

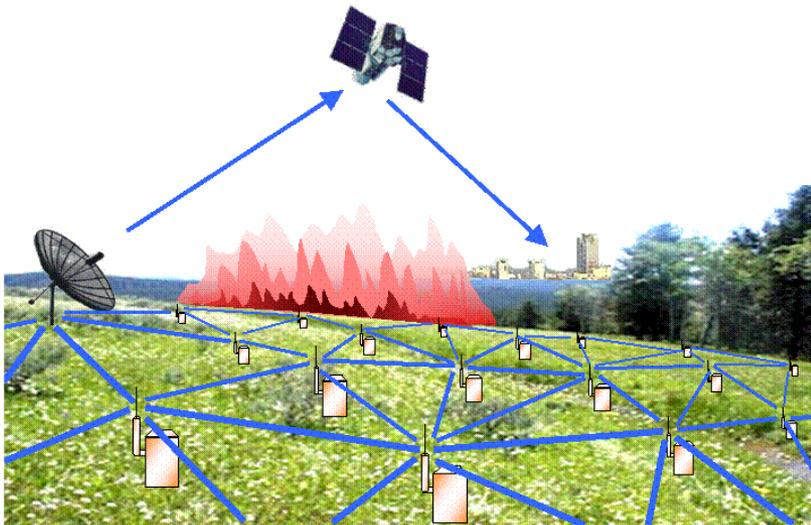
LES OBJETS CONNECTÉS
UNE RÉVOLUTION INÉLUCTABLE
LES CLÉS TECHNOLOGIQUES

Valentin Gies

Université de Toulon

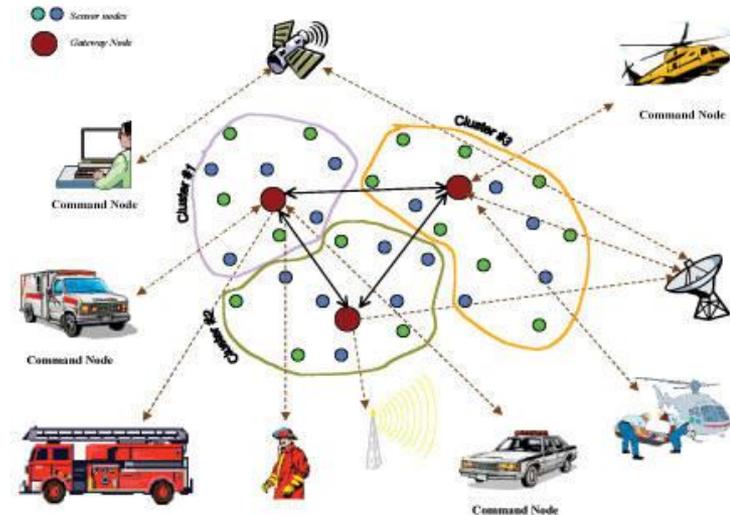
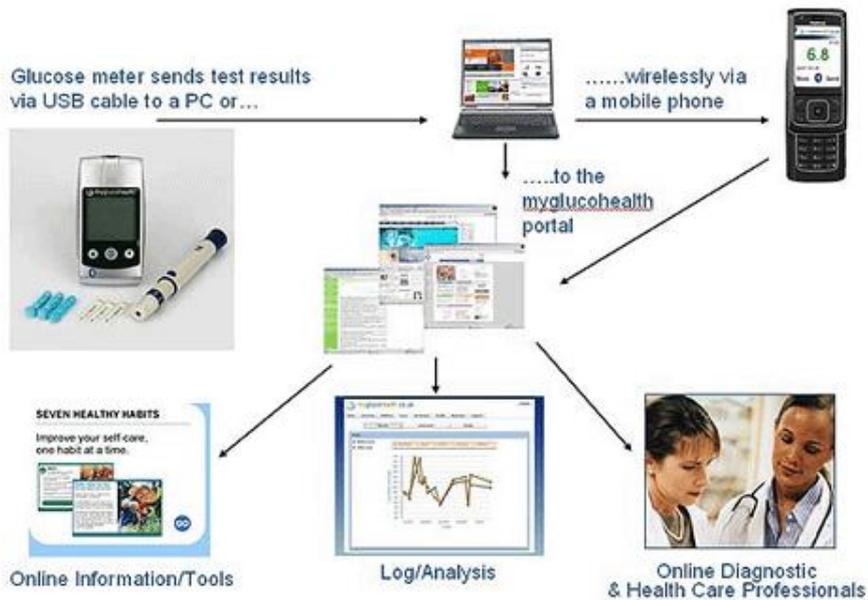
Les clés technologiques : Applications visées

- Applications concernées par les objets connectés
 - ▣ Militaires et environnementales



