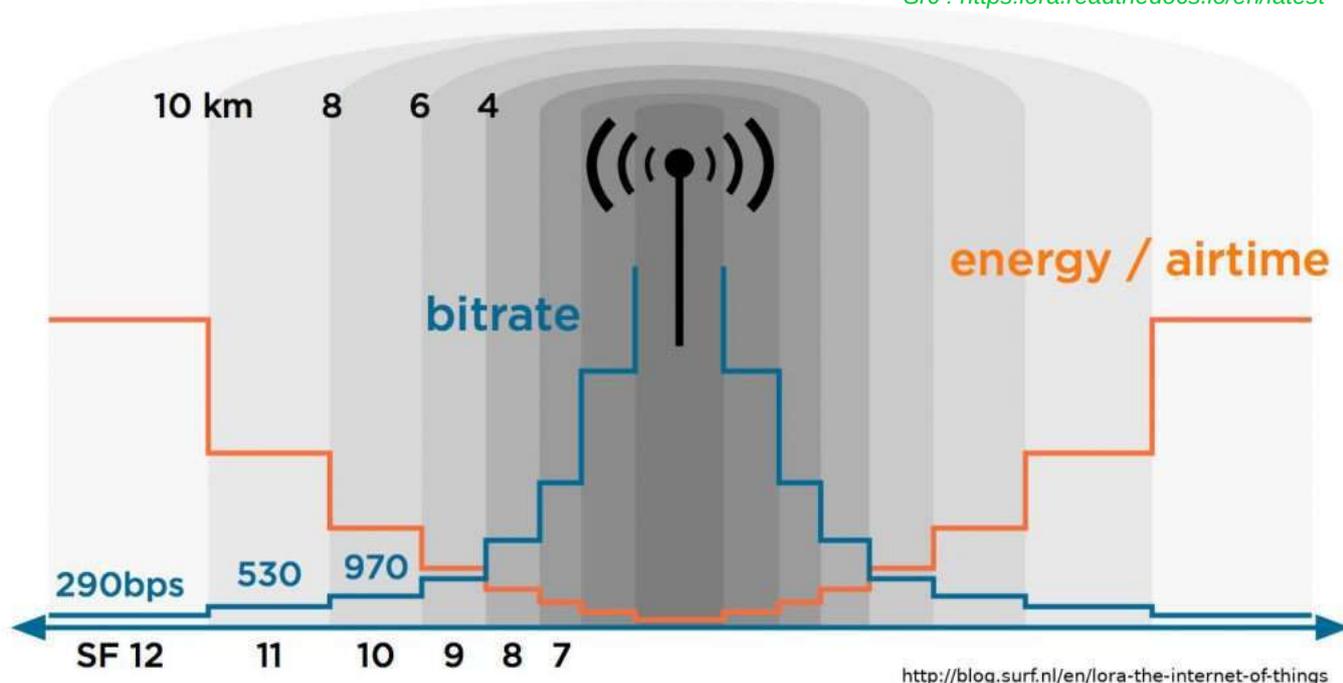
Src : <https://cabanisbrive.scenari-community.org>

- **Caractéristiques**
 - Portée vs Consommation
 - Uplink 25mW (+14dBm)
 - Downlink 0.5W (+27dBm)
 - DC : 0.1% ou 1%

Name	Band (MHz)	Limitations
G	863.0 - 868.0	EIRP<25 mW - duty cycle < 1%
G1	868.0 - 868.6	EIRP<25 mW - duty cycle < 1%
G2	868.7 - 869.2	EIRP<25 mW - duty cycle < 0.1%
G3	869.4 - 869.65	EIRP<500 mW - duty cycle < 10%
G4	869.7 - 870.0	EIRP<25 mW - duty cycle < 1%

Src : <https://lora.readthedocs.io/en/latest>

SF	BW (kHz)	Débit binaire utile en bits/s			
		CR=4/5	CR=4/6	CR=4/7	CR=4/8
7	250	10938	9115	7812	6836
7	125	5469	4557	3906	3418
8	125	3125	2604	2232	1953
9	125	1758	1465	1256	1099
10	125	977	814	698	610
11	125	537	448	384	336
12	125	293	244	209	183



• Caractéristiques

- Nombre de nœuds : 1 million (théorique)
- Nombre de canaux : 10

Channel	Uplink freq (MHz)	SPREADING FACTOR & BANDWIDTH RANGE
0	868.1	SF7BW125 to SF12BW125
1	868.3	SF7BW125 to SF12BW125 and SF7BW250
2	868.5	SF7BW125 to SF12BW125
3	867.1	SF7BW125 to SF12BW125
4	867.3	SF7BW125 to SF12BW125
5	867.5	SF7BW125 to SF12BW125
6	867.7	SF7BW125 to SF12BW125
7	867.9	SF7BW125 to SF12BW125
8	868.8	FSK

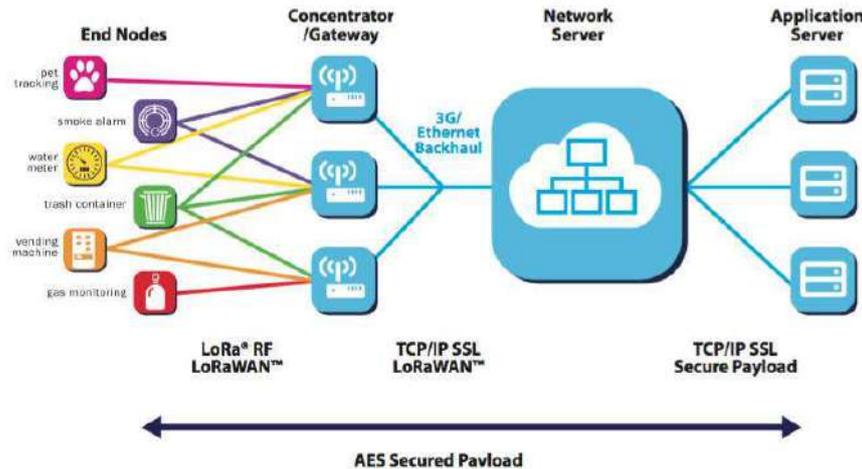
Download freq (MHz)	SPREADING FACTOR & BANDWIDTH RANGE
869.525	Uplink channels 0-8 (RX1) SF9BW125 (RX2 downlink only)

- Technologie exclusive brevetée par Semtech Corporation

Src : <https://lora.readthedocs.io/en/latest>

• Protocole LoRaWan

- Point à point
- Écosystème répandu LPWAN (Low Power Wide Area Network)
- Bande ISM (863Mhz-870Mhz)
- Large gamme de capteurs supportée
- Connexion à Internet par une passerelle
- LoRa Alliance (consortium d'industriels & opérateurs)

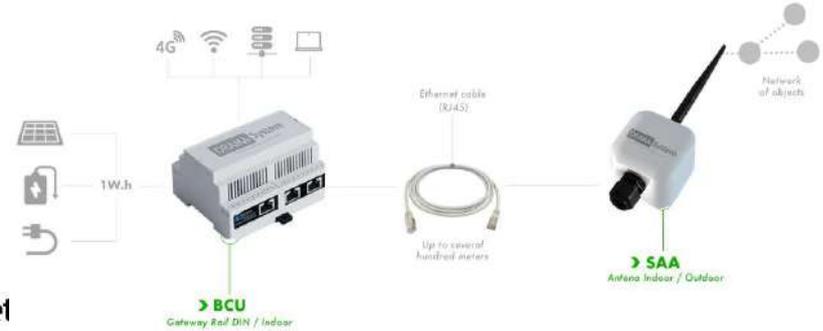
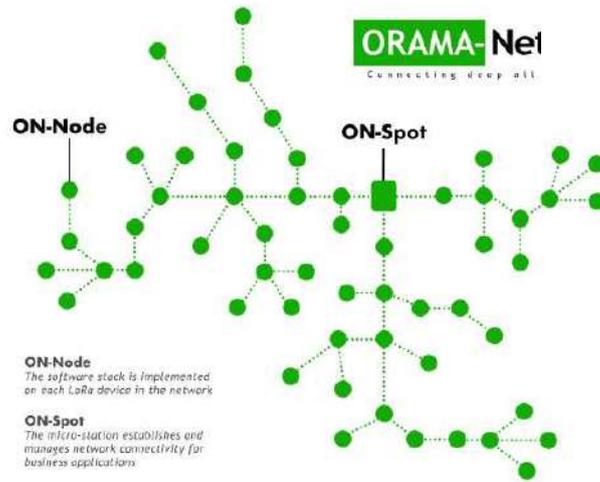


Solutions

- Orama-Net (<https://orama-system.com>)
 - Orama System (Meyreuil (13))

Objects are
and build
the network

 <p>1 km between each object</p>	 <p>9 jumps from the micro-station</p>
 <p>25000 hectares of coverage</p>	 <p>65000 objects in the network</p>



• Solutions

- Orama-Net (<https://orama-system.com>)
 - Low Power Wireless Sensor Network (LPWSN)
 - Pile propriétaire sous licence
 - Micro-station + nœuds (868Mhz)
 - Communication bi-directionnelle chiffrée (AEDA 256)
 - 1.76Kbps < < 18.75Kbps
 - Payload <240 bytes
 - +14dBm
 - RAK3172 + pile propriétaire ON-Node
 - Kit d'évaluation (info température / batterie)
 - Passerelle ON-Spot



Nœud du kit



ON-Spot

- ## Solutions

- ### Arduino DIY - ESP32

- <https://github.com/nootropicdesign/lora-mesh> Utilise carte arduino avec module LoRa sur Moteino (868Mhz ou 433Mhz – modules semtech ex : SX1276)
- <https://github.com/DSG-UPC/Arduino-LoRa-Mesh> Thèse : Towards LoRa mesh networks for the IoT (Pueyo Centelles Roger 2021) + LoRaMesher
 - Carte LiLYGO TTGO ESP32 LoRa32 (semtech ex: SX1278) + FloRa mesh
- <https://github.com/spleenware/ripple> lot LoRa mesh sur Carte LiLYGO TTGO LoRa32, Heltec LoRa32, adafruit Feather M0 RFM96, Seed Xiao. Envoi message depuis un smartphone...vers un endpoint
 - Pager/Messenger (USB-OTG)/Bluetooth, Repeater, Sensor, GPS tracker, Qwerty pager..

- ### Meshtastic

- Meshtastic

- Librairie Open Source (**LGPL V3.0**) : <https://github.com/meshtastic>
- Propagation testée jusqu'à 331 Km
- Réseau décentralisé
- Faible consommation
- Technologie radio LoRa
- Support matériel :
 - RAKwireless Technology : RAK19007+RAK4631 ou WisMesh (pocket V2) (SX1262 + nrf52840)...
 - Seeed Studio : SenseCAP Card Tracker T1000-E (LR1110 + nrf52840)
 - HELTEC LoRa32 V3 (SX1262 + ESP32-S3FN8)
 - Nano G2 Ultra (SX1262 + nrf52840)
 - Station G2 (SX1262 + ESP32-S3 WROOM-1)
 - LILYGO LoRa T3-S3 (SX1262/76/80 /LR1110 + ESP32-S3)
 - Etc.
- Communication chiffrée (AES256-CT) (sauf header)
- Protection anti-rejeu depuis la V2.5.0
- Tout le monde peut envoyer des messages sur les channels



- Meshtastic
 - 8 configurations radio de pré-configurer

Radio Preset	Alt Preset Name	Data-Rate	SF / Symbols	Coding Rate	Bandwidth	Link Budget
Short Range / Turbo	Short Turbo	21.88 kbps	7 / 128	4/5	500 kHz ¹	140dB
Short Range / Fast	Short Fast	10.94 kbps	7 / 128	4/5	250 kHz	143dB
Short Range / Slow	Short Slow	6.25 kbps	8 / 256	4/5	250 kHz	145.5dB
Medium Range / Fast	Medium Fast	3.52 kbps	9 / 512	4/5	250 kHz	148dB
Medium Range / Slow	Medium Slow	1.95 kbps	10 / 1024	4/5	250 kHz	150.5dB
Long Range / Fast	Long Fast	1.07 kbps	11 / 2048	4/5	250 kHz	153dB
Long Range / Moderate	Long Moderate	0.34 kbps	11 / 2048	4/8	125 kHz	156dB
Long Range / Slow	Long Slow	0.18 kbps	12 / 4096	4/8	125 kHz	158.5dB

Src : <https://meshtastic.org>

- Meshtastic

- Utilisation des fréquences 869.4Mhz 869.65Mhz pour les échanges de données
- Puissance maximale de la bande (+27dBm)
- Duty cycle maximum (10%)

Name	Band (MHz)	Limitations
G	863.0 - 868.0	EIRP<25 mW - duty cycle < 1%
G1	868.0 - 868.6	EIRP<25 mW - duty cycle < 1%
G2	868.7 - 869.2	EIRP<25 mW - duty cycle < 0.1%
G3	869.4 - 869.65	EIRP<500 mW - duty cycle < 10%
G4	869.7 - 870.0	EIRP<25 mW - duty cycle < 1%

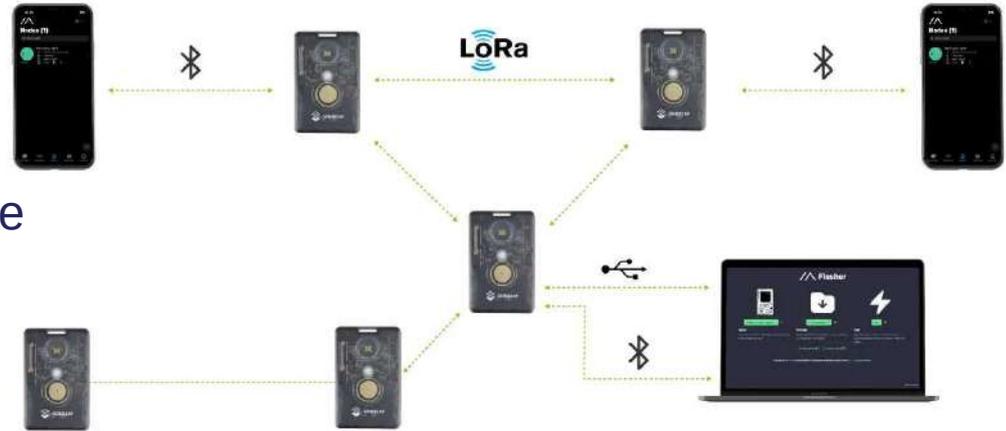
Src : <https://meshtastic.org>

Permitted Frequency Band	Maximum effective radiated power, e.r.p.	Channel access and occupation rules (e.g. Duty cycle or LBT + AFA)	Maximum occupied bandwidth	Maximum Channel spacing
○ 869,400 MHz to 869,650 MHz	500 mW e.r.p.	≤ 10 % duty cycle or polite spectrum access	250 kHz	

Src : <https://www.etsi.org/>

- Meshtastic

- Échange de messages
- Datas < 237 Bytes
- Communication dans un canal logique
 - Même nom
 - Même clef de chiffrement associée
 - Default : « name » clef : AQ==
- Maximum de 8 canaux par nœud
- Relais du message avec décrétement nb de saut (Hop)
- 7 jumps (Hop) maximum
- Stocke 30 paquets (FIFO) si pas connecté à un client
- Version V2.6.7.2 (may 2025)

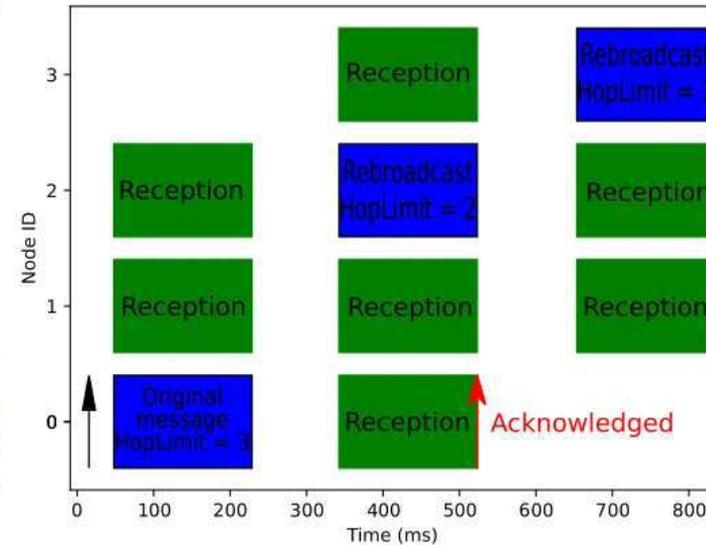
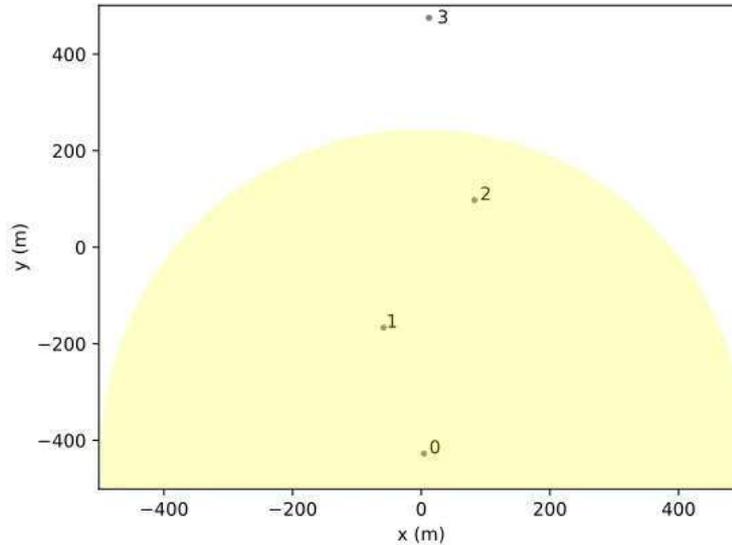


• Rôles

Rôle	Description technique	Cas d'usage recommandé
CLIENT	Appareil autonome ou connecté à une application. Réémet les paquets si aucun autre nœud ne l'a fait.	Usage général pour les utilisateurs souhaitant communiquer sur le réseau Meshtastic avec une appli cliente.
CLIENT_MUTE	Ne relaie pas les paquets provenant d'autres appareils.	Cas où l'appareil doit participer au réseau sans relayer, afin de réduire la charge réseau.
CLIENT_HIDDEN	N'émet que lorsque nécessaire, pour des raisons de discrétion ou d'économie d'énergie. (<i>pas stable</i>)	Utilisation dans des déploiements discrets ou pour réduire la consommation d'énergie / le trafic radio.
TRACKER	Diffuse prioritairement sa position GPS.	Pour le suivi en temps réel d'individus ou d'objets, avec des mises à jour efficaces.
LOST_AND_FOUND	Émet régulièrement sa position sur le canal par défaut pour faciliter sa récupération.	Utilisé pour retrouver un appareil perdu ou égaré.
SENSOR	Diffuse prioritairement des paquets de télémétrie.	Pour collecter des données environnementales ou capteurs de manière fréquente et économe.
TAK	Optimisé pour le système ATAK, limite les émissions de routine.	Intégration avec le système ATAK (via plugin), dans des opérations tactiques ou coordonnées.
TAK_TRACKER	Active la diffusion automatique PLI pour ATAK, avec émissions limitées.	Intégration PLI autonome avec ATAK pour le suivi d'unité en contexte tactique.
REPEATER	Nœud d'infrastructure relayant systématiquement les paquets (une fois), sans apparaître dans la topologie.	Placé à des points stratégiques pour étendre la couverture, sans être visible dans la liste des nœuds.
ROUTER	Nœud d'infrastructure relayant systématiquement les paquets (une fois), visible dans la topologie.	Placé à des endroits fixes pour maximiser la couverture du réseau.
ROUTER_LATE	Même rôle que ROUTER, mais relaie les paquets en dernier recours, pour renforcer des clusters locaux.	Idéal pour couvrir des zones mortes ou renforcer un petit groupe de nœuds. Visible dans la topologie.

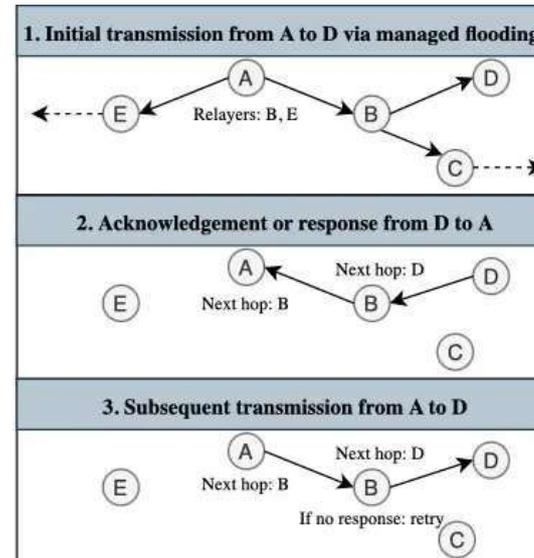
- Message

- Unreliable : No ack
- Reliable 0 hop : Ack (sauf en broadcast), 3 renvois si pas ACK
- Reliable multi-hop : algorithme de « managed flooding »
 - Listen before talk (temps d'écoute proportionnel SNR)
 - Rediffusion rapide pour les répéteurs, puis pour les clients les plus éloignés



Src : <https://meshtastic.org>

- Message
 - Unreliable : No ack
 - Reliable 0 hop : Ack (sauf en broadcast), 3 renvois si pas ACK
 - Reliable multi-hop : algorithme de « managed flooding »
 - Message Direct : « Next-Hop routing »
 - 1) Flooding
 - 2) Sélection relais optimal
 - 3) Repli sur flooding si next-hop impossible
chiffré + authentifié (>V2.5.0)



Src : <https://meshtastic.org>

- Mise en œuvre

Wio-WM1110 Development Kit (x4)

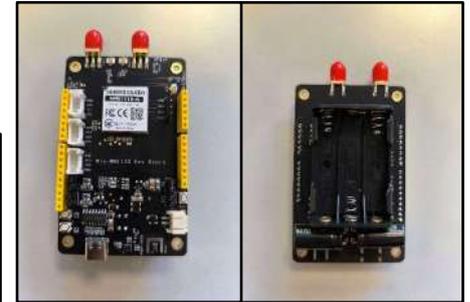
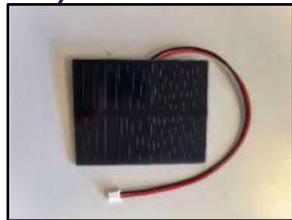
1x **Dev Board** intégrant :

- Un module Wio-WM1110 constitué d'une puce **Semtech LR1110** (LoRa, GNSS, Wi-Fi) et une puce **Nordic nRF52840** (traitement de données, Bluetooth).
- Capteur environnemental (TH Sensor SHT41).
- Accéléromètre axial (LIS3DHTR).

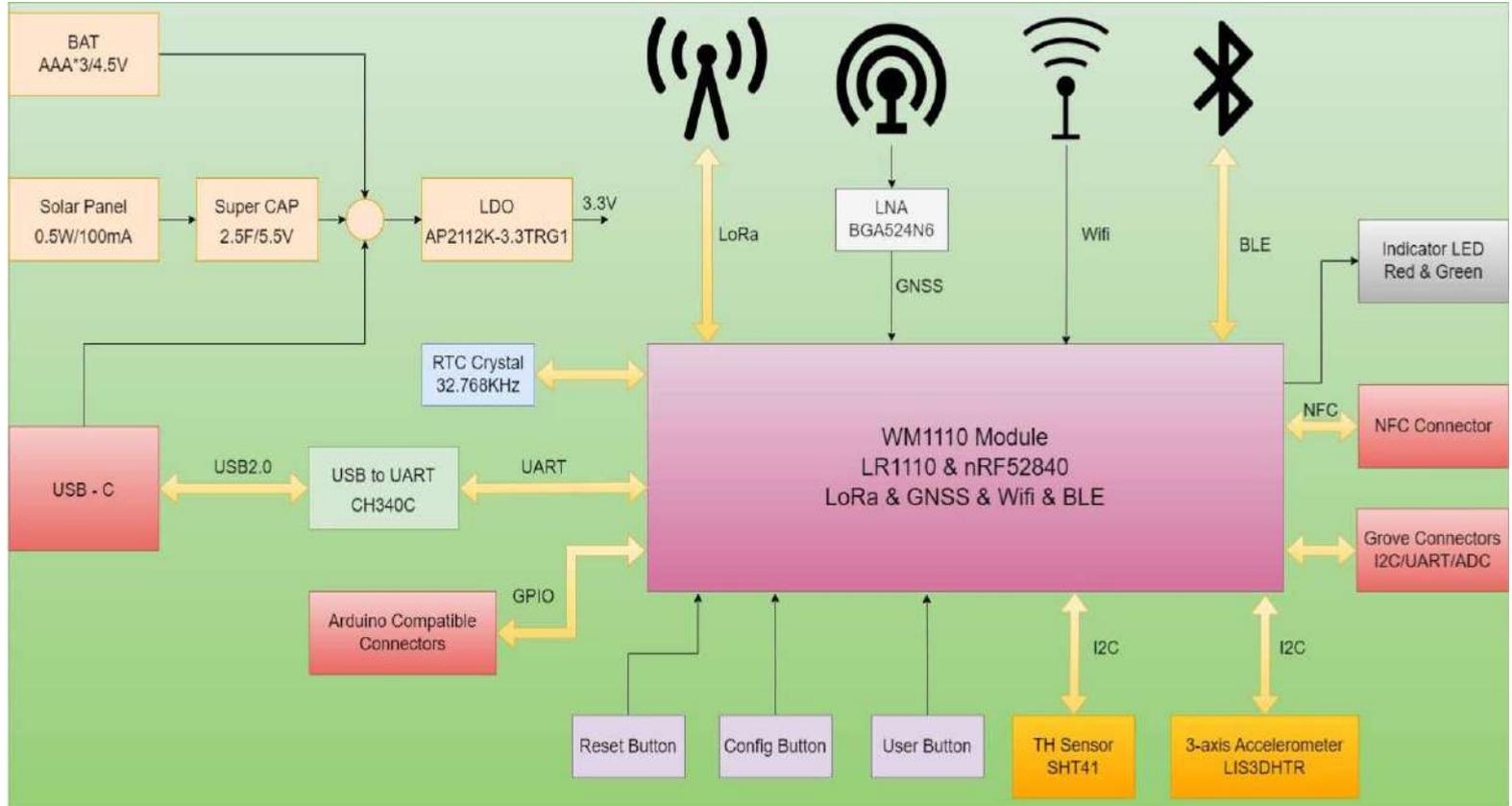
1x **Antenne LoRa** (868-915 MHz).