Les clés technologiques : Applications visées

- Applications concernées par les objets connectés
 - ▣ Médical et assistance opérationnelle



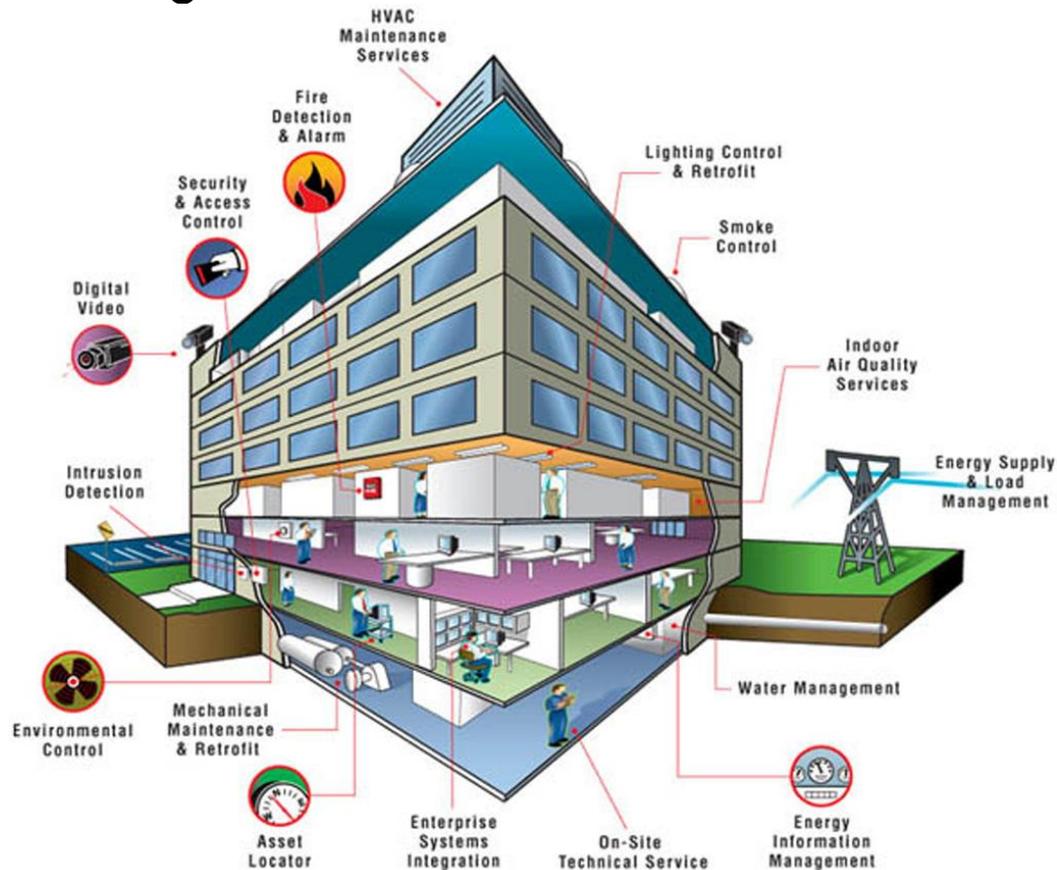
Les clés technologiques : Applications visées

- Applications concernées par les objets connectés
 - ▣ Agriculture, industrie, ouvrages d'art