1x **Antenne GPS**

1x **Panneau solaire**



- Wio-WM1110 Development Kit**



Src : WM1110DEVKITV12_SCH.pdf

- **Wio-WM1110 Development Kit**

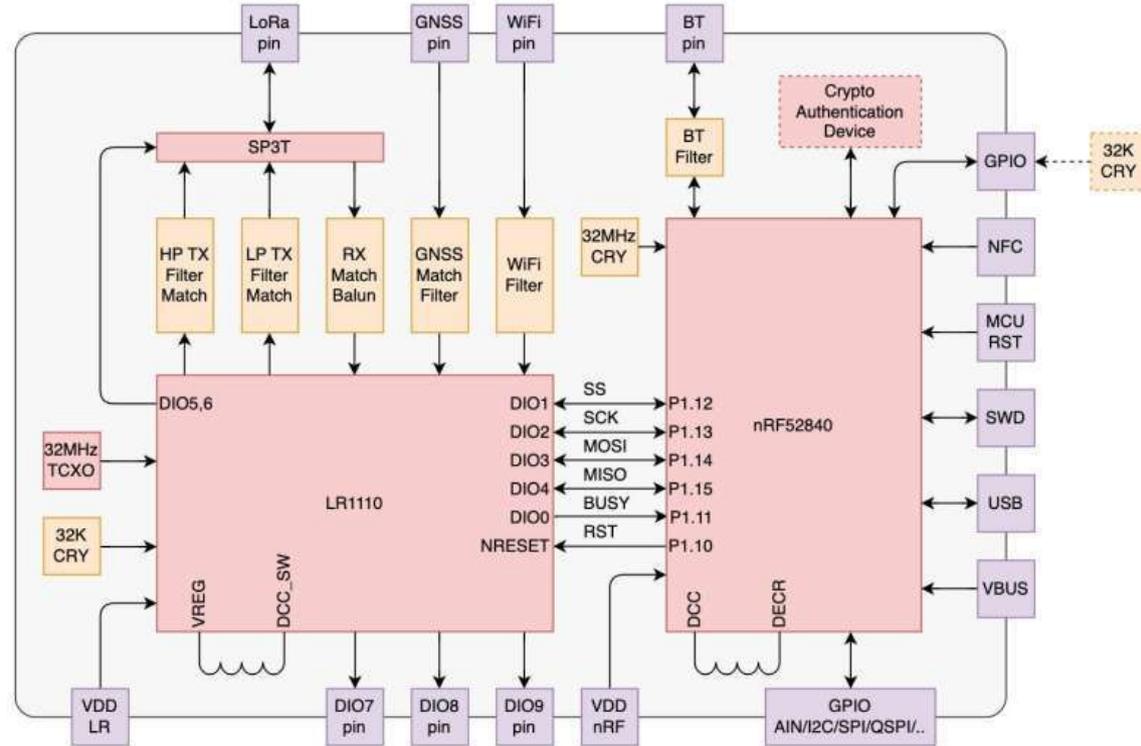


Figure 1 WM1110 Schematic diagram

Src : Wio-WM1110 Module -
datasheet v1.3

- Mise en œuvre
 - Sensibilité : -125dBm (SF7) -141dBm (SF12)
- Firmware
 - Clonage du projet depuis GitHub : <https://github.com/meshtastic/firmware>
 - Visual Studio Code + PlatformIO (extension)
 - Compilation avec sélection de la bonne configuration de carte (wio-sdk-wm1110)

```
wio-  
env:seeed-xiao-nrf52840-wio-sx1262 Wio/firmware  
env:wio-e5 Wio/firmware  
env:wio-sdk-wm1110 Wio/firmware  
env:wio-t1000-s Wio/firmware  
env:wio-tracker-wm1110 Wio/firmware
```

- Mise en œuvre
- Firmware
 - Génération du firmware de l'application

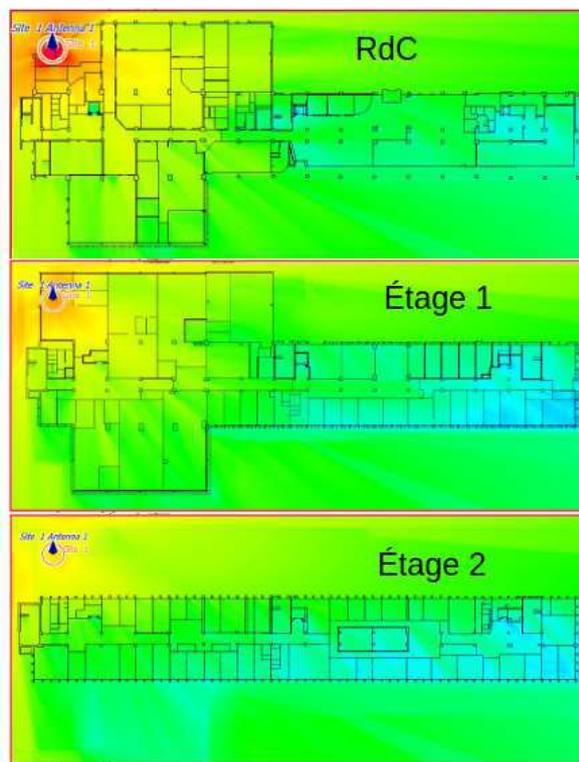
```
Building in debug mode
Using meshtastic platformio-custom.py, firmware version 2.6.9.1706c16f on wio-sdk-wm1110
Using flags:
-DAPP_VERSION=2.6.9.1706c16f
-DAPP_VERSION_SHORT=2.6.9
-DAPP_ENV=wio-sdk-wm1110
-DUSERPREFS_TZ_STRING=\"tzplaceholder\"
Disabling Adafruit USB stack
Checking size .pio/build/wio-sdk-wm1110/firmware.elf
Advanced Memory Usage is available via "PlatformIO Home > Project Inspect"
RAM: [==      ] 16.2% (used 40356 bytes from 248832 bytes)
Flash: [=====] 73.7% (used 600880 bytes from 815104 bytes)
===== [SUCCESS] Took 25.16 seconds =====

Environment      Status      Duration
-----
wio-sdk-wm1110   SUCCESS    00:00:25.162

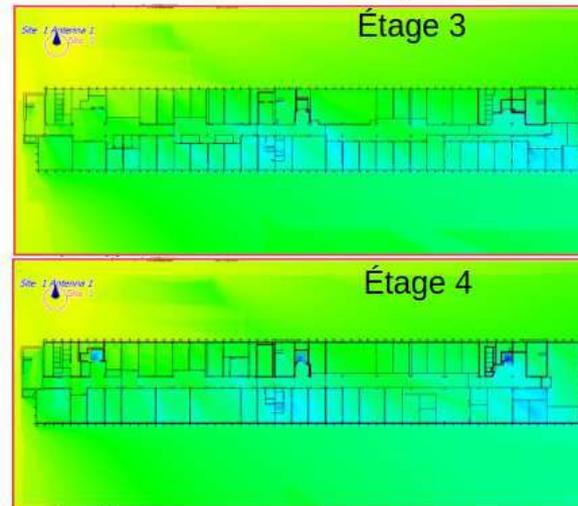
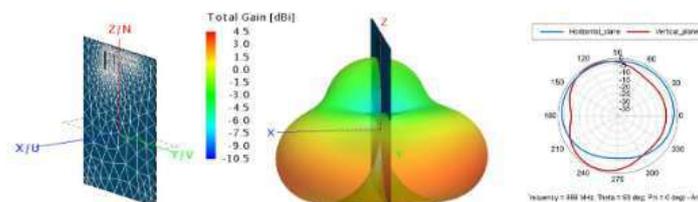
===== 1 succeeded in 00:00:25.162 =====
* Terminal will be reused by tasks, press any key to close it.
```

- Merge de l'application avec la pile Bluetooth
 - Sous Linux : nrf toolchain nécessaire
 - `mergehex.py -o nomdesortie.hex firmware/bin/s140_nrf52_7.3.0_softdevice.hex firmware/.pio/build/wio-sdk-wm110/firmware.hex`
 - Sous Windows : utilisation des outils nrf command line tools
 - `mergehex -m firmware/bin/s140_nrf52_7.3.0_softdevice.hex firmware/.pio/build/wio-sdk-wm110/pathtofirmware/firmware.hex -o nomdesortie.hex`

- Simulation LoRa au Lab'O – outils WallMan – ProMan d'altair Feko
- Modélisation des étages (WallMan) et simulation (ProMan) (*séminaire cresitt juin 2022*)



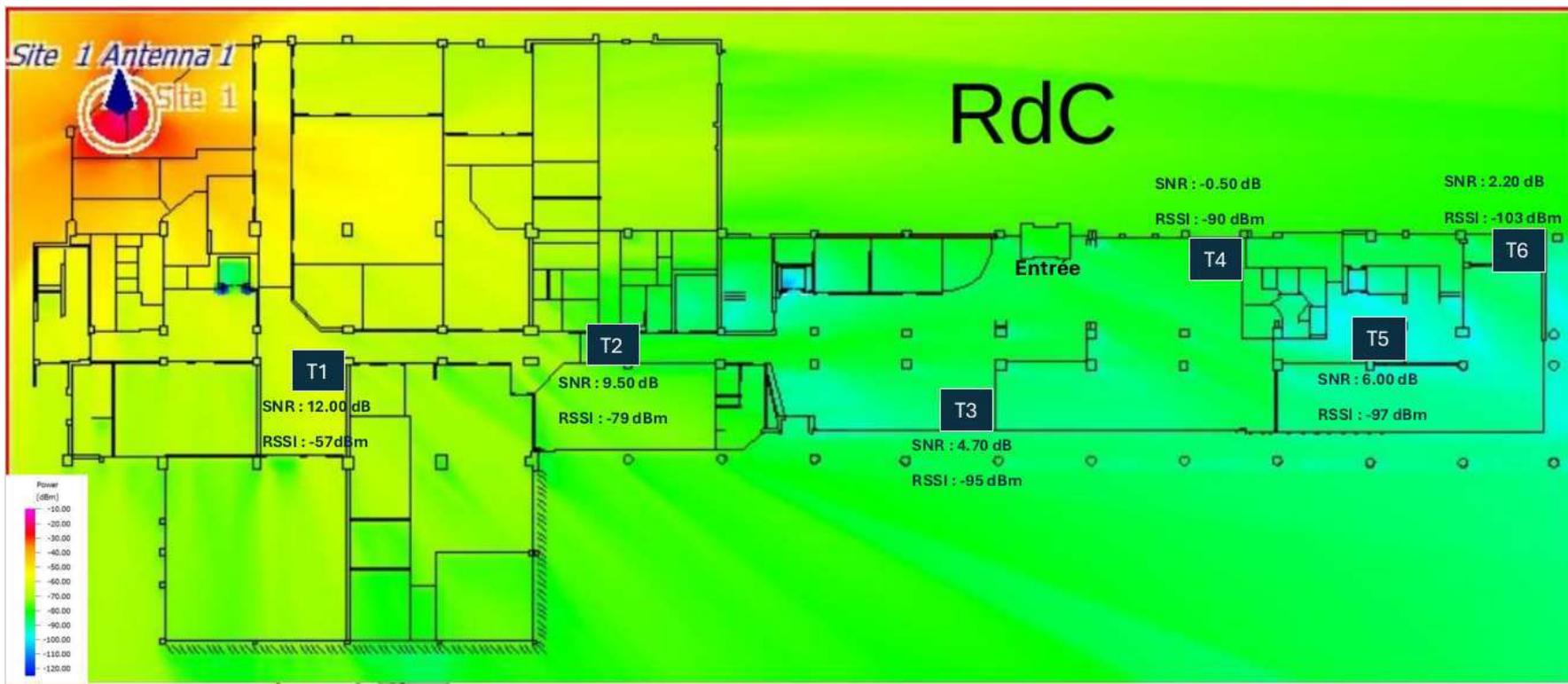
Empirical Loss : Config1



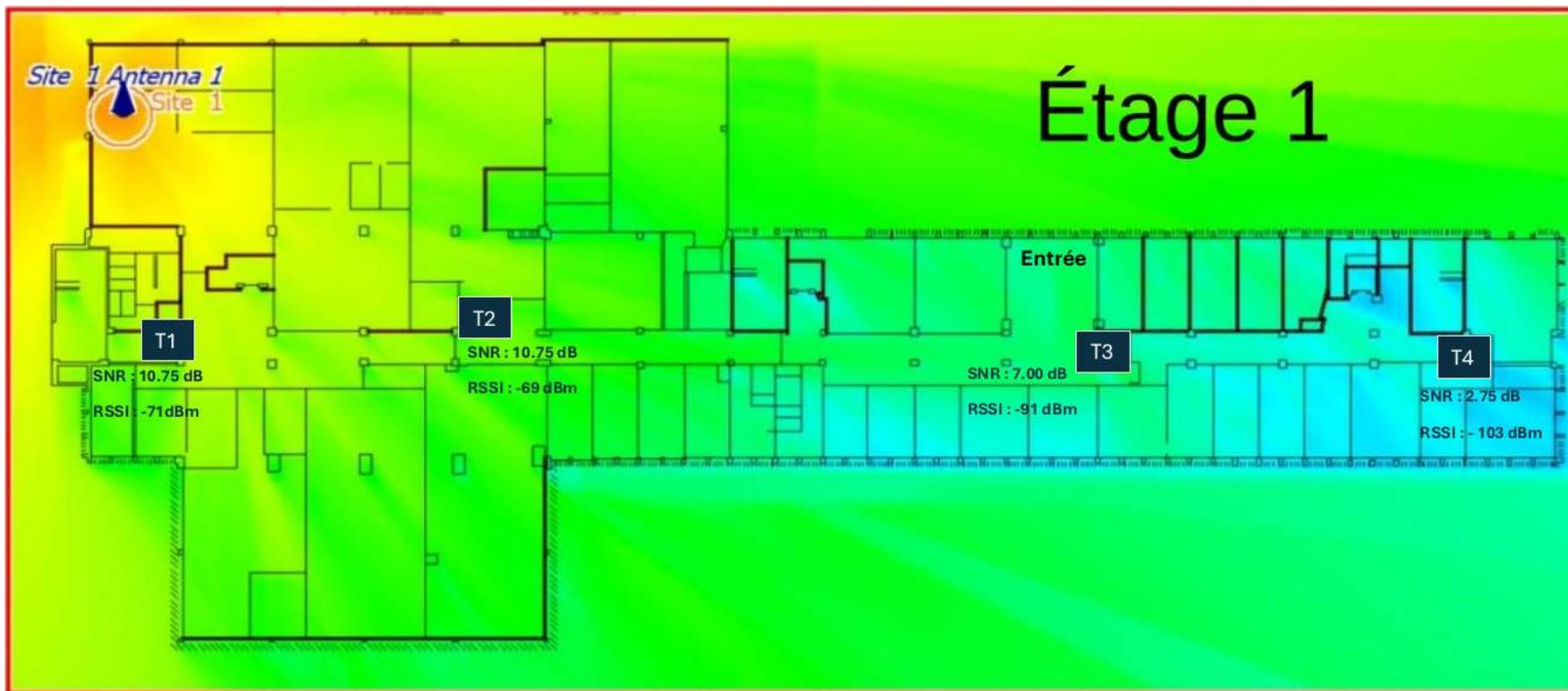
POWER



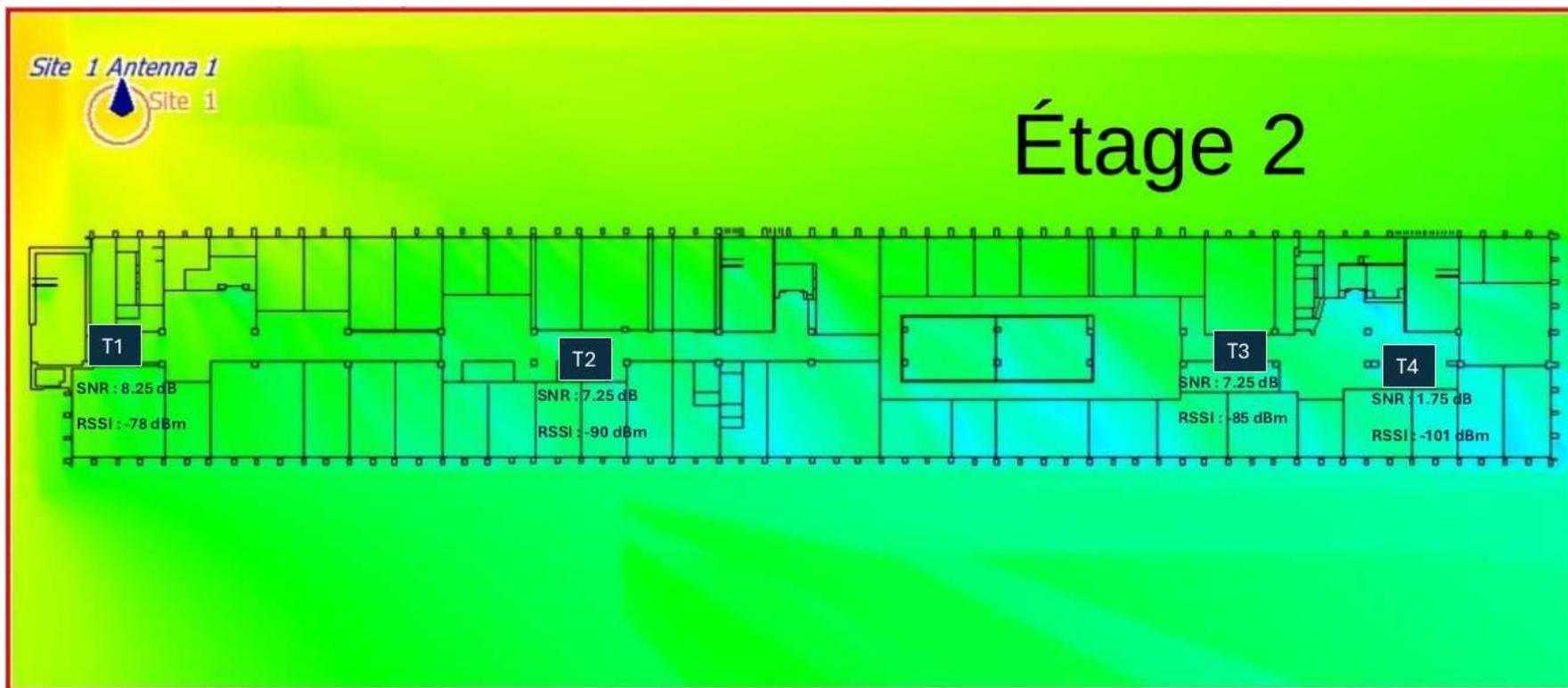
- Test couverture : Condition Tx à 17dBm



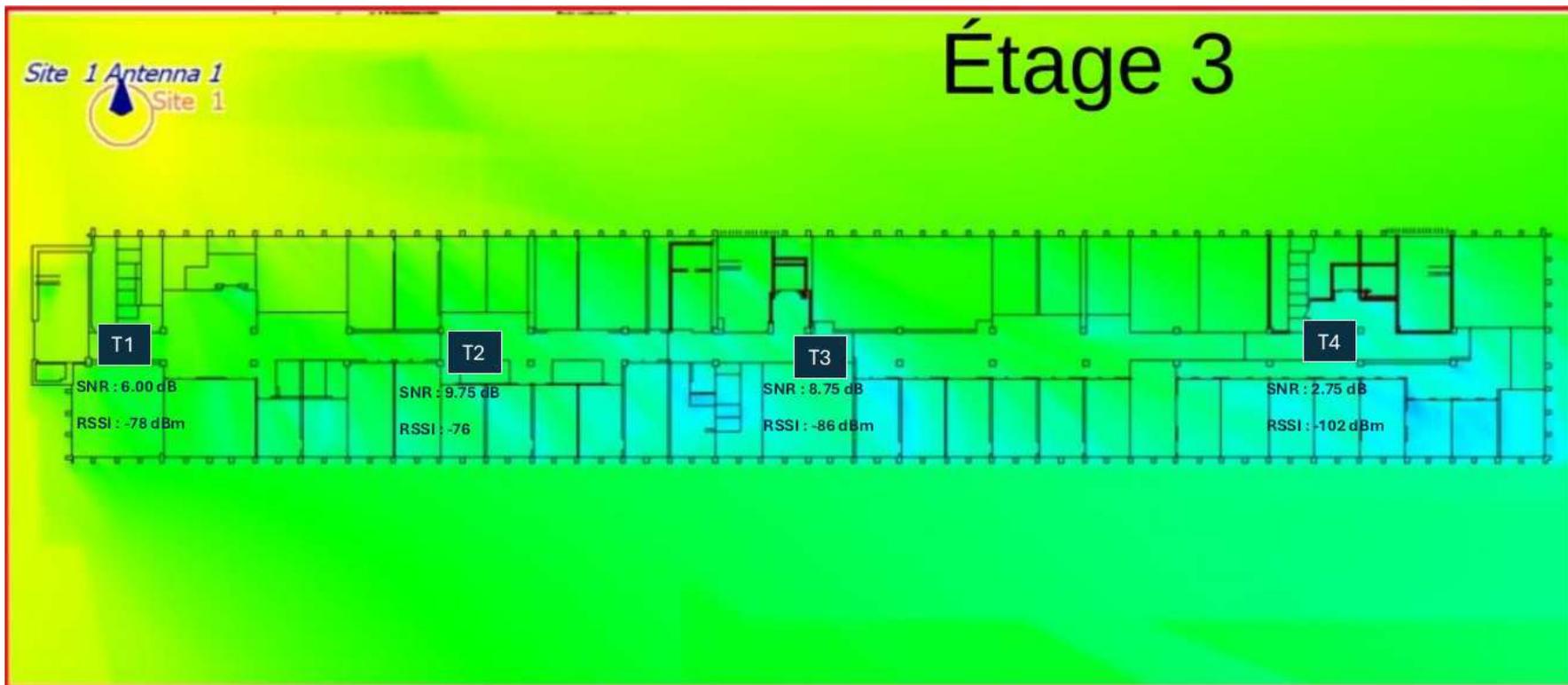
- Test couverture : Condition Tx à 17dBm



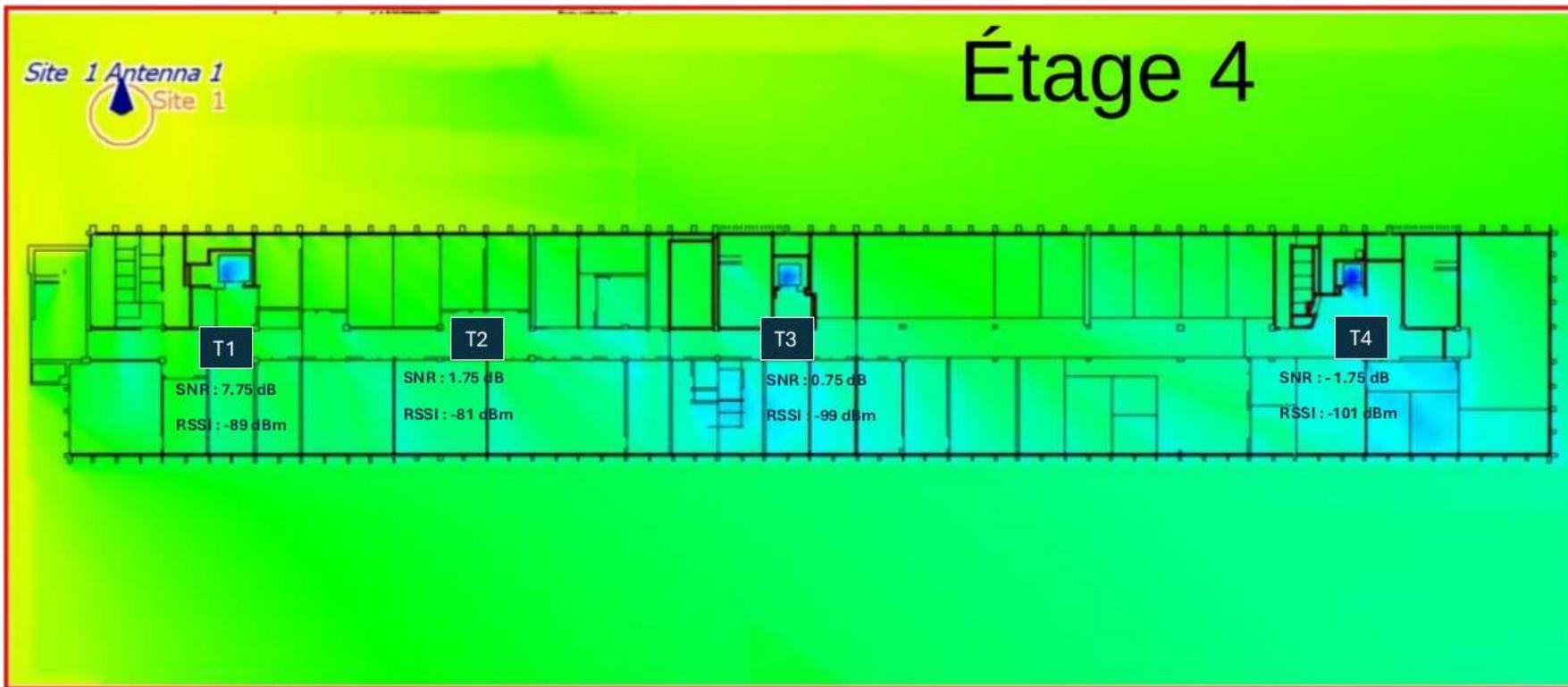
- Test couverture : Condition Tx à 17dBm



- Test couverture : Condition Tx à 17dBm



- Test couverture : Condition Tx à 17dBm



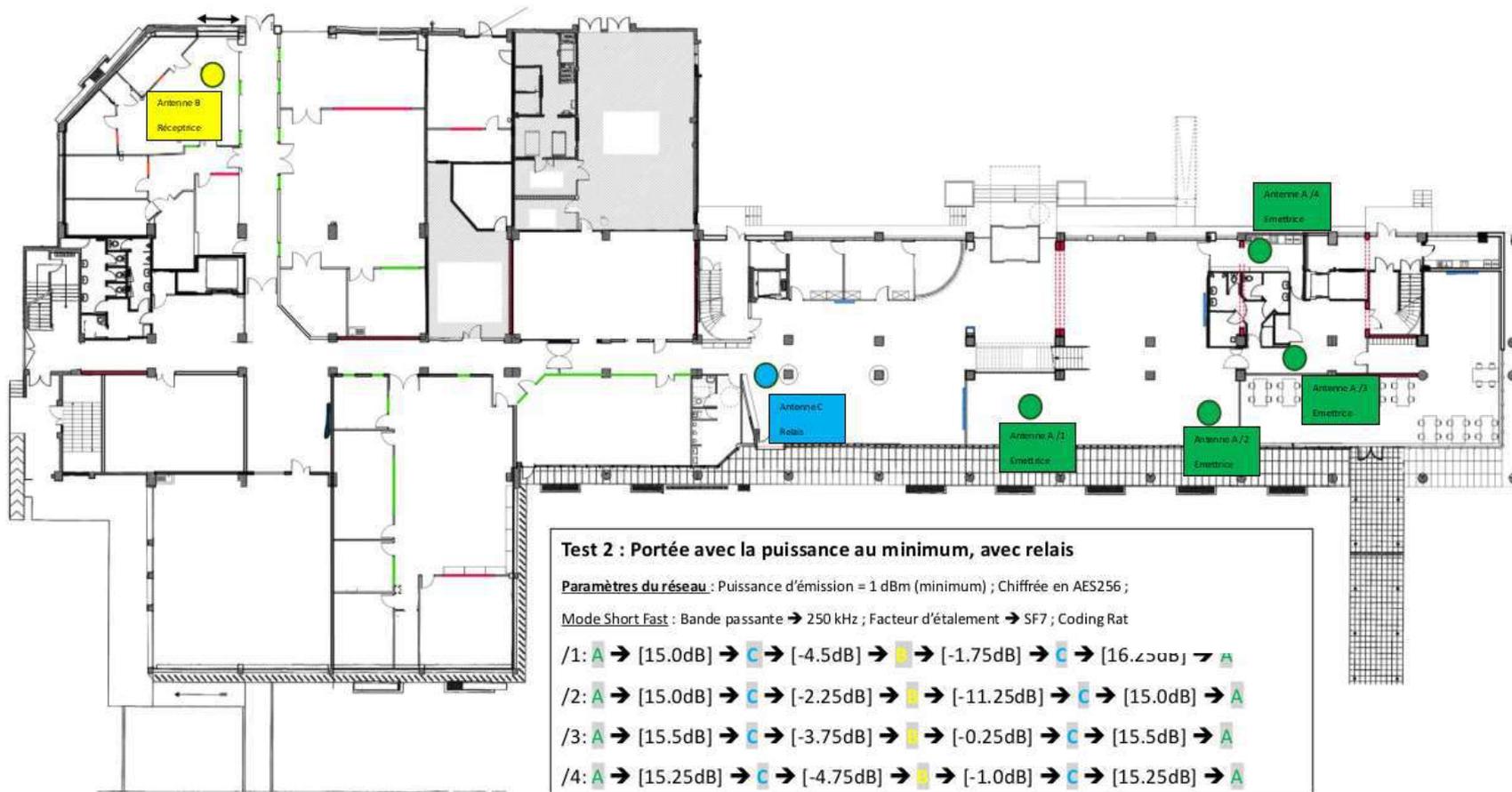


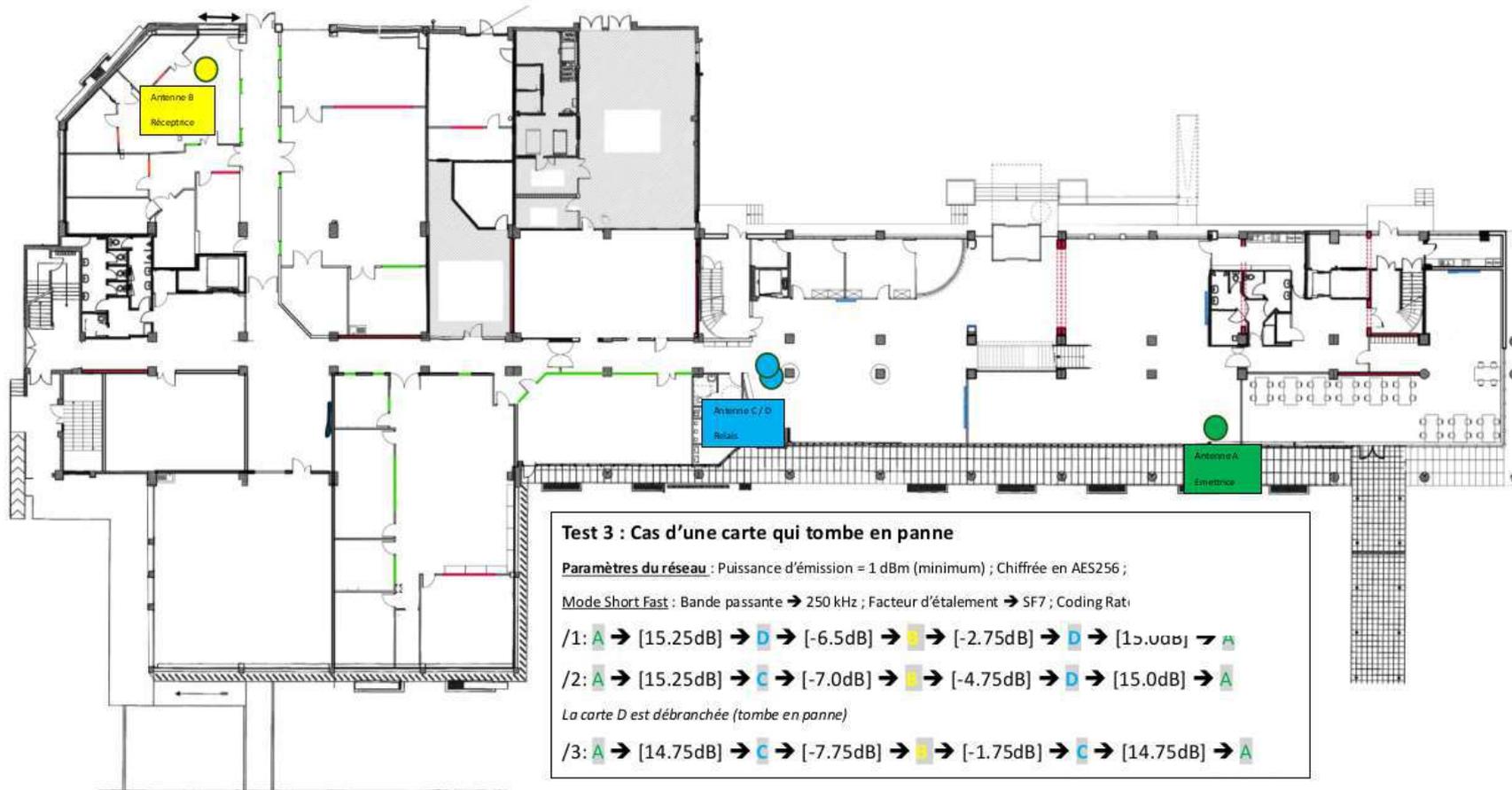
Test 1 : Portée maximale avec la puissance au minimum

Paramètres du réseau : Puissance d'émission = 1 dBm (minimum) ; Chiffree en AES256 ;
Mode Short Fast : Bande passante → 250 kHz ; Facteur d'étalement → SF7 ; Coding Rat

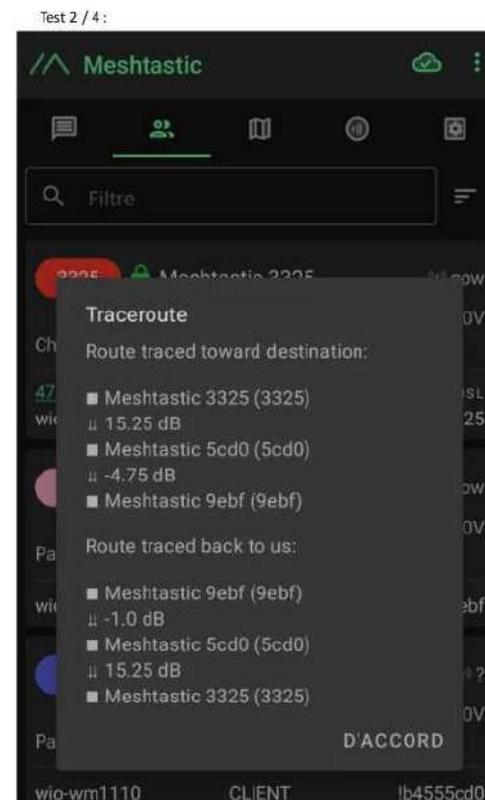
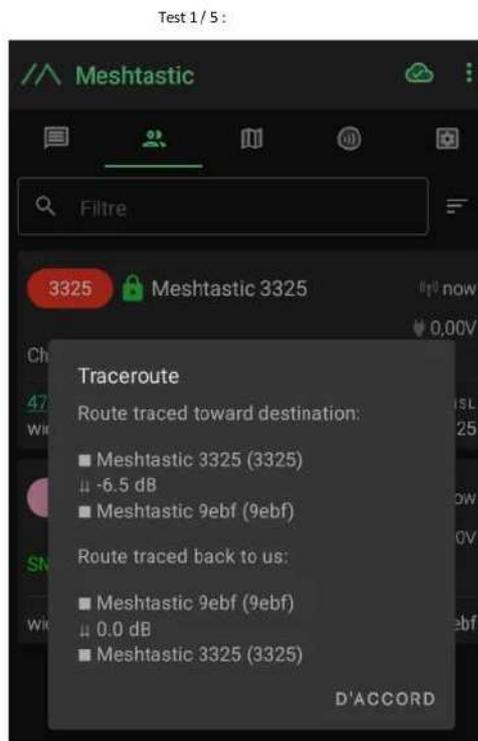
- /1 (RSSI -30dBm): A → [15.75dB] → [15.5dB] → A
- /2 (RSSI -58dBm): A → [15.0dB] → [15.0dB] → A
- /3 (RSSI -76dBm): A → [14.75dB] → [14.75dB] → A
- /4 (RSSI -93dBm): A → [10.25dB] → [13.5dB] → A
- /5 (RSSI -111dBm): A → [-6.5dB] → [0.0dB] → A

- /6 (RSSI -111dBm): A → [-8.5dB] → [0.5dB] → A
- /7 (RSSI -110dBm): A → [-8.0dB] → [-5.75dB] → A
- /8 (RSSI -111dBm): A → [-10.0dB] → [-6.75dB] → A
- /9 (RSSI -110dBm): A → [-8.25dB] → [-4.5dB] → A
- /10/11/12/13 PAS DE SIGNAL





- Application Android retourne le traceroute



- Consommations Wio-WM1110



Electrical Characteristics	power supply	3.3V typical			V	
	Sleep current	7.6uA (WDT on)			uA	
	Operation current (Transmitter + MCU)	125mA @ LoRa® TX 22dBm			mA	
		Operation current (Receiver + MCU)	10mA @ LoRa® SF12 125 kHz			mA
	7mA @ Bluetooth Scan					
	7mA @ Wi-Fi Scan					
	Output power	20dBm max @LoRa®			dBm	
		6dBm max @ Bluetooth				
	Sensitivity	SF				dBm
			min	type	max	
		SF7	-	-125	-	
		SF12	-	-141	-	

- Consommations
LR1110

Table 3-4: Basic Modes Power Consumption

Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
IDDPDN	Supply current in power down mode		-	0.8	-	μA
IDDSL3	Supply current in SLEEP mode, no RTC	8kB RAM retained	-	1.6	-	μA
IDDSL1	Supply current in SLEEP mode	No RAM retained	-	1.6	-	μA
IDDSL3A	LFRC (32kHz) based RTC	8kB RAM retained	-	1.85	-	μA
IDDSL2	Supply current in SLEEP mode	No RAM retained	-	1.5	-	μA
IDDSL4A	LFXOSC (32kHz) based RTC	8kB RAM retained	-	1.75	-	μA
IDDSL4B ¹	Supply current in SLEEP mode 32.768kHz RTC	16kB RAM retention	-	2	-	μA
IDDSBRLD	Supply current in STBY_RC	HFRC (32MHz) ON, LDO, System clock 16MHz	-	1.25	-	mA
IDDSBXLD	Supply current in STBY_XOSC	HFXOSC ON, LDO	-	1.3	-	mA
IDDSBXDC		HFXOSC ON, DC-DC	-	1.1	-	mA
IDDFSDC	Supply current in Synthesizer mode	DC-DC, system clock 32MHz	-	2.85	-	mA

1. Only for LoRa Basics Modem-E firmware of the LR1110



- Consommations
LR1110



Table 3-5: Receive Mode Power Consumption, DC-DC Mode Used

Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
IDDRXF1	Supply current in Receive mode ¹	FSK 4.8kb/s sub-GHz	-	5.4	-	mA
		with RxBoosted = 1	-	7.5	-	mA
IDDRXL1		LoRa® SF12 125kHz sub-GHz	-	5.7	-	mA
		with RxBoosted = 1	-	7.8	-	mA
IDDRXWIF1	Supply current in Wi-Fi scan mode	Preamble detect phase	-	11	-	mA
IDDRXWIF2		Capture phase	-	10	-	mA
IDDRXWIF3		Processing phase	-	3	-	mA
IDDRXGPS1	Supply current in GNSS scan mode	Capture phase	-	10	-	mA
IDDRXGPS2		Processing phase	-	5	-	mA

1. Add 1mA additional consumption for Modem-E use case because application specific timers are running.

Table 3-6: Transmit Mode Power Consumption^{1,2}

Symbol	Frequency Band	PA Match	Output Power	Min	Typ	Max	Unit
IDDTXLP1	868/915MHz		+15dBm	-	36	-	mA
IDDTXLP2			+14dBm	-	28	-	mA
IDDTXLP3			+10dBm	-	18.5	-	mA
IDDTXHP1	868/915MHz		+22dBm	-	118	-	mA
IDDTXHP2			+20dBm	-	96	-	mA
IDDTXHP3			+17dBm	-	73	-	mA
IDDTXHP4			+14dBm	-	50	-	mA

+22dBm, HP PA⁴

- Consommations
nRF52840



5.2.1.1 Sleep

Symbol	Description	Min.	Typ.	Max.	Units
I _{ON_RAMOFF_EVENT}	System ON, no RAM retention, wake on any event		0.97		μA
I _{ON_RAMON_EVENT}	System ON, full 256 kB RAM retention, wake on any event		2.35		μA
I _{ON_RAMON_POF}	System ON, full 256 kB RAM retention, wake on any event, power-fail comparator enabled		2.35		μA
I _{ON_RAMON_GPIOTE}	System ON, full 256 kB RAM retention, wake on GPIOTE input (event mode)		17.37		μA
I _{ON_RAMON_GPIOTEPORT}	System ON, full 256 kB RAM retention, wake on GPIOTE PORT event		2.36		μA
I _{ON_RAMOFF_RTC}	System ON, no RAM retention, wake on RTC (running from LFRC clock)		1.50		μA
I _{ON_RAMON_RTC}	System ON, full 256 kB RAM retention, wake on RTC (running from LFRC clock)		3.16		μA
I _{OFF_RAMOFF_RESET}	System OFF, no RAM retention, wake on reset		0.40		μA
I _{OFF_RAMOFF_LPCOMP}	System OFF, no RAM retention, wake on LPCOMP		0.86		μA
I _{OFF_RAMON_RESET}	System OFF, full 256 kB RAM retention, wake on reset		1.86		μA
I _{ON_RAMOFF_EVENT_5V}	System ON, no RAM retention, wake on any event, 5 V supply on VDDH, REG0 output = 3.3 V		1.29		μA
I _{OFF_RAMOFF_RESET_5V}	System OFF, no RAM retention, wake on reset, 5 V supply on VDDH, REG0 output = 3.3 V		0.95		μA

- Consommations
nRF52840

5.2.1.3 CPU running



Symbol	Description	Min.	Typ.	Max.	Units
I _{CPU0}	CPU running CoreMark @64 MHz from flash, Clock = HFXO, Regulator = DC/DC		3.3		mA
I _{CPU1}	CPU running CoreMark @64 MHz from flash, Clock = HFXO		6.3		mA
I _{CPU2}	CPU running CoreMark @64 MHz from RAM, Clock = HFXO, Regulator = DC/DC		2.8		mA
I _{CPU3}	CPU running CoreMark @64 MHz from RAM, Clock = HFXO		5.2		mA
I _{CPU4}	CPU running CoreMark @64 MHz from flash, Clock = HFINT, Regulator = DC/DC		3.1		mA

- Conclusion
 - Code libre d'accès et de réutilisation (LGPLV 3.0)
 - Réseau mesh fonctionnel
 - Zone de couverture et sensibilité en adéquation avec la simulation
 - Prise en main : simple
 - Point faible : la consommation
 - Recherche en cours pour diminuer la consommation

Les réseaux maillés –

L'intelligence de la nature au service des objets connectés



Eden SUIRE
Pour le Cresitt Industrie
24 Juin 2025



Et si vos réseaux pensaient comme des ruches ?

Ce que nous pouvons apprendre des abeilles pour l'avenir des objets connectés







ZONWORKS[®]
XT **HIVE**



 **Clevertronics**

Résilient

Evolutif

Autonome

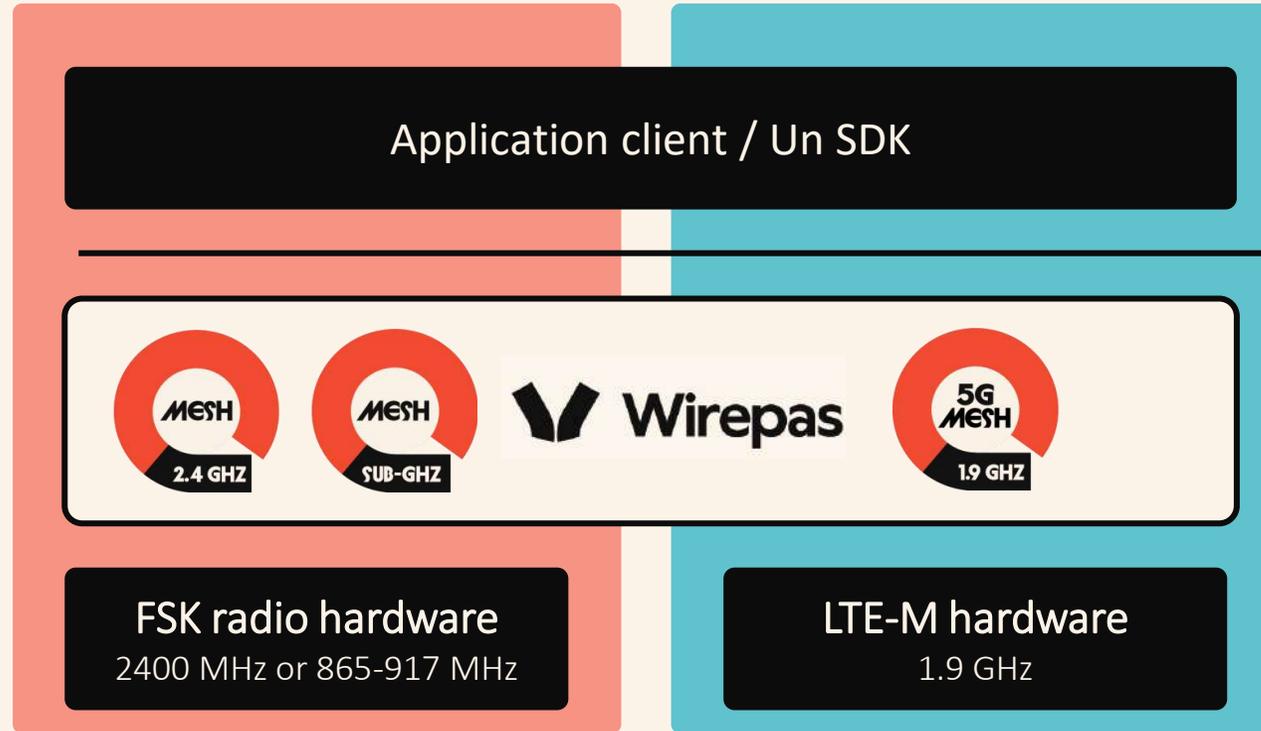


Chaque
compteur est à
la fois
utilisateur et
acteur du
réseau

Aidon
a gridspertise company

Un produit,
plusieurs profils

Un logiciel,
plusieurs
possibilités de
matériel



nRF52832
 nRF52833
 nRF52840
 EFR32xG12
 EFR32xG21
 EFR32xG22
 EFR32xG24



nRF9161/nRF9151/nRF9131



Note: Wirepas Mesh requires 32kHz Crystal to operate in Low Energy nodes (but not for Low Latency nodes). Please refer to the Wirepas Mesh Firmware release notes on the [Developer Portal](#) for the latest list of supported chipsets & modes.