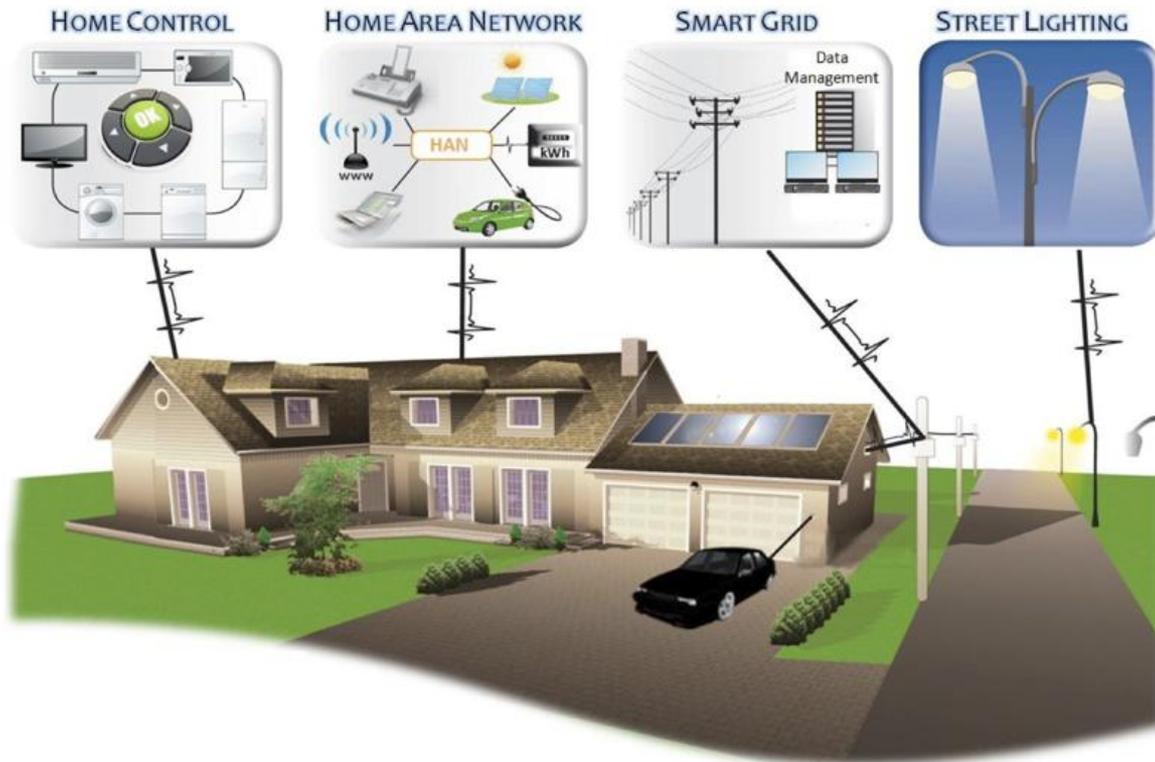
Les clés technologiques : Applications visées

- Applications concernées par les objets connectés
 - ▣ Monitoring des bâtiments



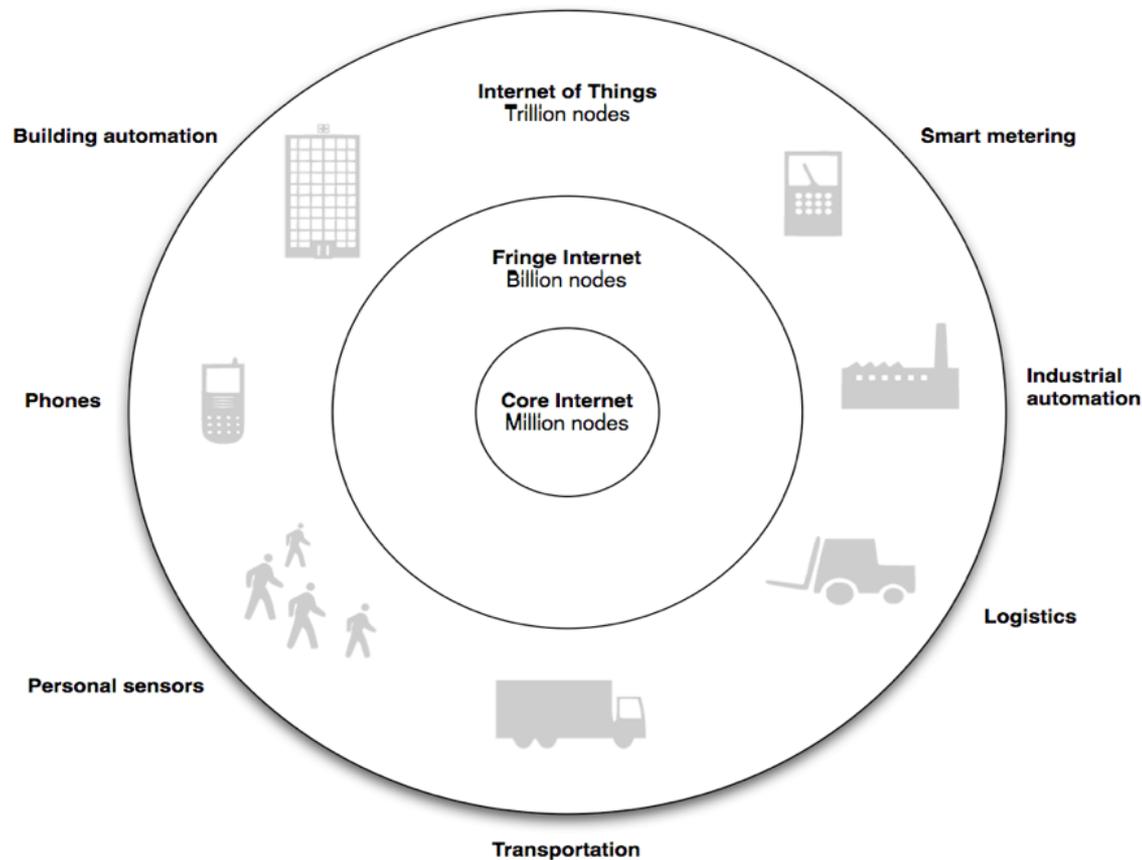
Les clés technologiques : Applications visées