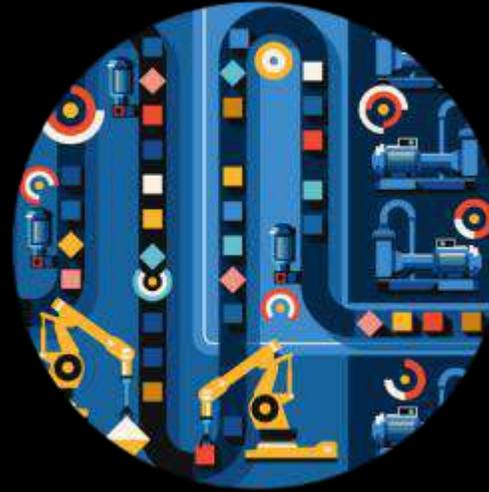
Nos terrains de jeux



Smart Tracking



Smart Building



Smart Manufacturing



Smart Energy & City



13 millions d'objets connectés à travers le monde



4 000 pare-brises

2 usines

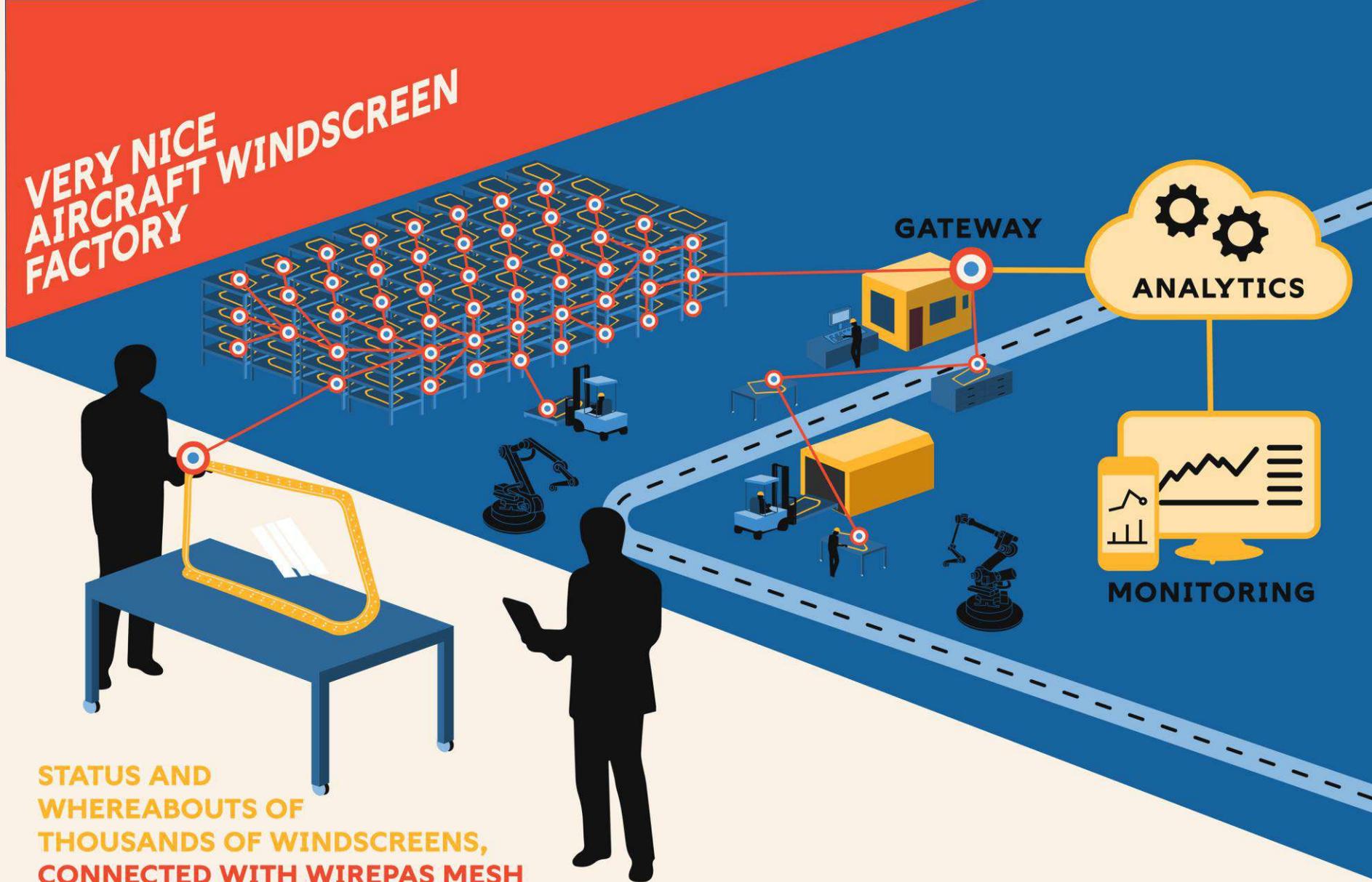
20 000m²

2 jours installation

3 ans d'autonomie

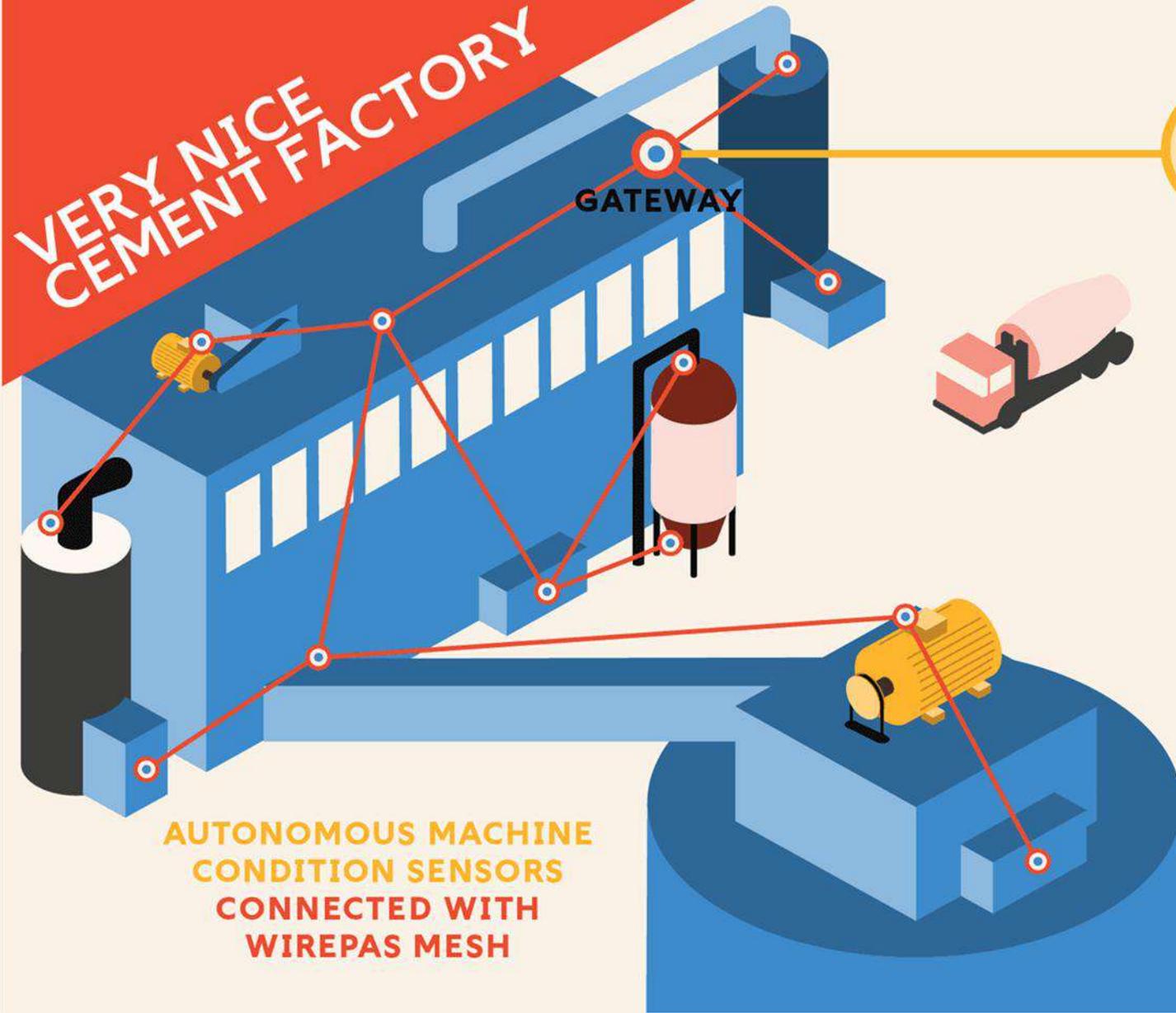


VERY NICE AIRCRAFT WINDSCREEN FACTORY



STATUS AND WHEREABOUTS OF THOUSANDS OF WINDSCREENS, CONNECTED WITH WIREPAS MESH

**VERY NICE
CEMENT FACTORY**



GATEWAY

ANALYTICS

**CONDITION
MONITORING**

**AUTONOMOUS MACHINE
CONDITION SENSORS
CONNECTED WITH
WIREPAS MESH**

FINSEMENTTI
A CRH COMPANY

- 1 500 machines
- 1 journée
- 50% d'économies
- 5 ans d'autonomie

SCHAEFFLER





VERY NICE STOCKYARD

30 000 bobines

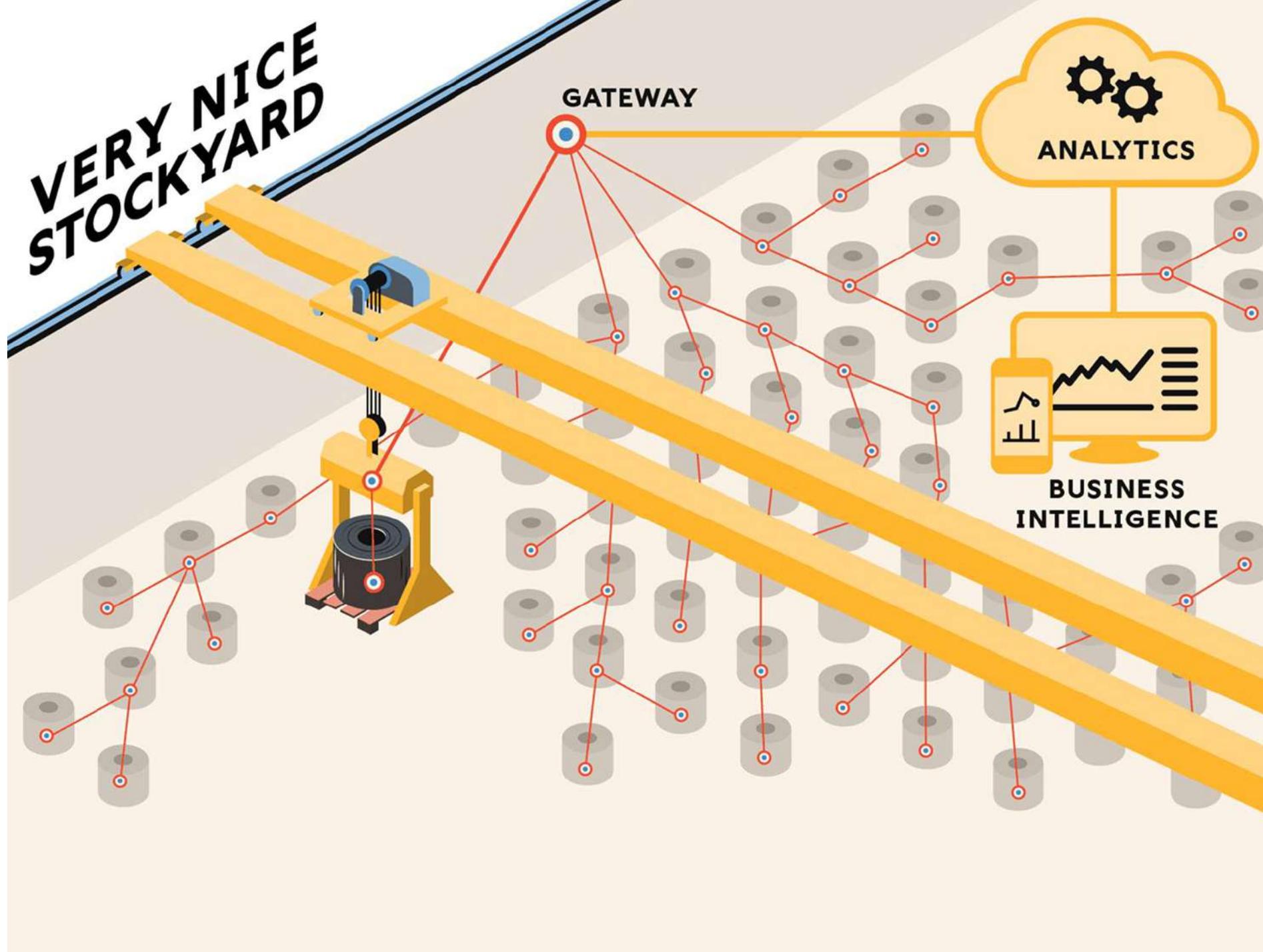
250 000 m²

6 jours

5 ans

80% d'économies

Sécurité améliorée



Un réseau qui
s'adapte à son
environnement





Un modèle vivant

Pas une
architecture figée



Eden SUIRE
eden.suire@wirepas.com
+33 6 98 89 05 47



FICHE D'APPRÉCIATION



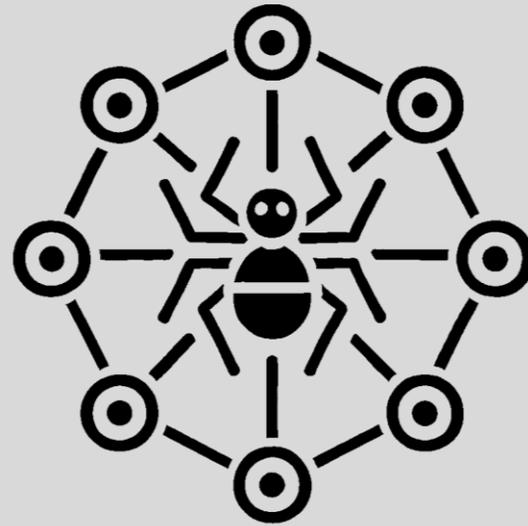
Votre avis SVP :

<https://framaforms.org/fiche-appreciation-seminaire-maitriser-les-reseaux-sans-fils-mesh-strategies-et-retours-dexperience>



Cas de mise en œuvre

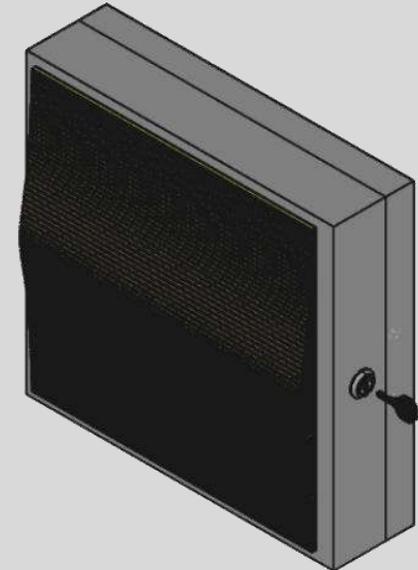
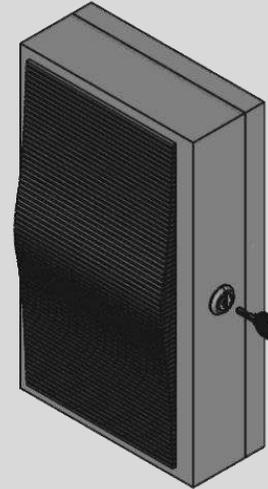
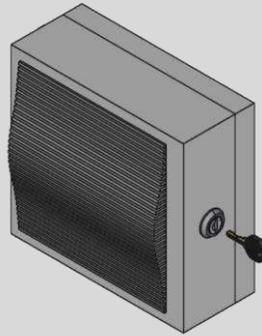
- WiFi Mesh pour une infrastructure souple et sécurisée,
par François Mexme, projet AIRSPIDER
- SKF Enlight Collect IMx-1 – Expérience d'utilisation d'un
réseau Mesh dans une application de surveillance de
l'état des roulements
par Simon Hubert de SKF



AIRSPIDER

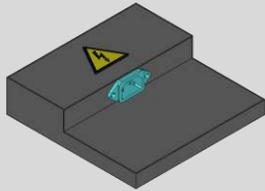
DES RÉSEAUX INFORMATIQUES SÉCURISÉS, AUTONOMES, RÉSILIENTS,
ÉCONOMES, SOUVERAINS ET SANS COMPROMIS

Les équipements

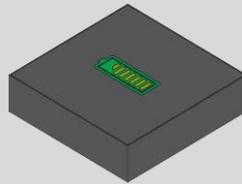


Nom	RS 1	RS 2	RS 4
Port Ethernet	POE IN 90W – 2,5 Gb/s	POE IN 90W – 2,5 Gb/s	POE IN 90W – 2,5 Gb/s
E/S	16 Gb/s	48 Gb/s	48 Gb/s
Wi-Fi	6E ou 7	6E ou 7	6E ou 7
Capacité de modules	1	2	4

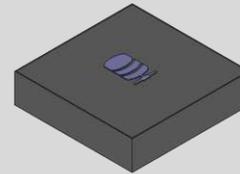
Les modules périphériques



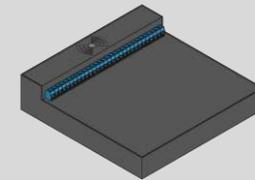
Alimentation



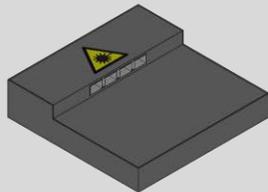
Batterie LFP



Stockage de données



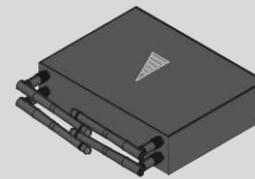
Capteurs



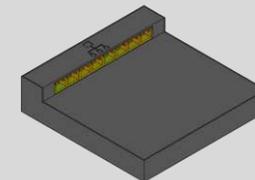
SFP



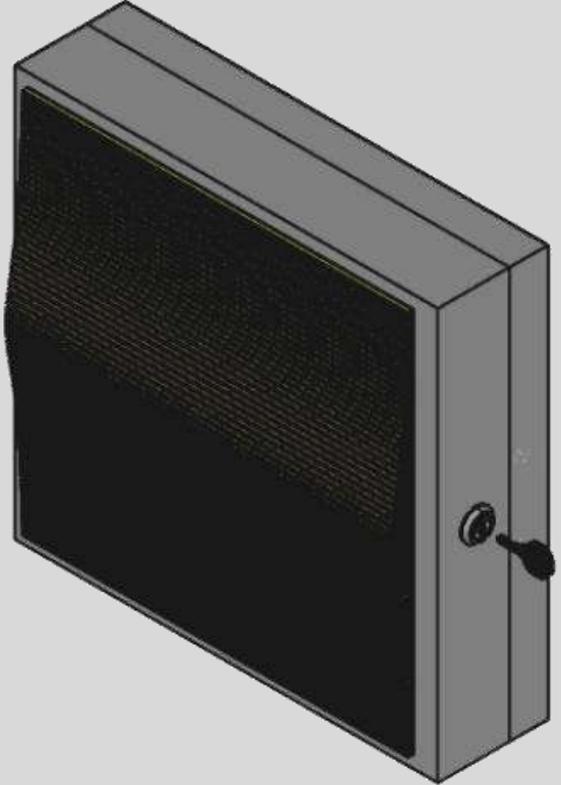
Wi-Fi



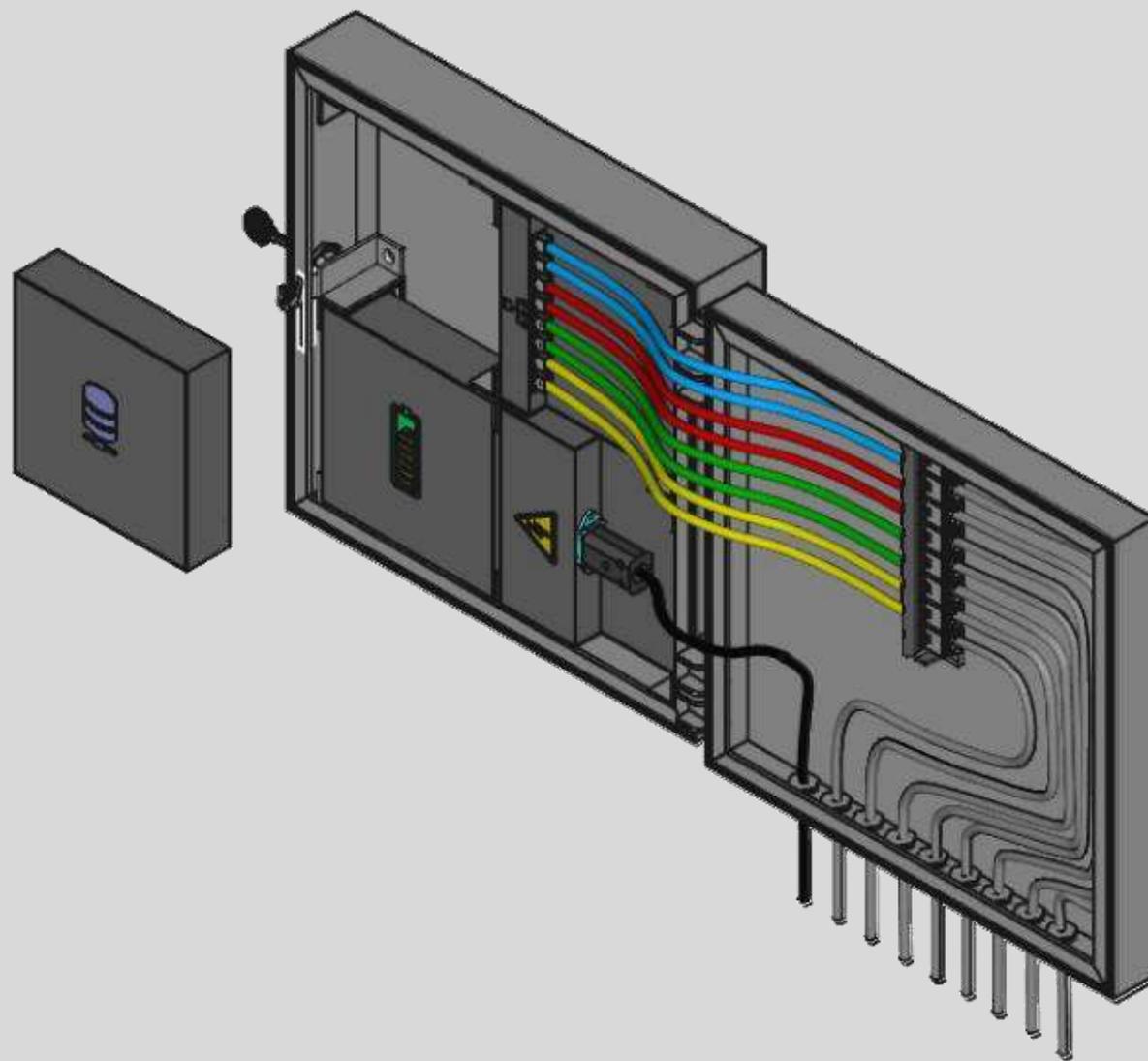
Cellulaire



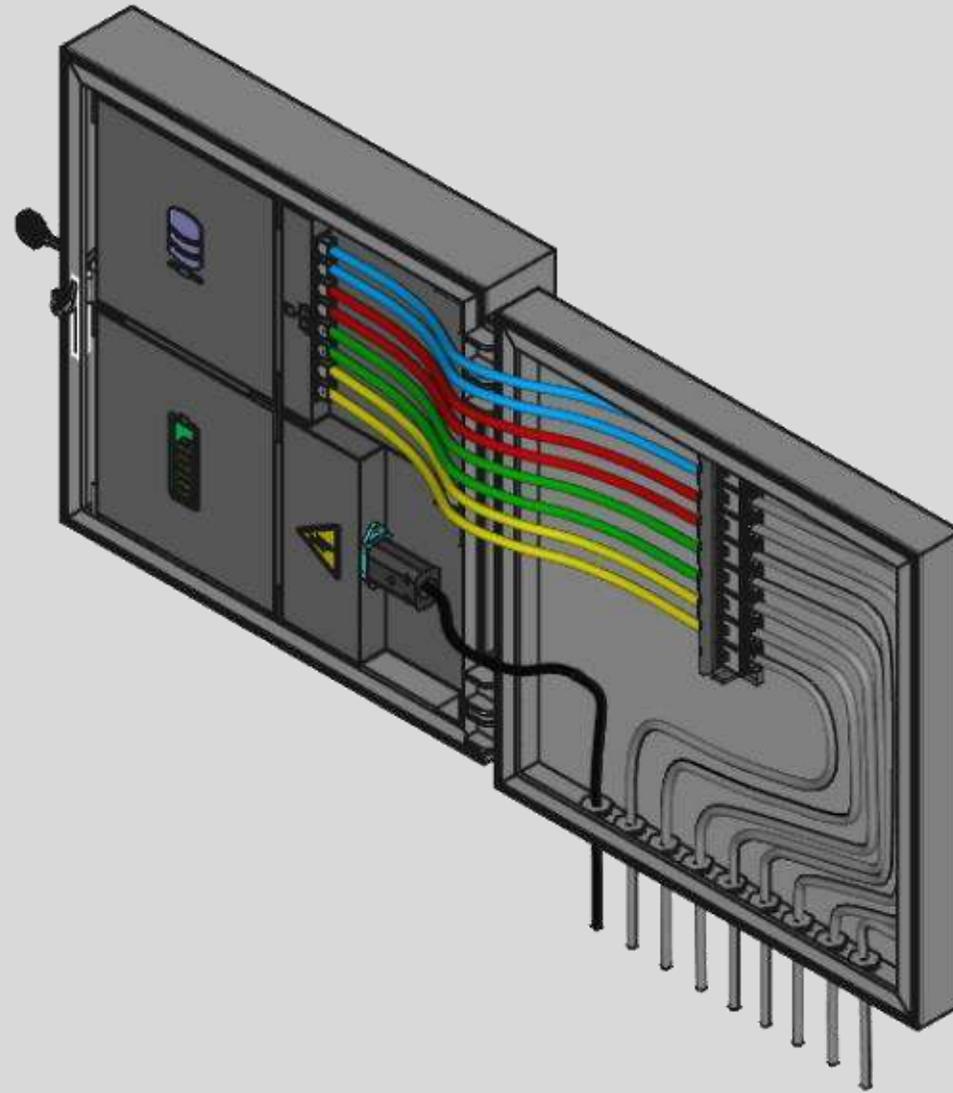
Ethernet



Refroidissement passif et position des antennes optimisée

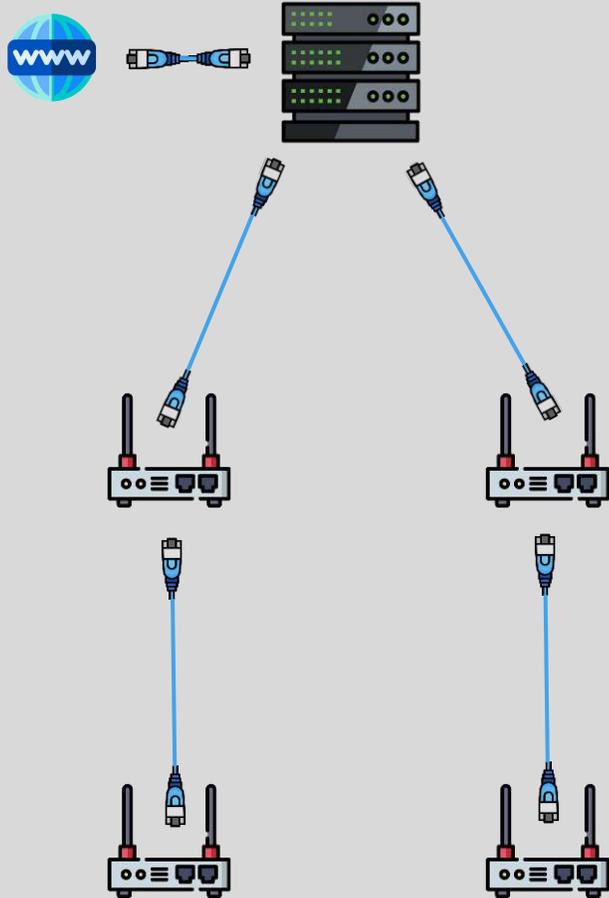


Systeme flexible et adaptable aux besoins, plus de 10 000 combinaisons possibles



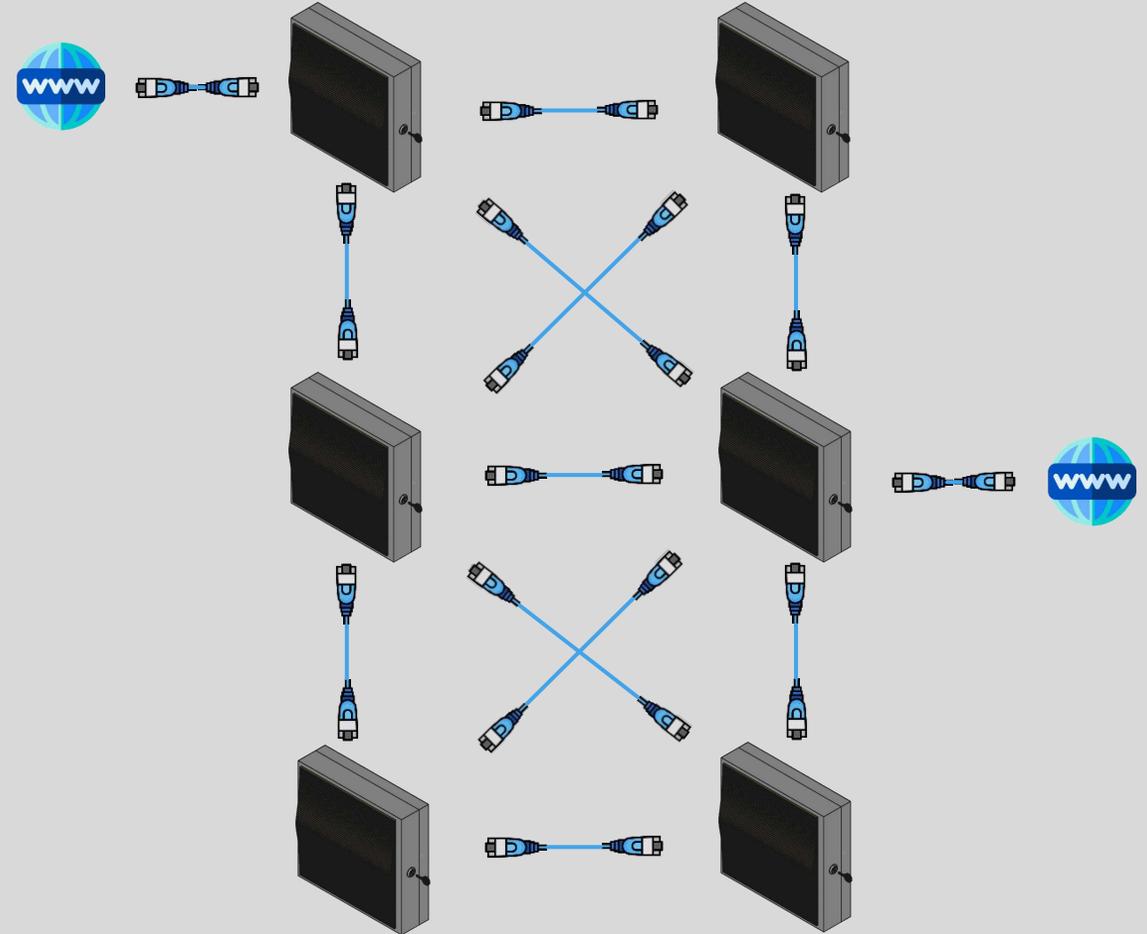
Rangement de câbles optimisé

Solution du marché

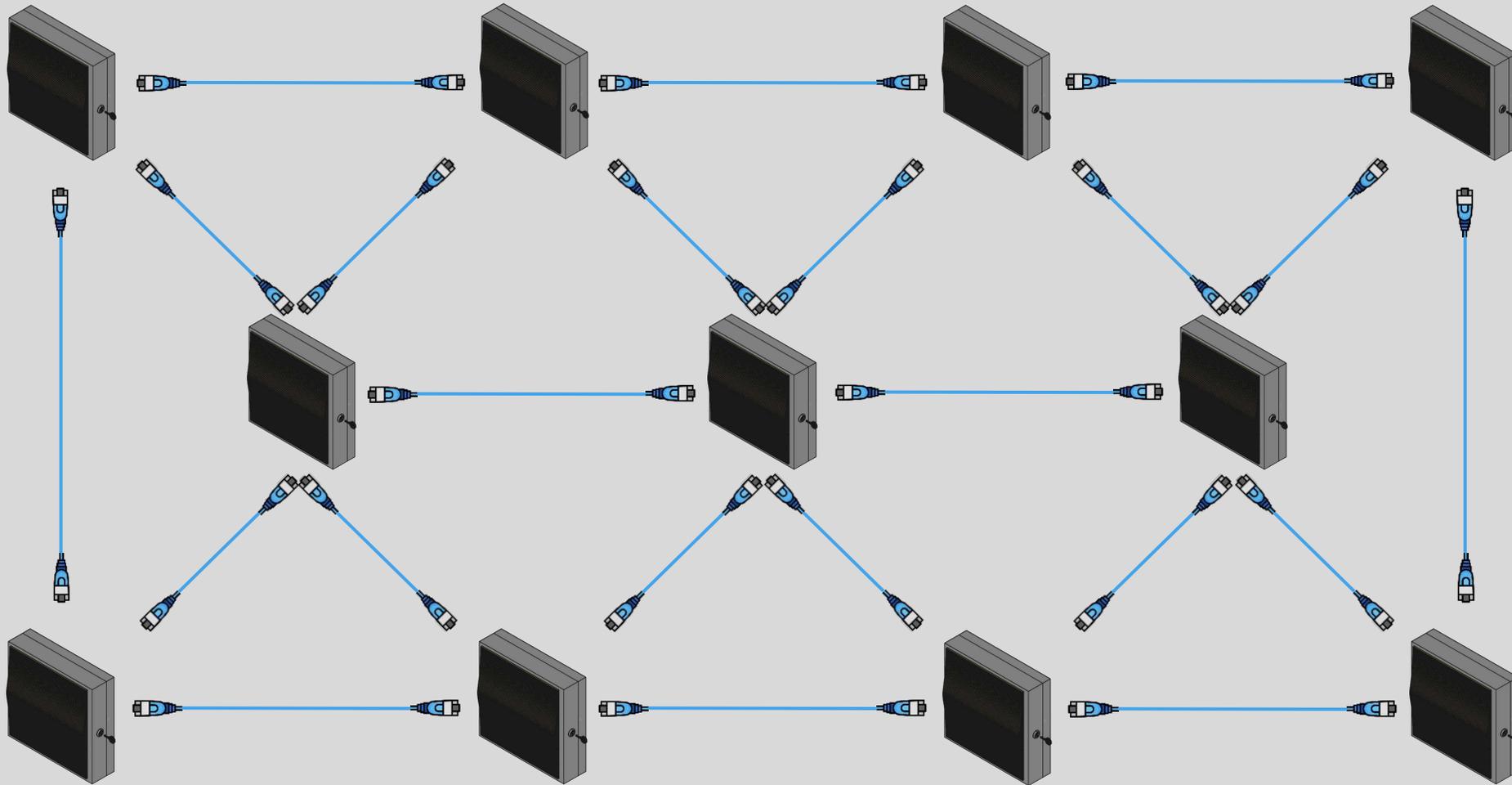


Infrastructure en arbre (switch)

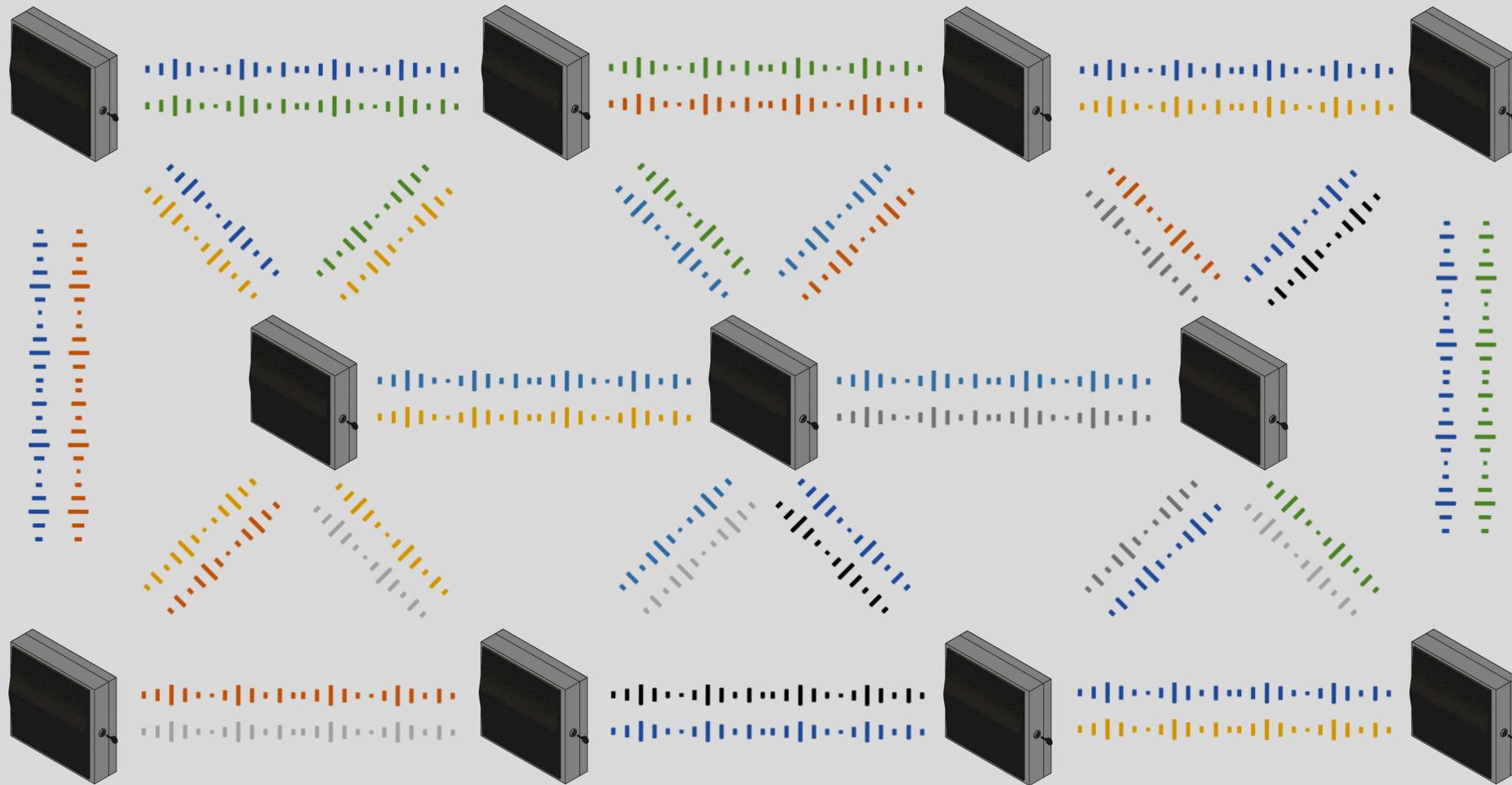
Solution AirSpider



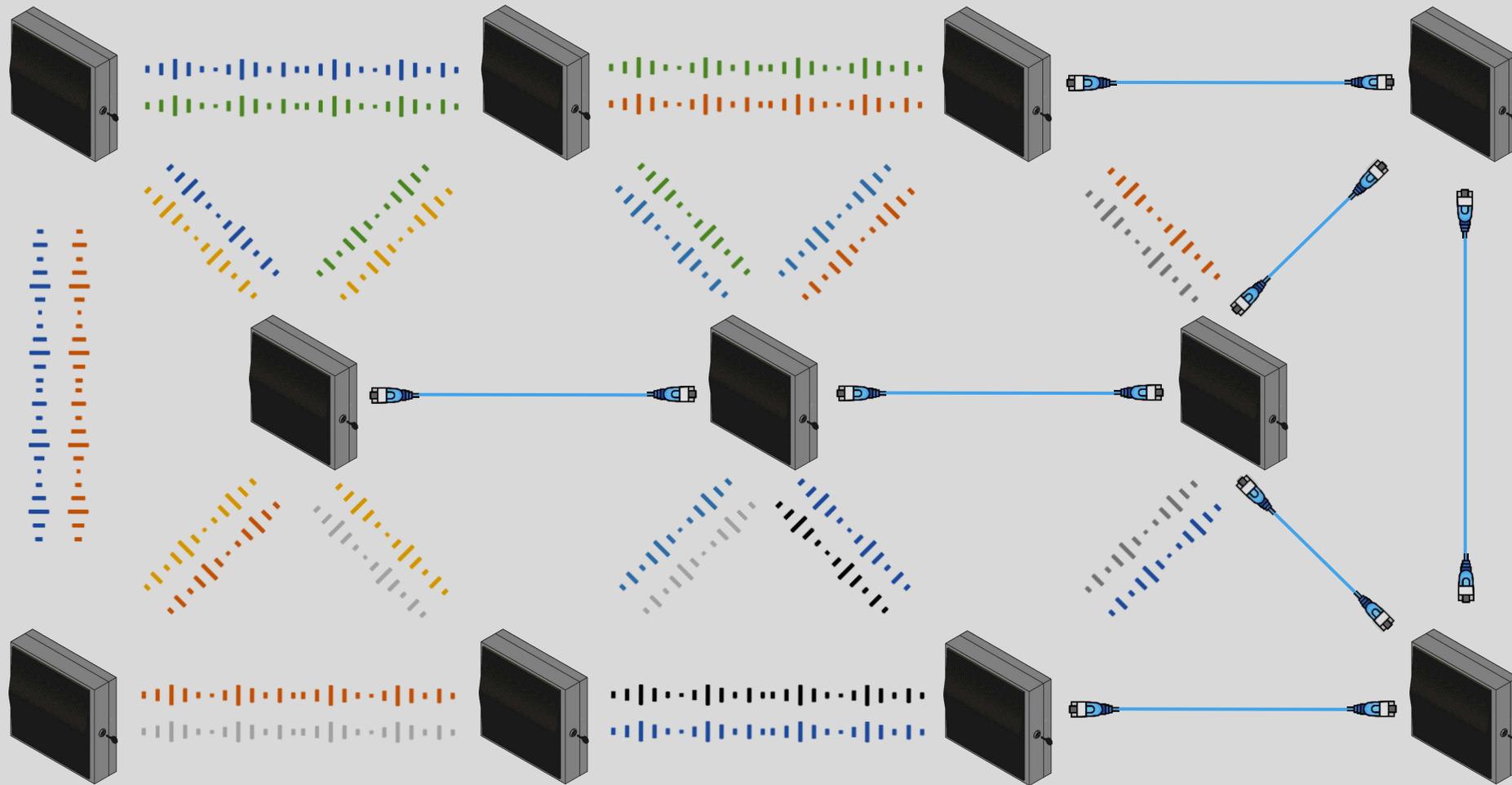
Infrastructure maillée (routeur)



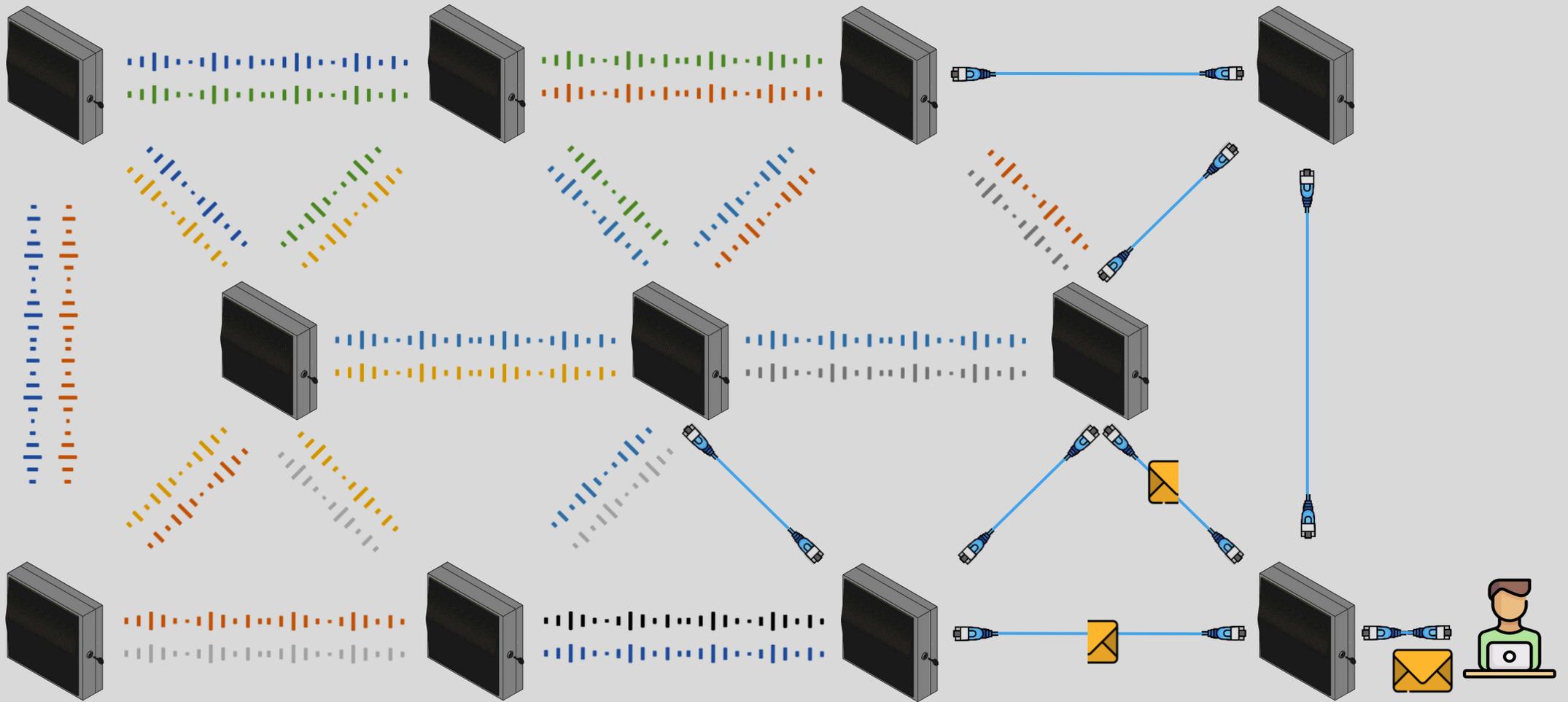
Les topologies peuvent être 100% filaire,



elles peuvent être aussi 100% sans fil

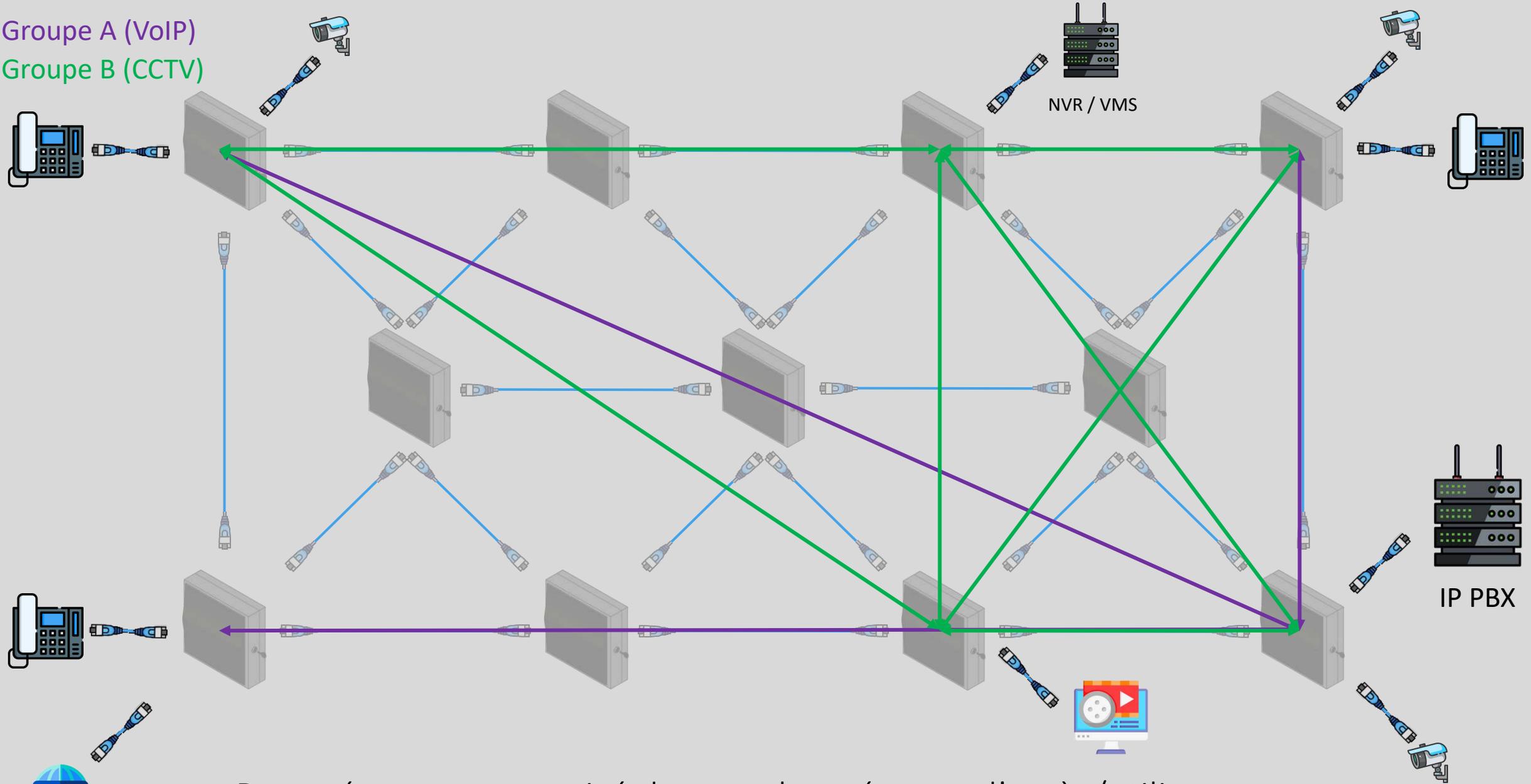


ou elles peuvent être hybrides

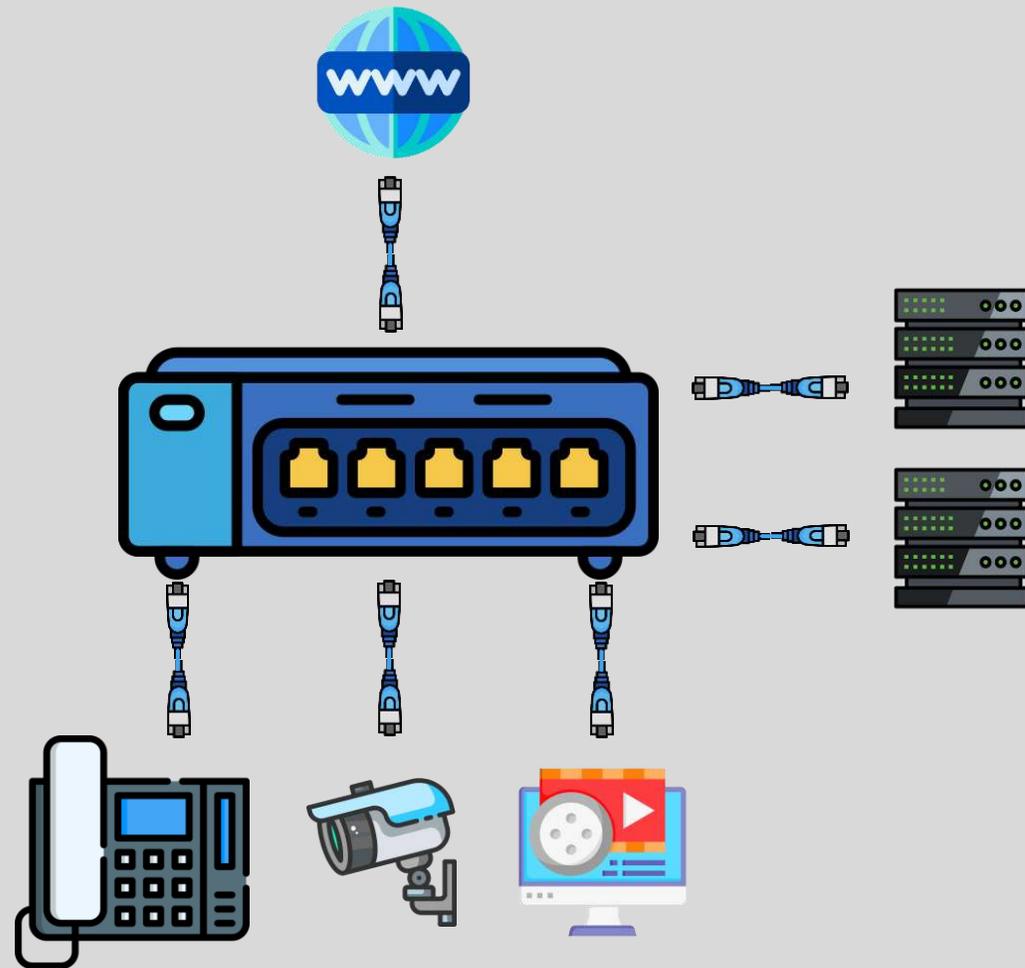


Routage multi chemin et basé sur du machine Learning

Groupe A (VoIP)
Groupe B (CCTV)



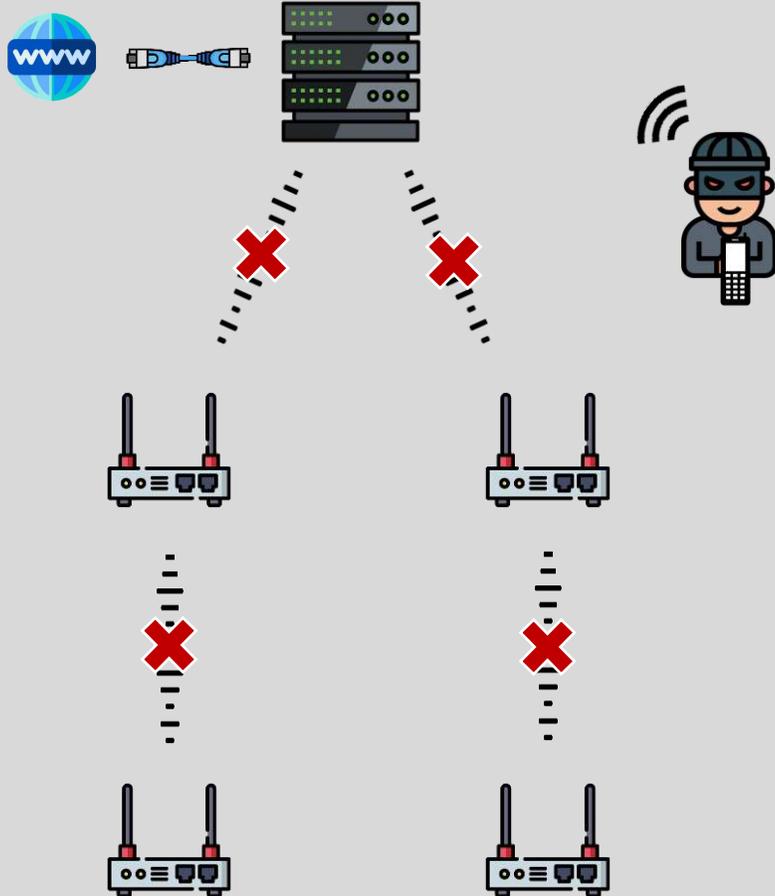
Paramétrage automatisé des couches réseaux d'accès/utilisateur
Segmentation du réseau via des groupes et Isolation des appareils



Equivalent à un seul Switch

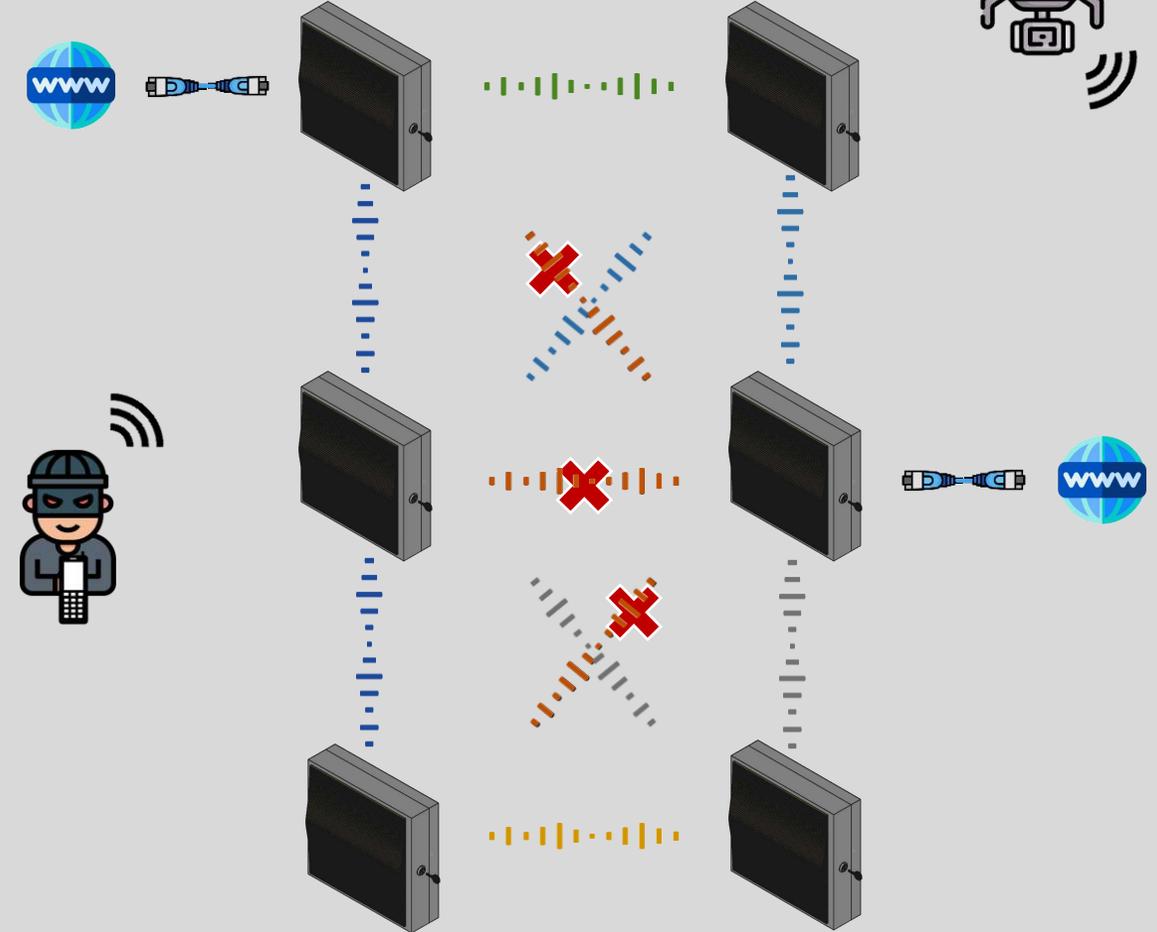


Solution du marché



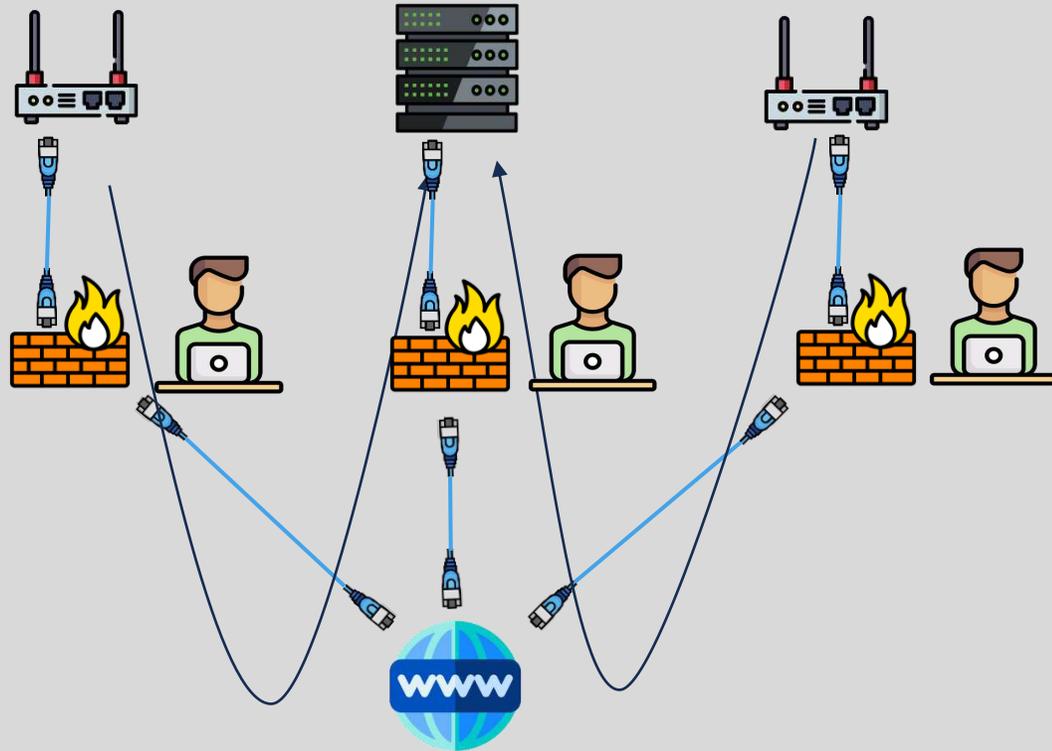
Infrastructure vulnérable exposée aux brouillages et aux interférences

Solution AirSpider



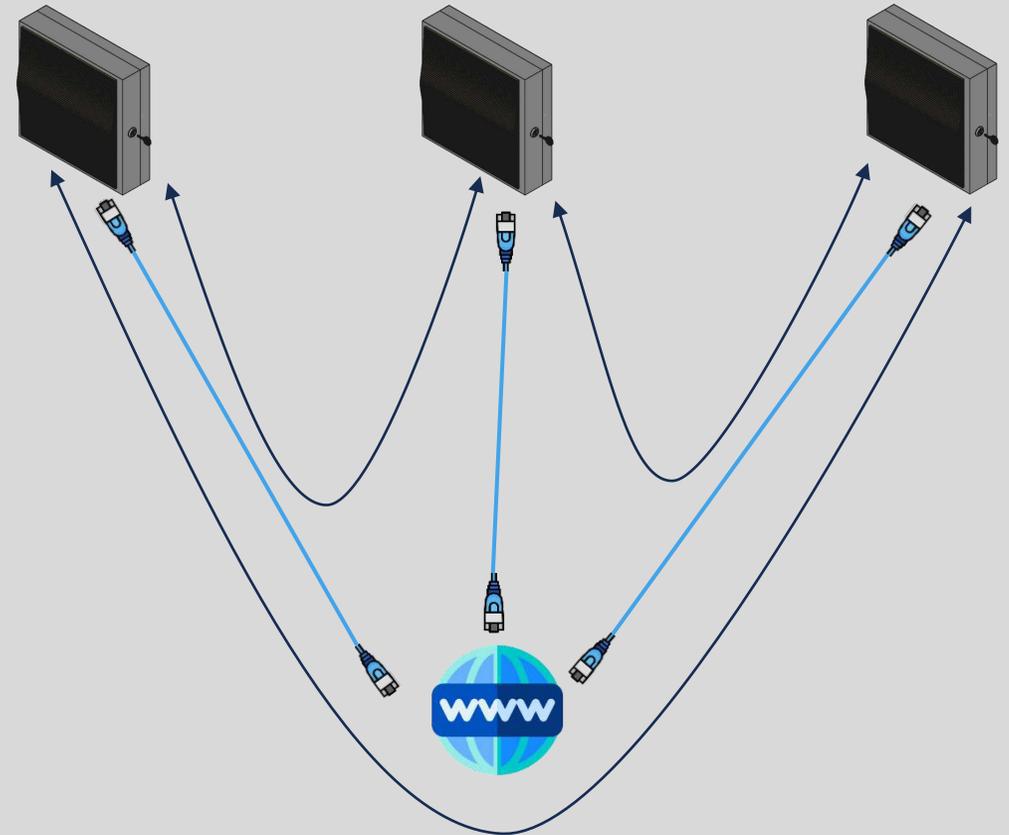
Transmissions full duplex et Infrastructure redondante grâce au maillage et aux liaisons multi-canal

Solution WAN du marché

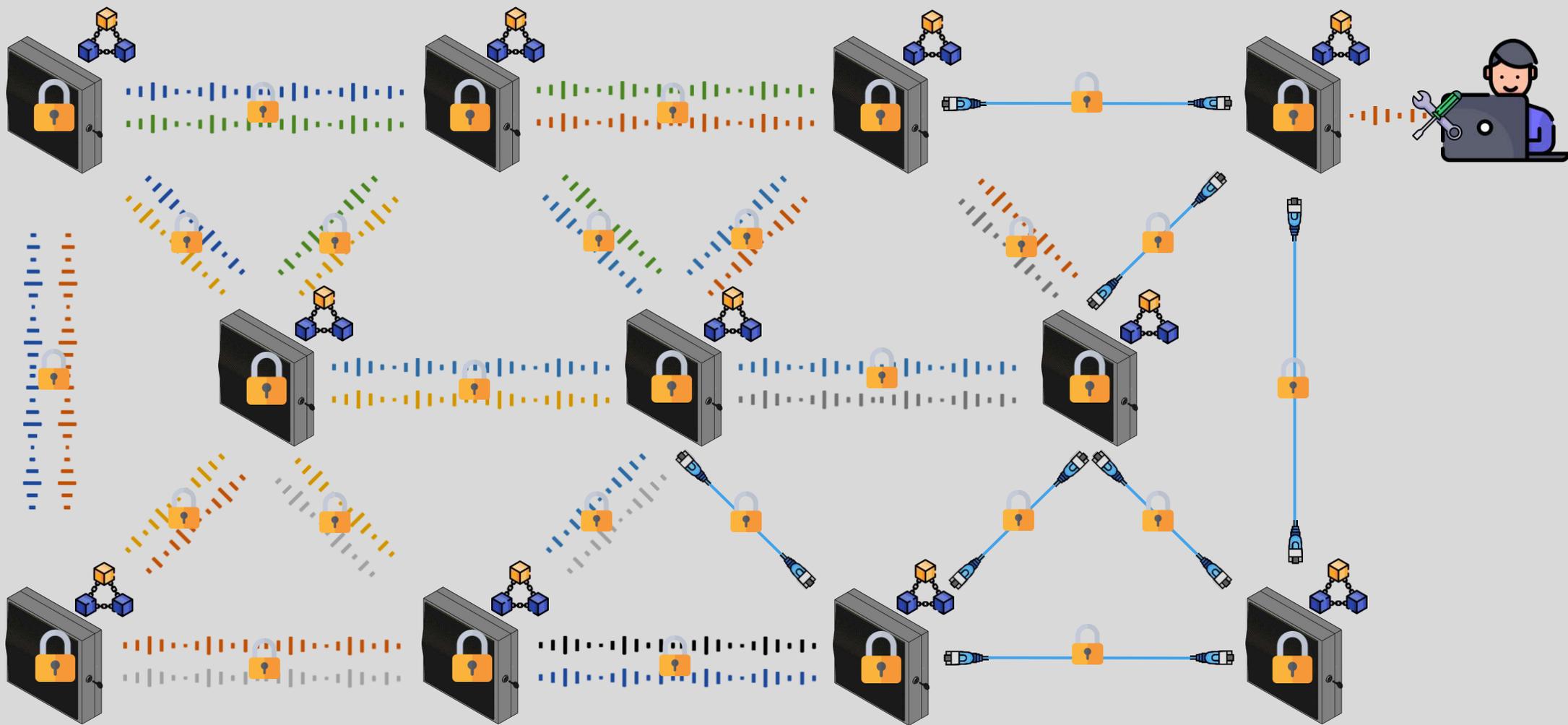


Ouverture de ports sur les box
opérateur et infrastructure
centralisée

Solution SD-WAN AirSpider

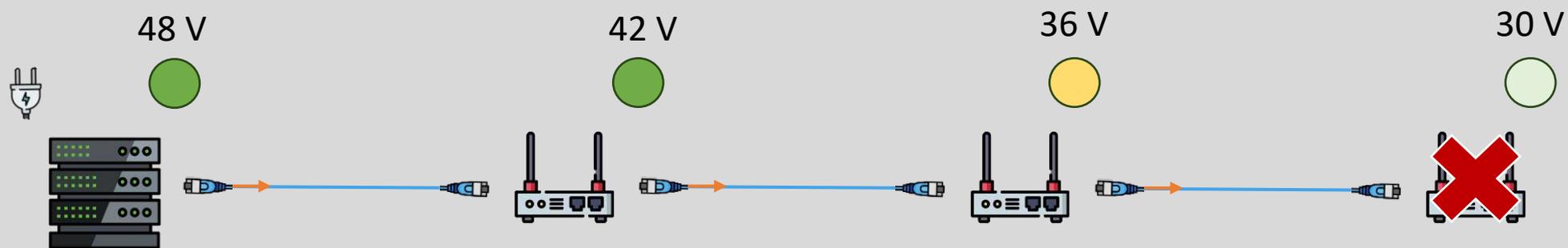


Pas d'ouverture de ports et
architecture décentralisée

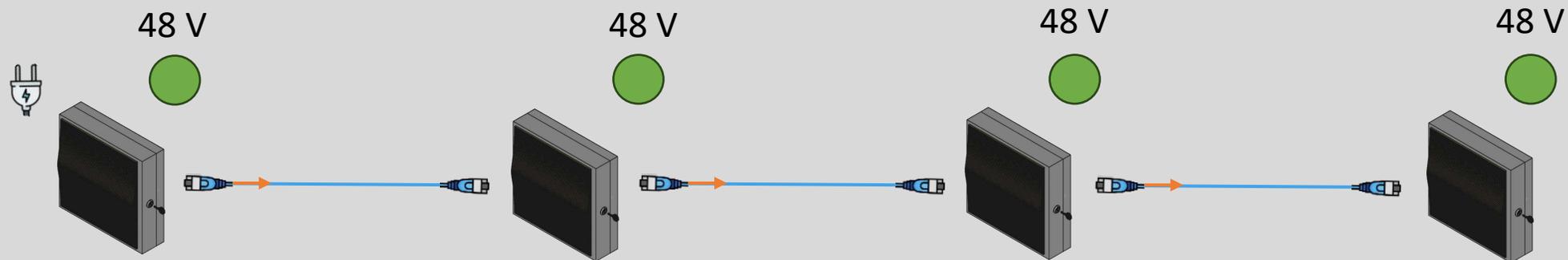


Configurations décentralisées et sécurisées via une blockchain privée
Chiffrement automatique des liens et des pools de stockage

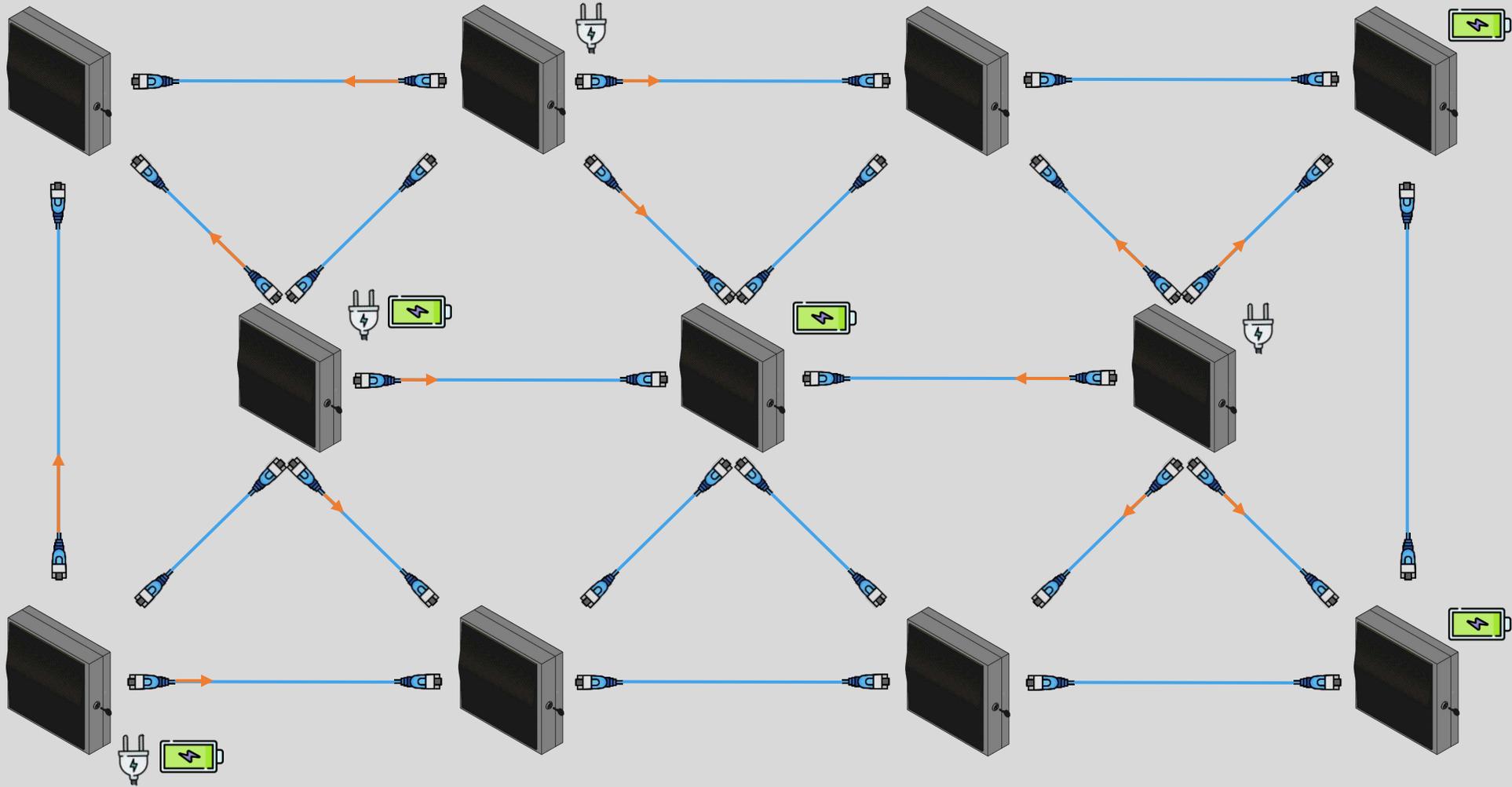
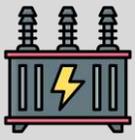
Solution du marché :



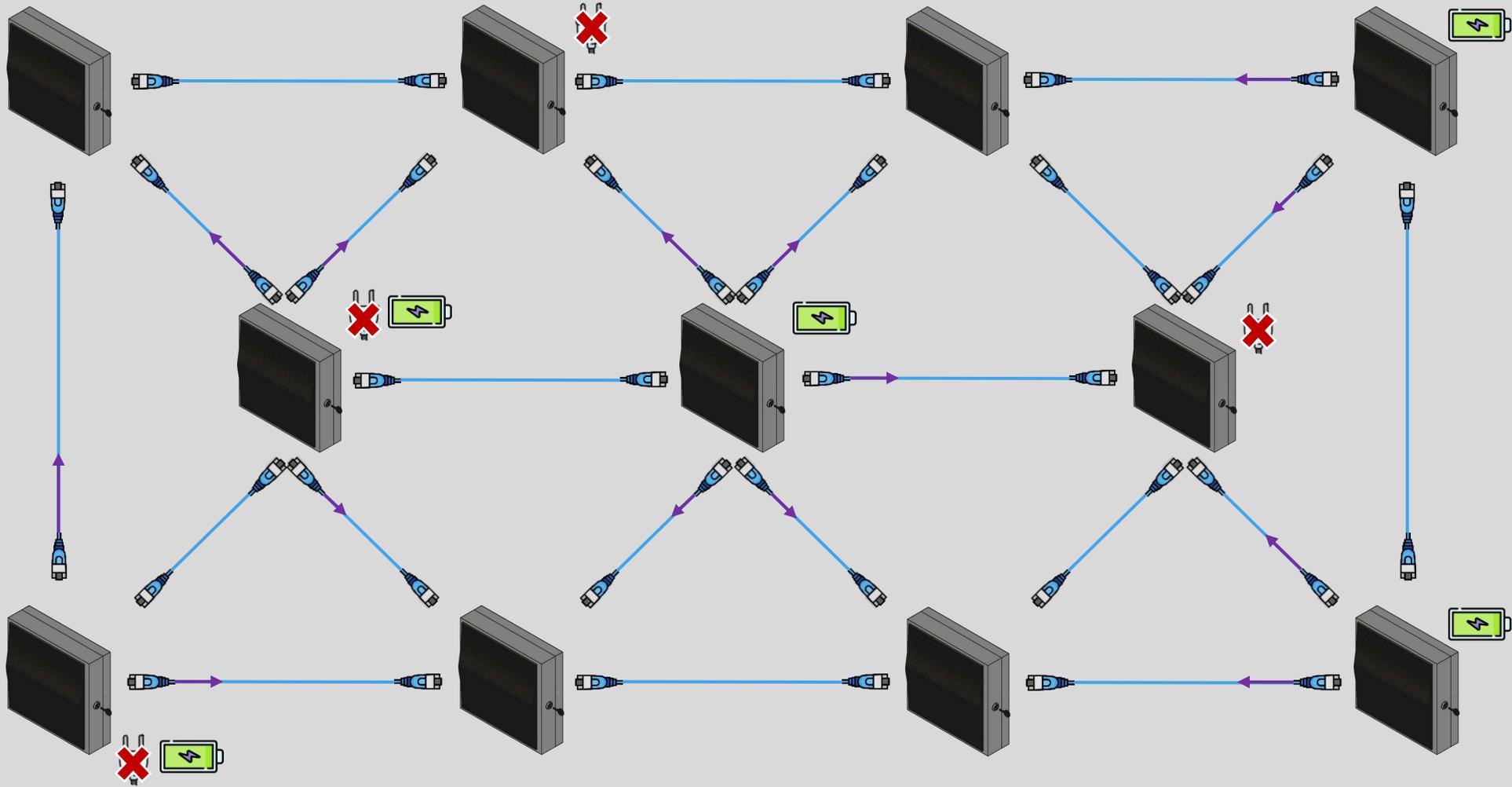
Solution AirSpider :



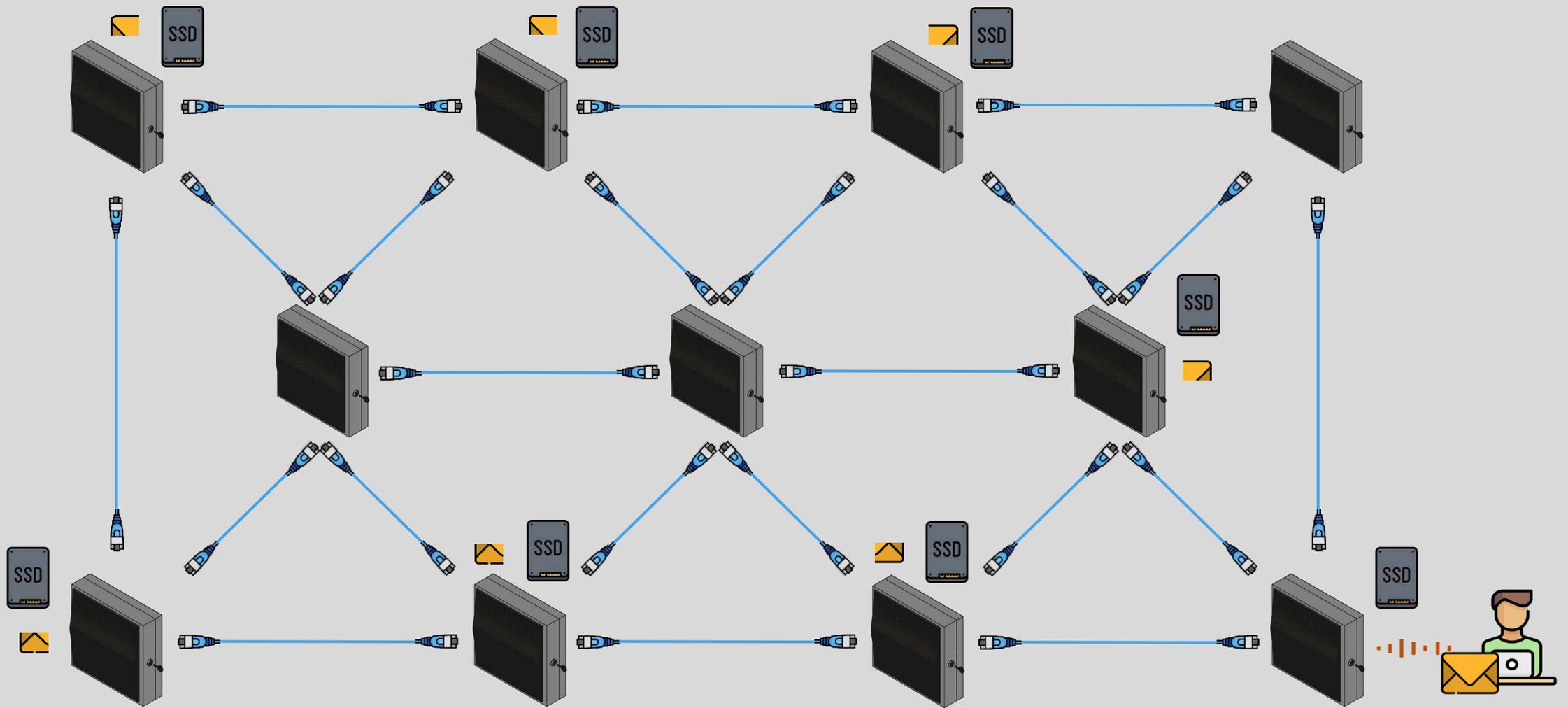
PoE pass through amélioré



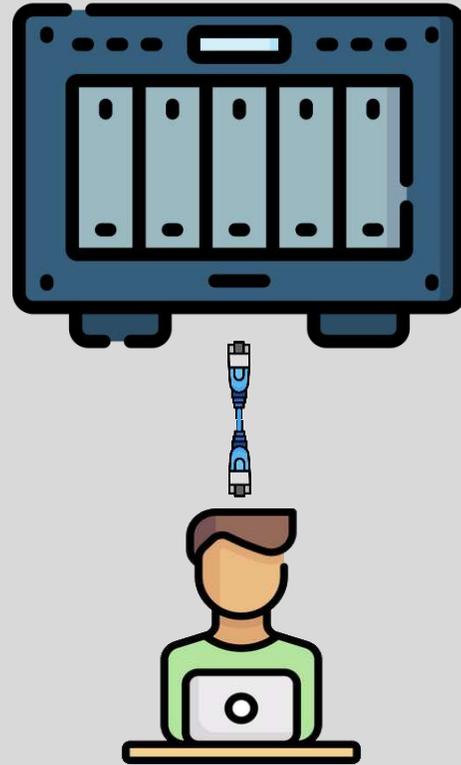
PoE bidirectionnel / routage de l'énergie



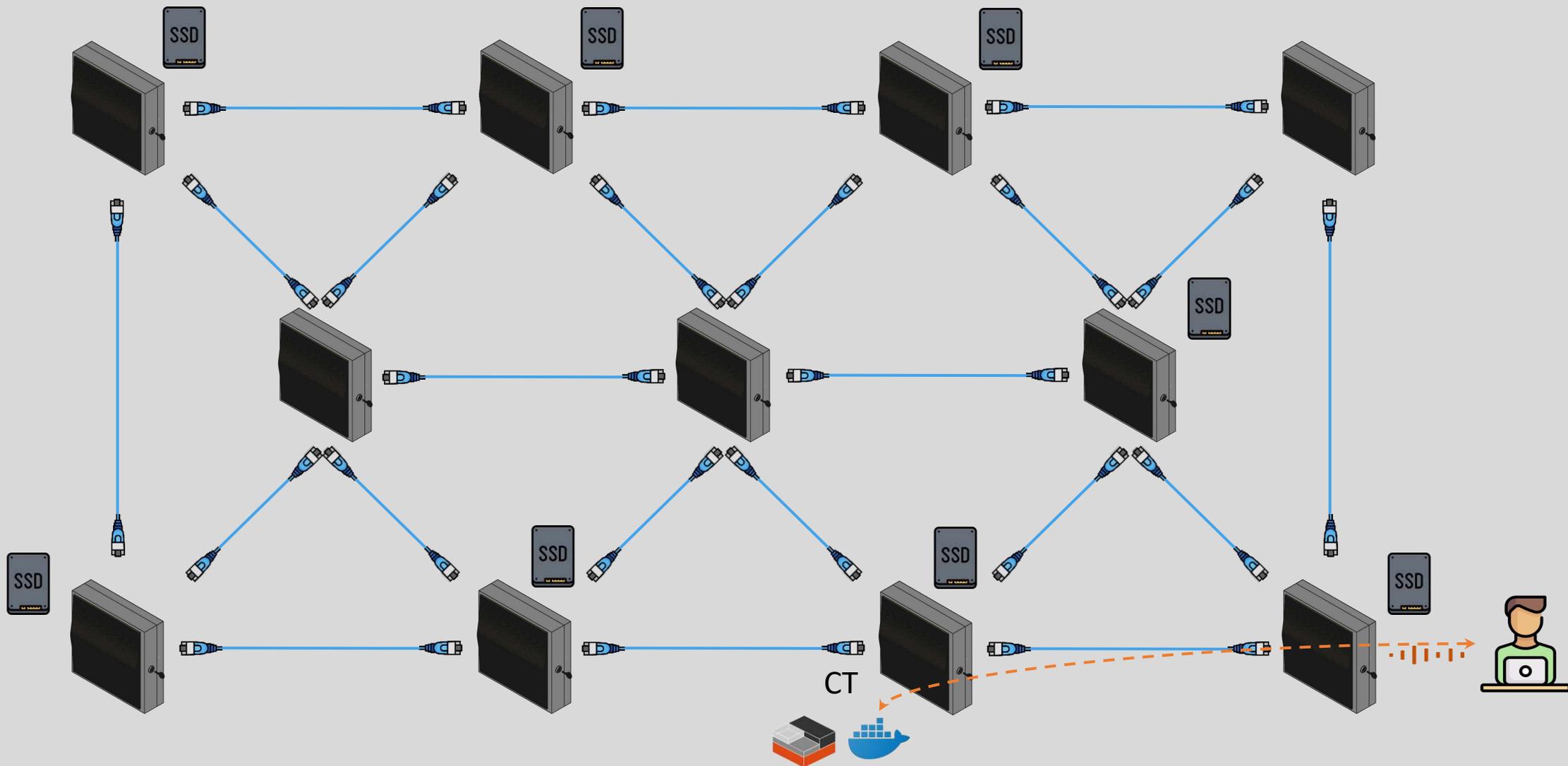
PoE bidirectionnel / routage de l'énergie



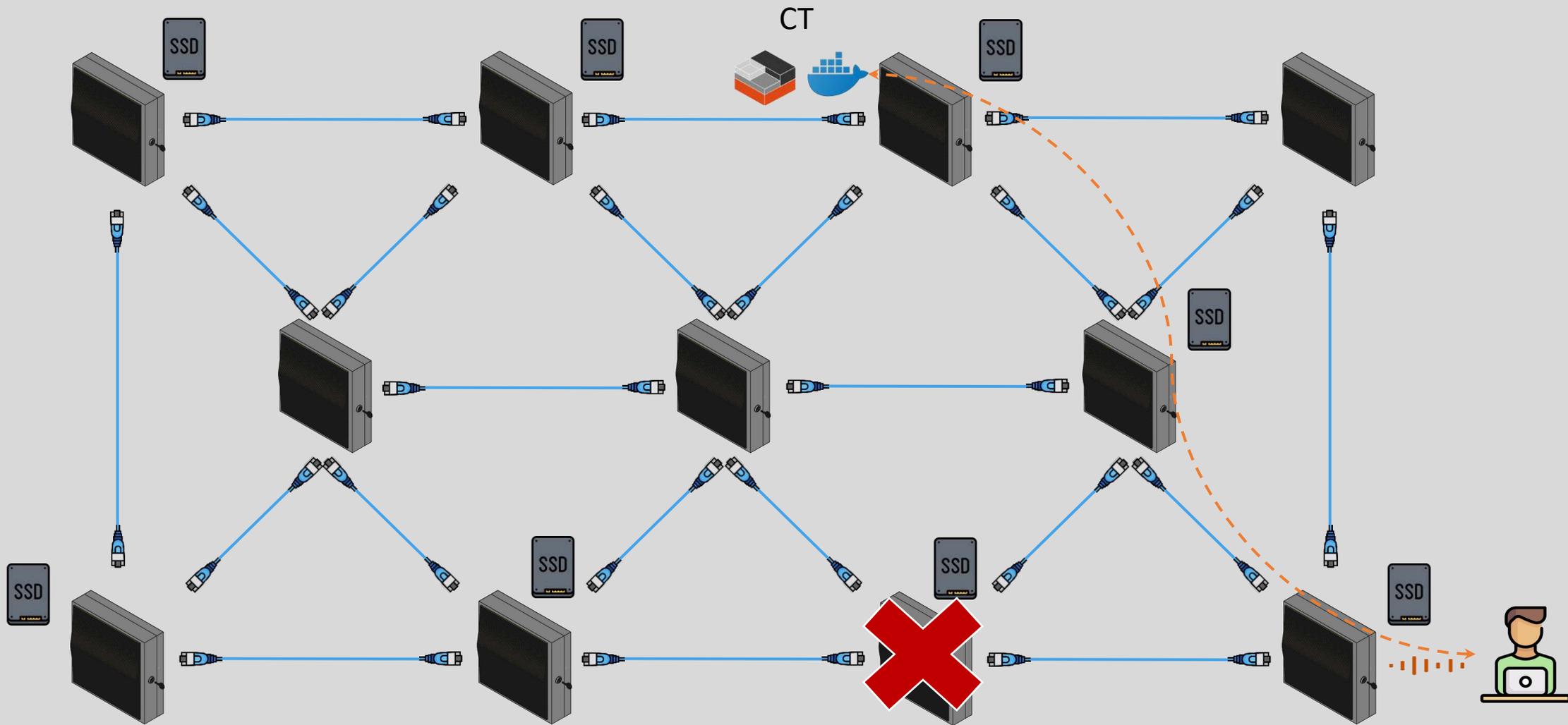
Systeme de stockage répliqué distribué



Equivalent à un seul NAS



Hyperviseur intégré (container et docker)



Cluster décentralisé

Roadmap

2019-2024

2025

2026

2027

2028

2029



- Recherche & Développement Deep Tech
- 2 Brevets
- 5 e-Soleau
- Tests sur sites pilote

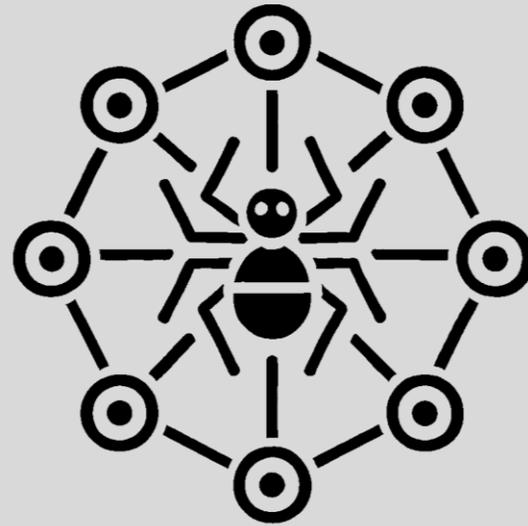
- Spin-Off
- 3 Brevets en cours
- Levée de fonds
- Marques d'intérêt
- Présentation à VivaTech
- Diagnostic amorçage industriel

- Présérie
- Modules de base
- Premiers déploiements en région

- Série
- Présérie modules avancés
- Levée de fonds

- Présérie RS6 & RS9
- Virtualisation & x86

- Briques logicielles



AIRSPIDER

DES RÉSEAUX INFORMATIQUES SÉCURISÉS, AUTONOMES, RÉSILIENTS,
ÉCONOMES ET SANS COMPROMIS



5 K E

The SKF logo is positioned in the top left corner of the slide. The background of the entire slide is a dark, blue-tinted photograph of industrial machinery, showing a person's hand in a blue work glove interacting with a large metal component, possibly a bearing housing or shaft.

SKF Enlight Collect IMx-1

Using a mesh network in bearing condition monitoring application

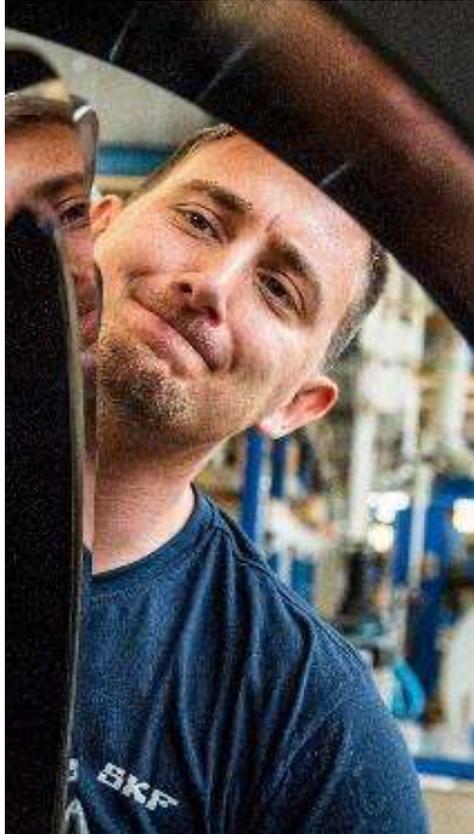
CRESITT - Orléans
2025-06-24

Simon HUBERT
Clément POULAILLEAU

THIS IS SKF

Our combined offer

BEARING AND UNITS



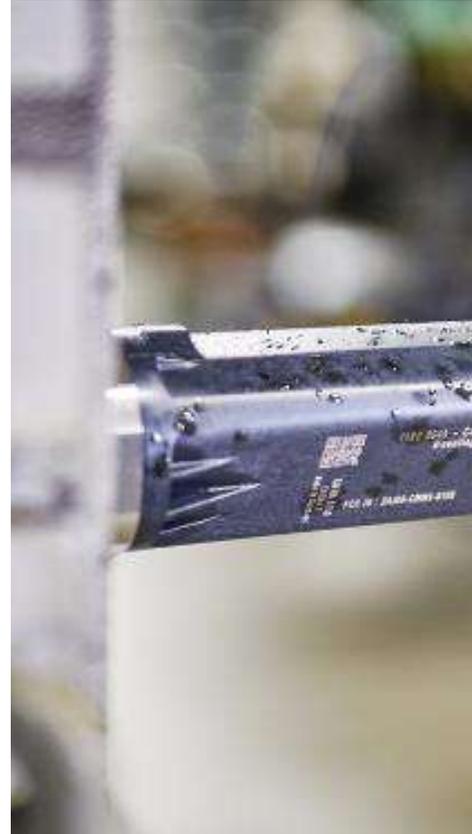
SEALS



LUBRICATION



CONDITION MONITORING



SERVICE





FACTS AND FIGURES

SKF in numbers

>38,000

Employees

70

Manufacturing locations

130

Countries

>17,000

Distributions

40

Customer industries



FACTS AND FIGURES

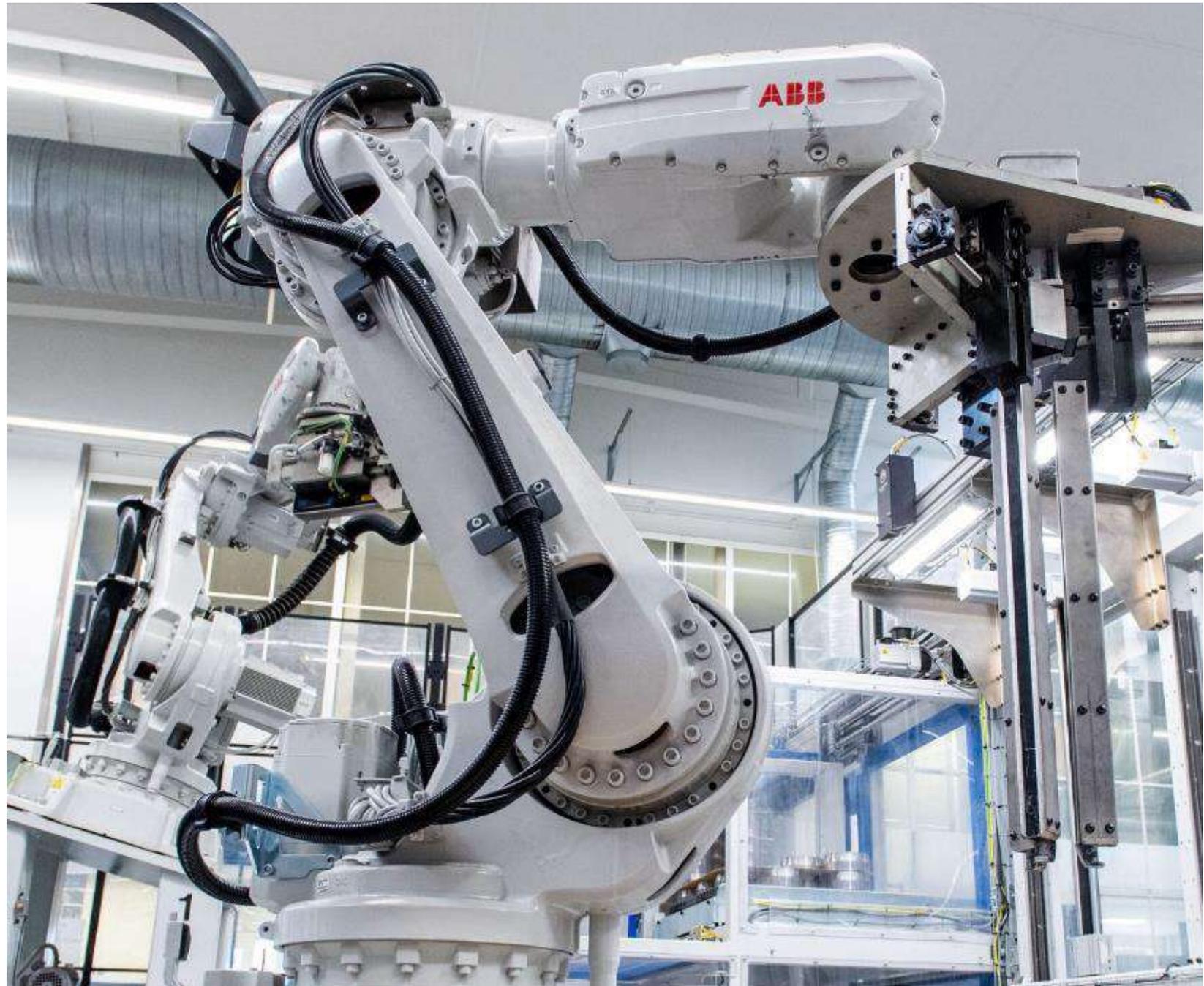
Our industrial and automotive business

70%

Industrial business
(of net sales)

30%

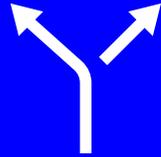
Automotive



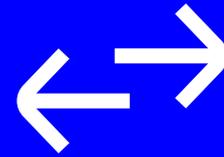
SKF IMx-1 system Mesh solution



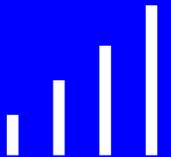
Needs and application



Constrain and choice



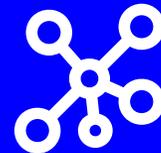
Imx-1 Solution



Wireless Communication



Data versus Energy

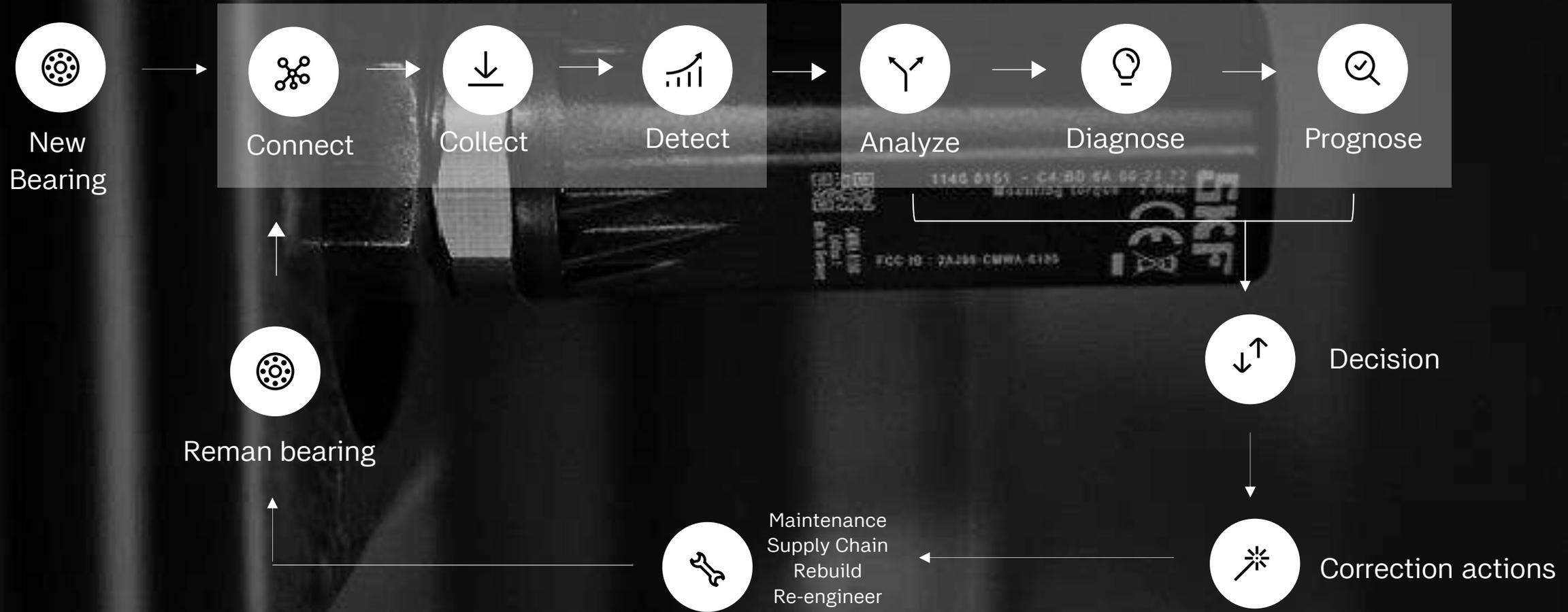


One example

Needs & application overview



From Data to Decision





Constraints & Choice

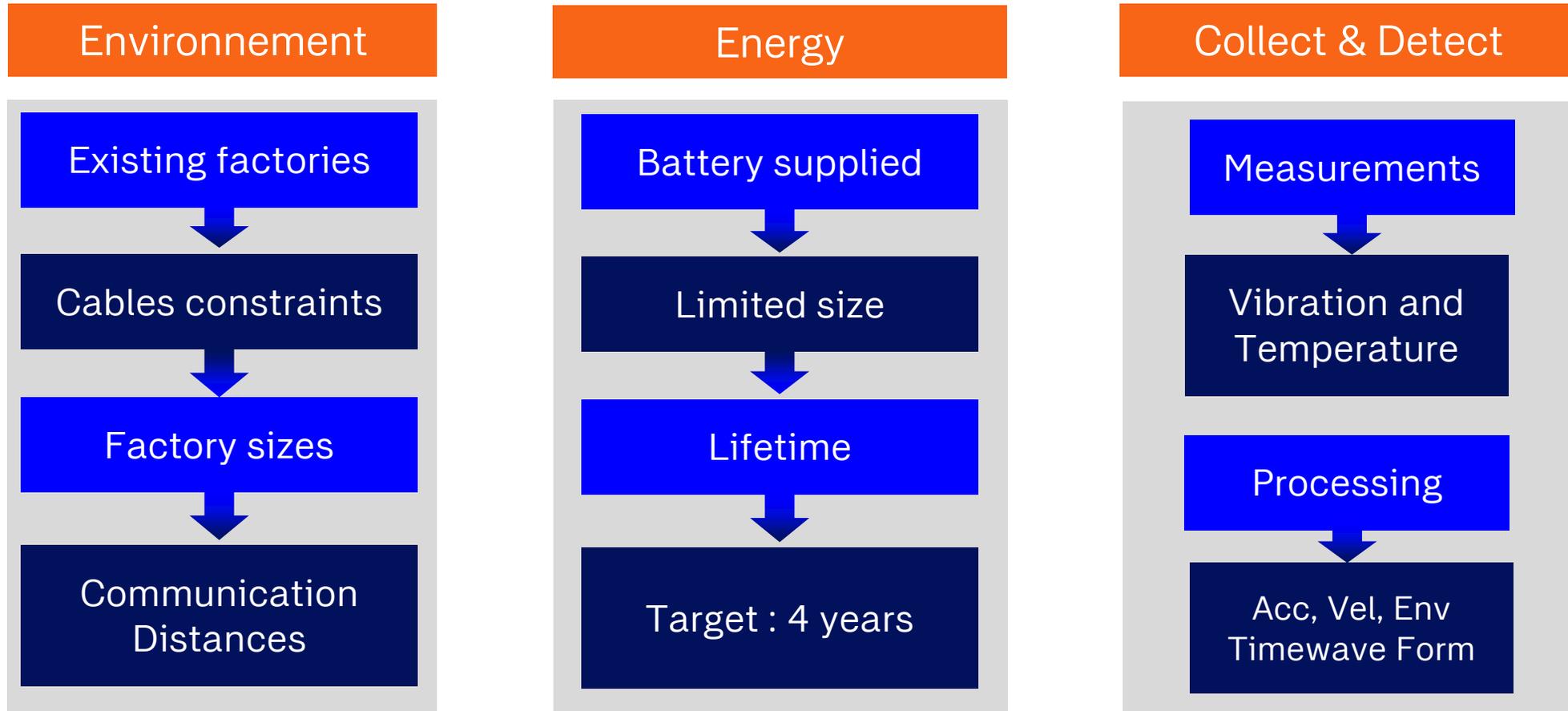


Wires in industrial environment ?

	Machines	Capabilities	Product Cost	Installation cost
	Critical Minute	<p>Advanced</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variable speed • Sync • Multiple gating 	€€	€€
	Protection Second	<p>Advanced</p> <ul style="list-style-type: none"> • Advanced processing • Can stop machine in a short time 	€€€	€€

Mainly for advanced offers

Wireless constraints



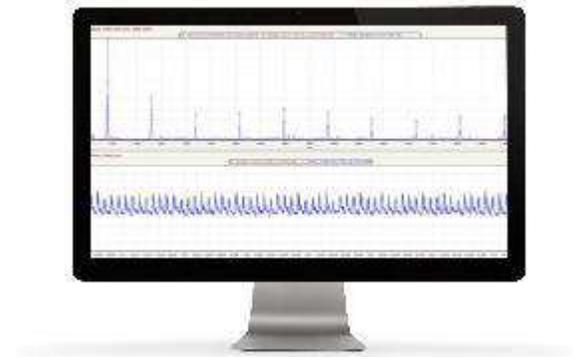
Wireless in industrial environment ?

		Machines	Capabilities	Product Cost	Installation cost
	Wireless	Basic Hour	Standard & Average <ul style="list-style-type: none"> • Fixed / Variable speed • Simple and advanced processing 	€	€
	Wired	Critical Minute	Advanced <ul style="list-style-type: none"> • Variable speed • Sync • Multiple gating 	€€	€€
	Wired	Protection Second	Advanced <ul style="list-style-type: none"> • Advanced processing • Can stop machine in a short time 	€€€	€€

Solution presentation



4 components



Sensors

- Measurements
- Embedded data processing
- Self powered
- Mesh

Gateway

- A link between sensors and the outside world
- Network Master
- Requests data collection from sensors

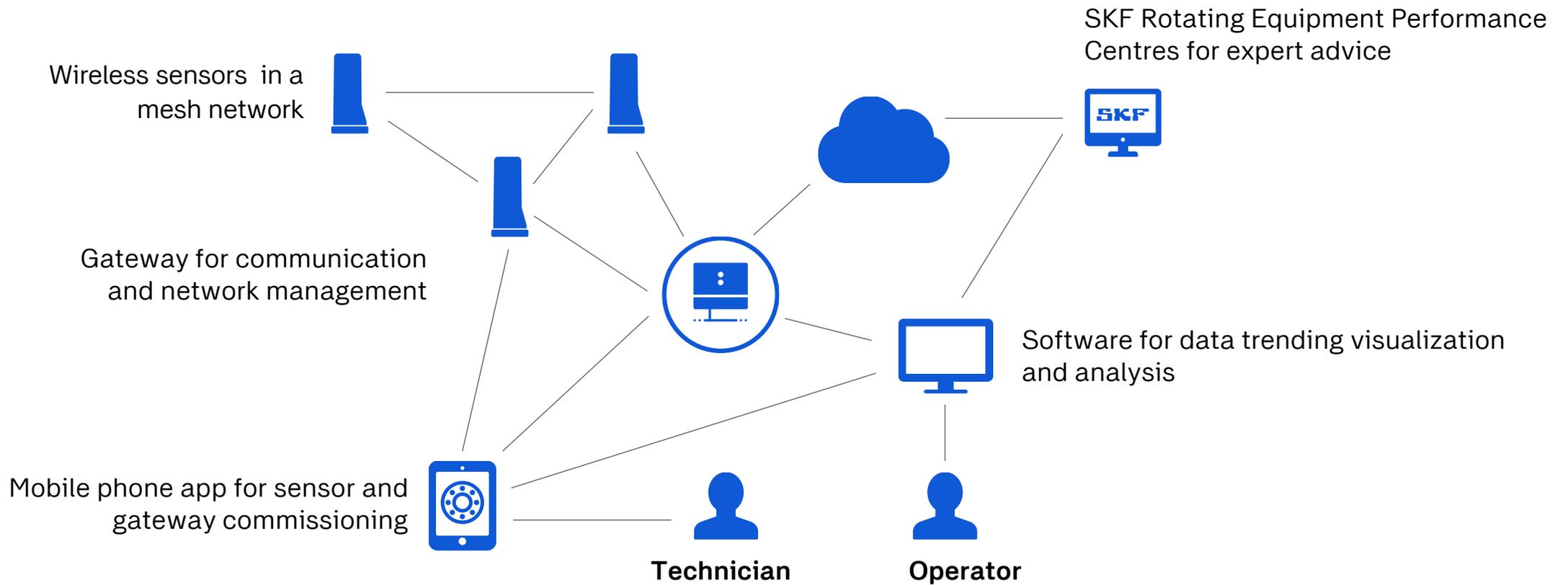
Mobile App

- Set up sensors during installation
- Match sensor to location in the host software

Observer

- Upload data to the SKF Cloud
- Get an overview of the status of your equipment

The system



Wireless communication



The mesh network operation

The mesh is **self-healing** – each nodes determines the best route for the data from every node to travel, based on:

Signal Strength

to navigate around electromagnetic obstacles

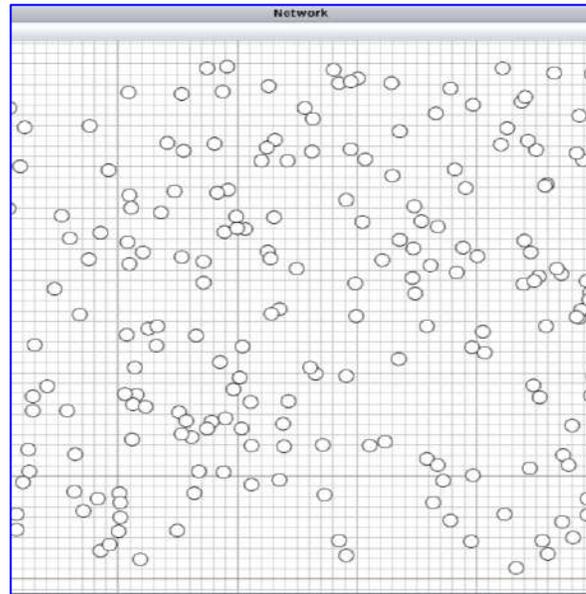
Number Hops

to minimize power consumption



The mesh network operation

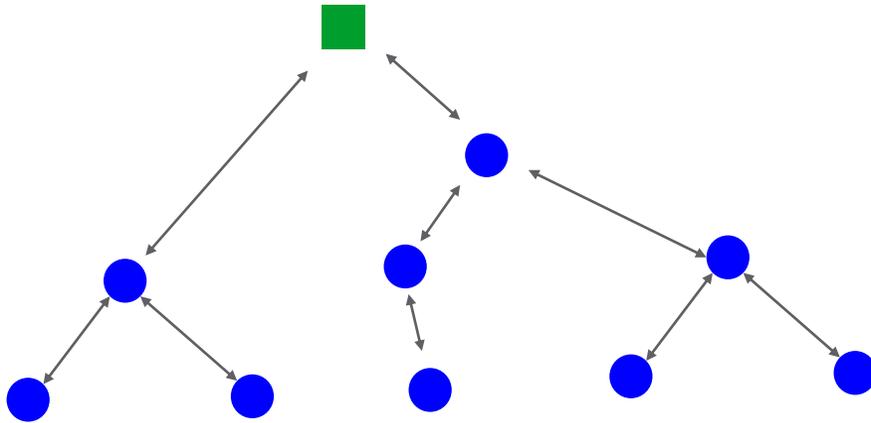
The **more nodes, the better** is a rule for a stable system.



Auto adaptation
Adaption to environment condition

Availability
Many path available

Firmware update



Propagation to Children / Grand Children, not from GW

The update spreads gradually like a virus - the whole process could typically take 10 to 30 hours.



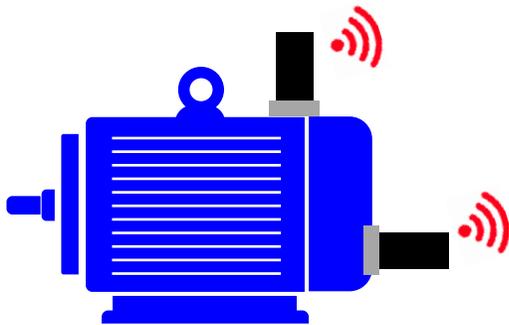
Time Synchronization

BLE

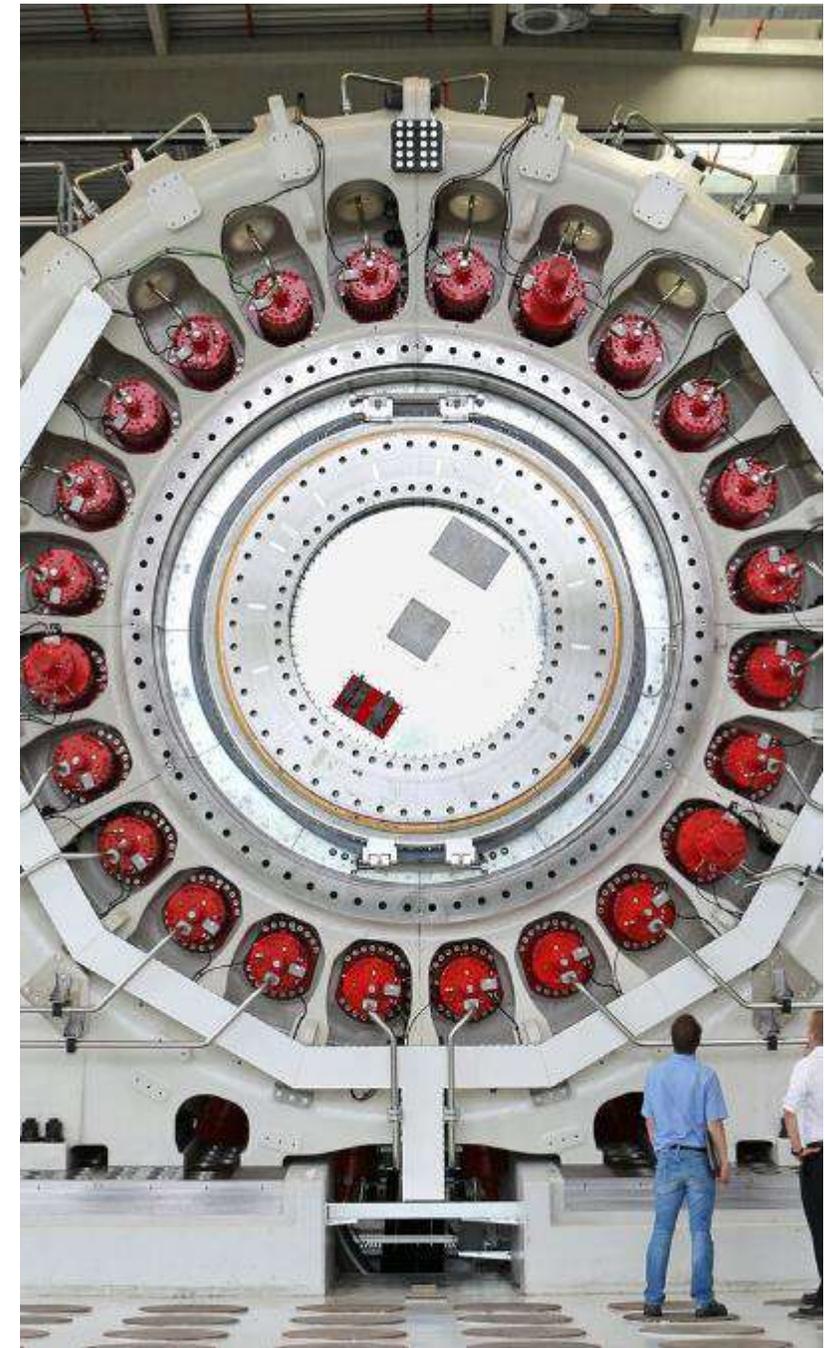
2-3 ms

MESH

30 μ s



- Advanced Vibration analysis
- Speed (wired or wireless)
- Speed compensations
- Multi-sensor measurement



Some key capabilities

Network

Adapting its environment

➔ Robustness

FOTA

FW update

➔ From GW, by sensors

Sensor Sync

Few μ s

➔ Advanced processing

Data versus energy use

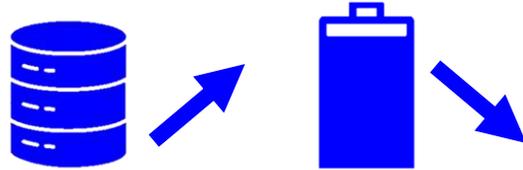


Data vs battery

Standstill is the main consumer

97%
of time

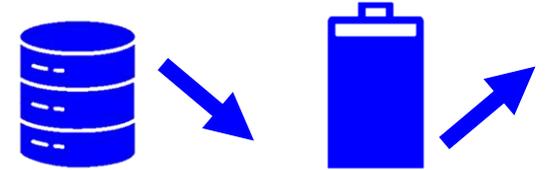
HW design focusing on standstill consumptions



50 Kb
Per day

1 year
Lifetime

Application knowledge



50 Kb
Per week

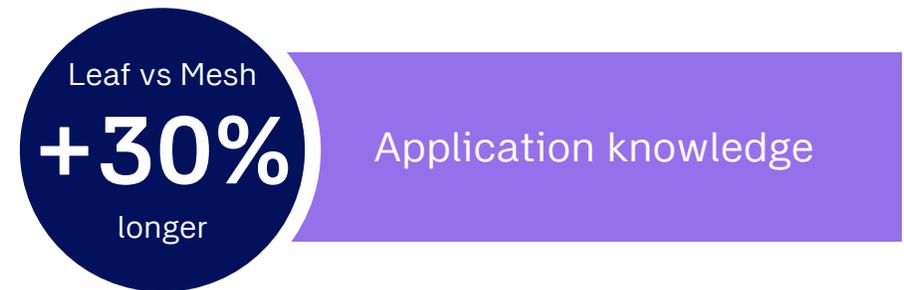
4 years
Lifetime

Limit the amount of data to send

Mesh, Relay, Leaf modes

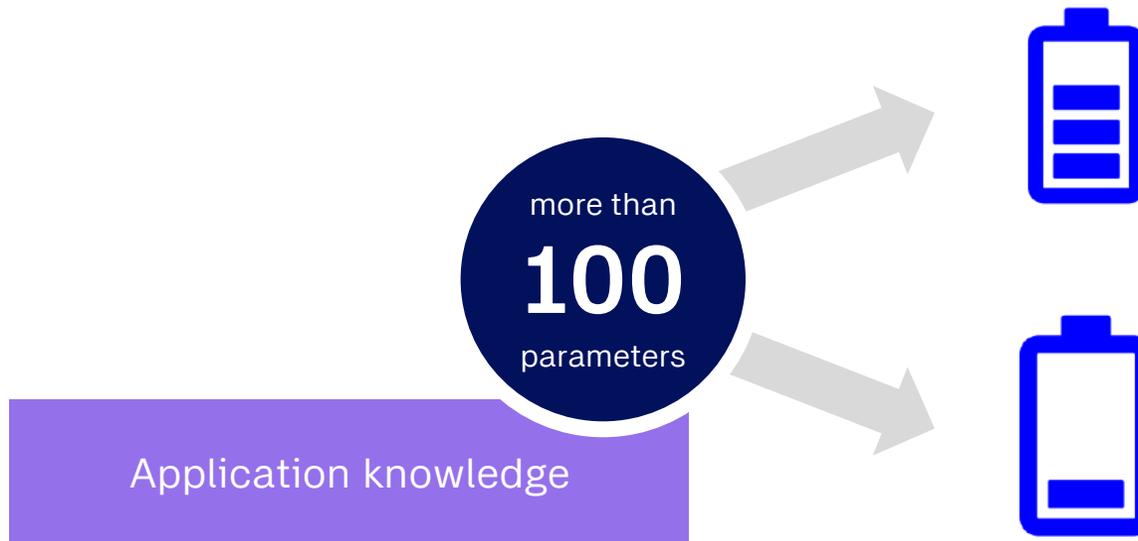
Sensor can be set in different node type.
This will impact its communication behaviour and thus its lifetime in a direct way

	Mesh	Relay	Leaf
Measurement	✓	✗	✓
Data transfer	✓	✓	✗



Sensor configuration

The application knowledge is key to properly setting up a sensor
This enables optimization of its lifetime through appropriate parameter settings



Data & Energy usage

Configuration

Application knowledge

➔ 100 parameters

Battery powered

Sensor Type

➔ Mesh, Relay, Leaf

Standstill consumption

HW design

➔ 24 μ A

Data

Limit the amount of data to send

➔ Vibration, °C

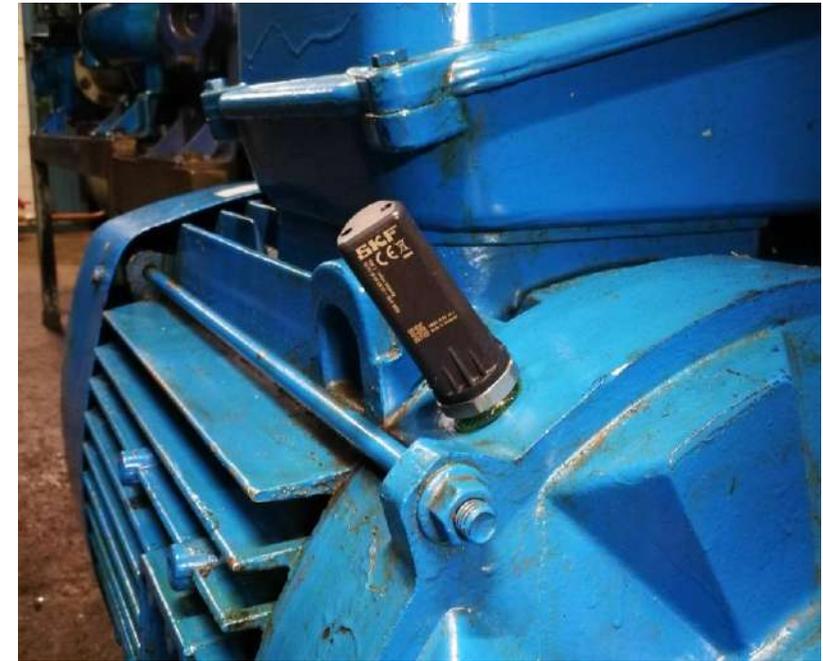
SKF

One example



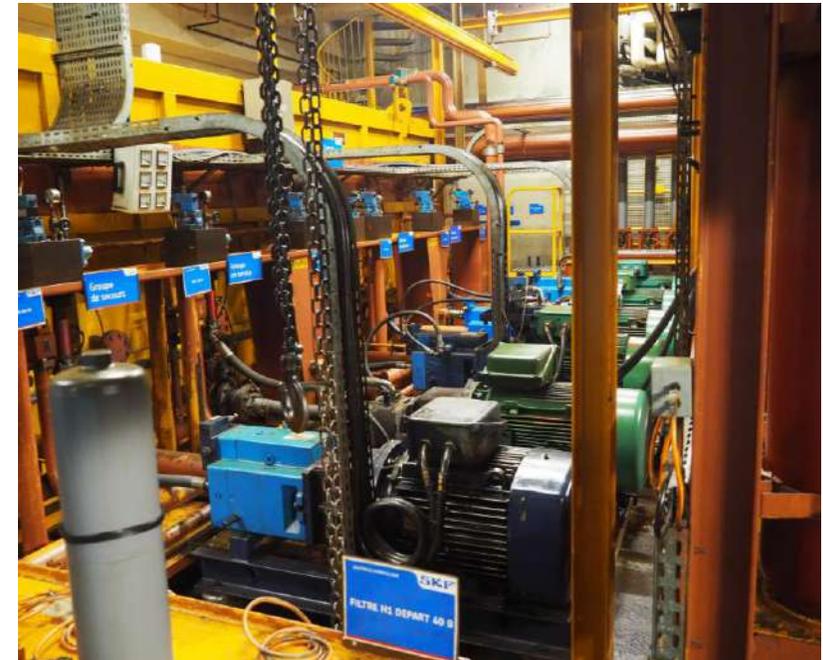
EXAMPLE

SKF Installation



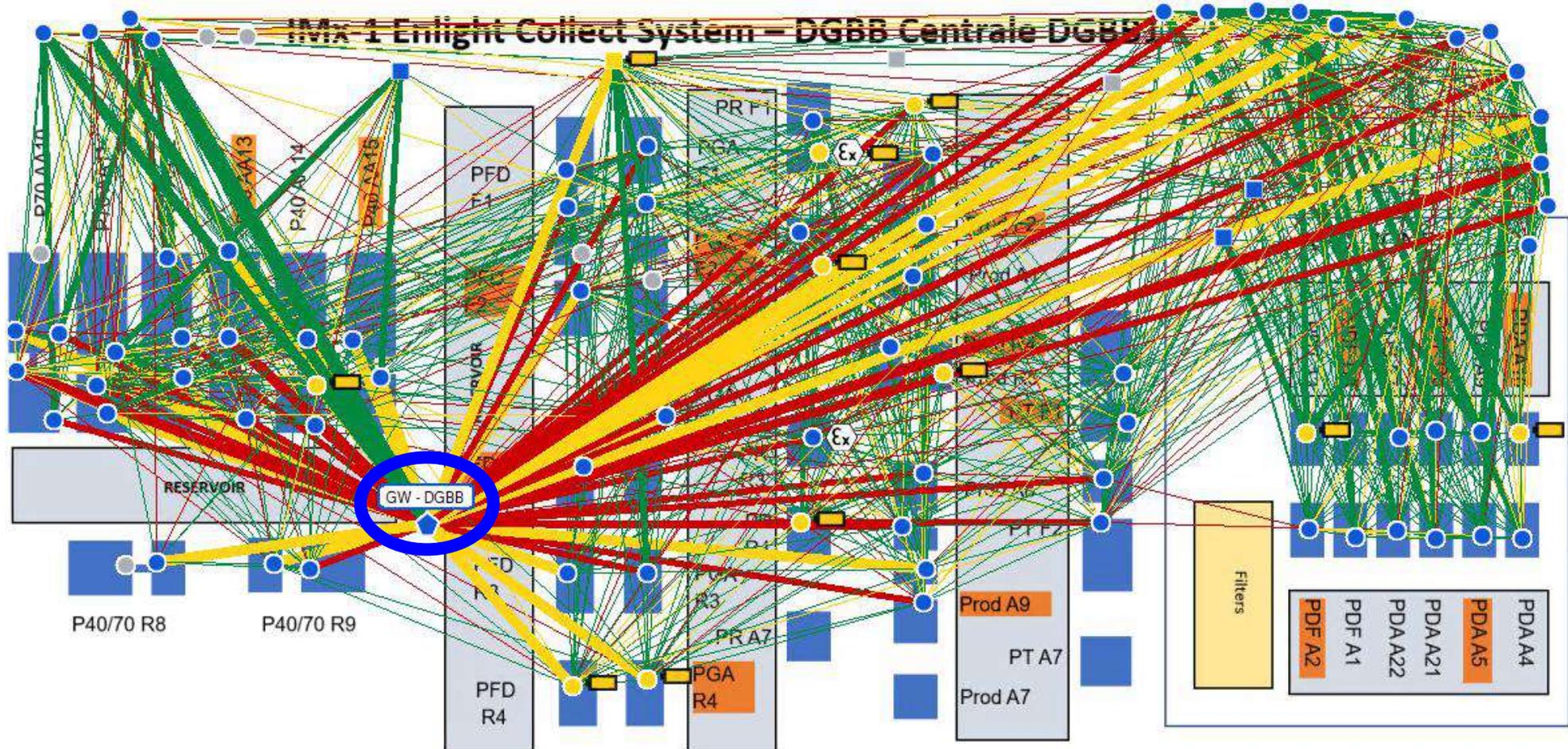
Example of a factory equipped with 100 sensors for test purposes

- A lot of metal (reflexions)
- Several stairs
- Different machine speeds

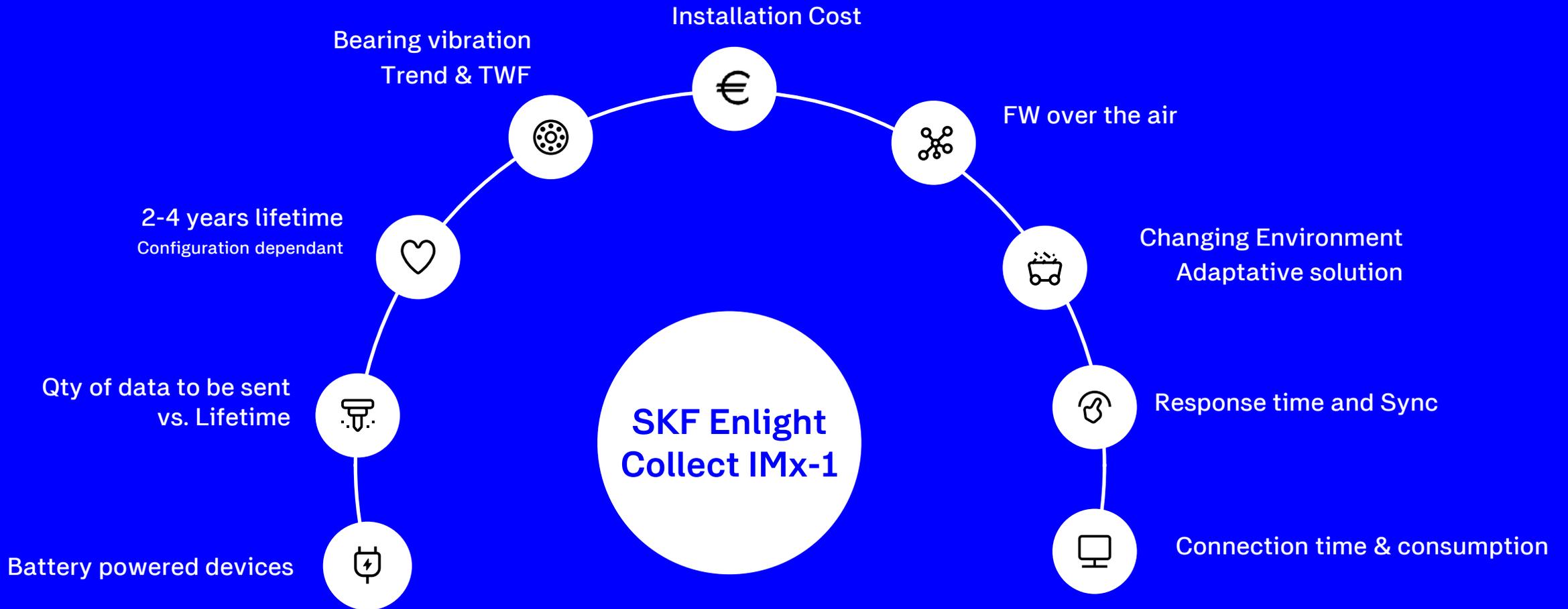


EXAMPLE

Network topology



Challenges for IMx-1 Mesh network





Thank you!

Simon HUBERT

System Engineer

 simon.hubert@skf.com

Clément POULAILLEAU

Embedded Software Architect

 clement.poulailleau@skf.com





ENGINE



FICHE D'APPRÉCIATION



Votre avis SVP :

<https://framaforms.org/fiche-appreciation-seminaire-maitriser-les-reseaux-sans-fils-mesh-strategies-et-retours-dexperience>





Cofinancé par
l'Union européenne



www.cresitt.com

02 38 69 82 60

Elisabeth.patouillard@cresitt.com

Christophe.Alayrac@cresitt.com