- Applications concernées par les objets connectés
 - ▣ Télémessure et pilotage à distance de réseaux



Les clés technologiques : Applications visées

□ Des applications liées à internet



Les clés technologiques

- Hardware miniature et low power
 - Capteurs
 - Microcontrôleurs
 - Radio
- Un réseau de communication adapté aux contraintes et ressources hardware
 - Réseaux maillés :
 - Auto-configurables
 - Fault-tolerant and self-healing
 - Sécurité
 - Performances réduites en débit

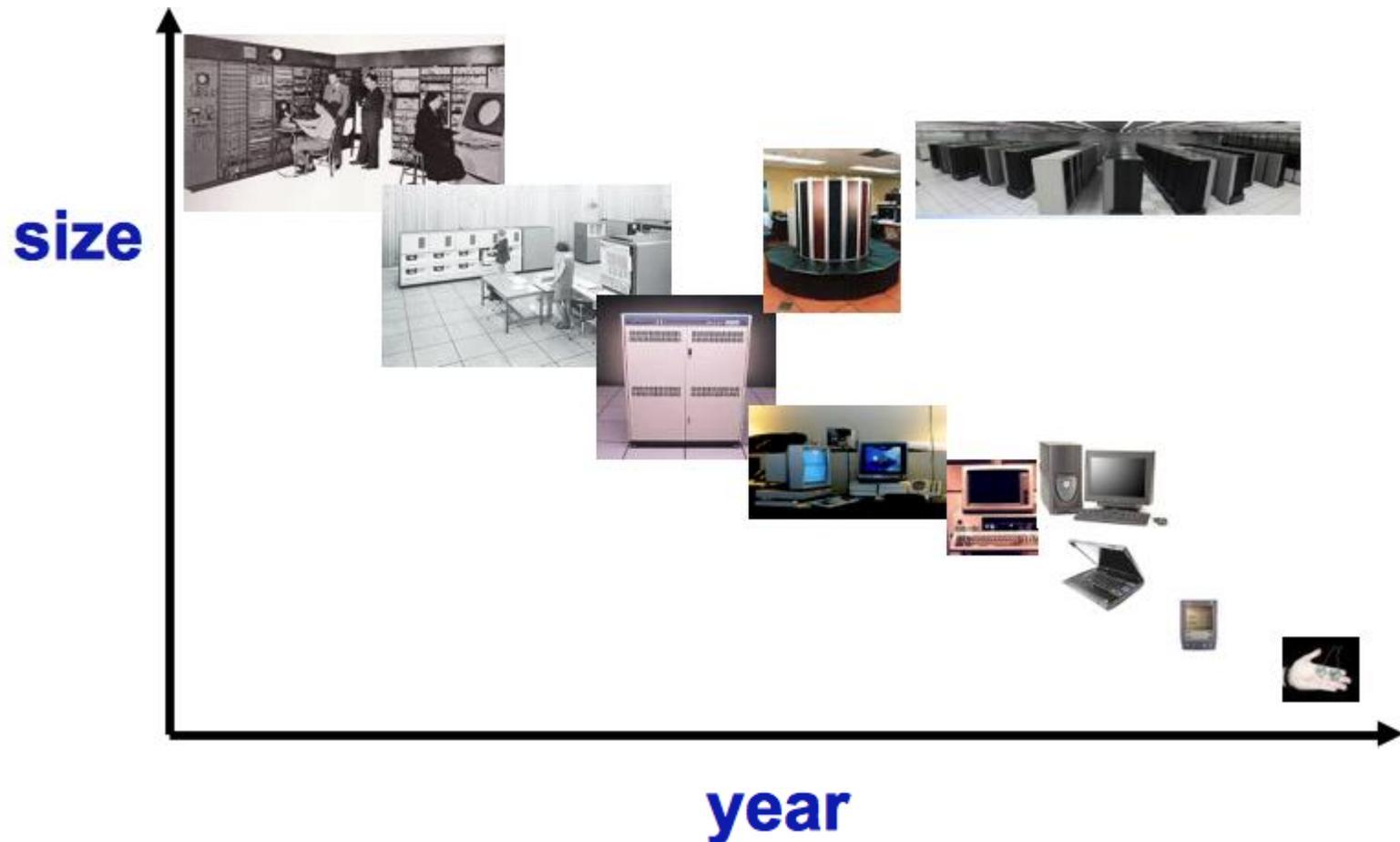
Les clés technologiques

Hardware Low Power miniaturisé

Les clés technologiques :

1. Hardware Low Power miniaturisé

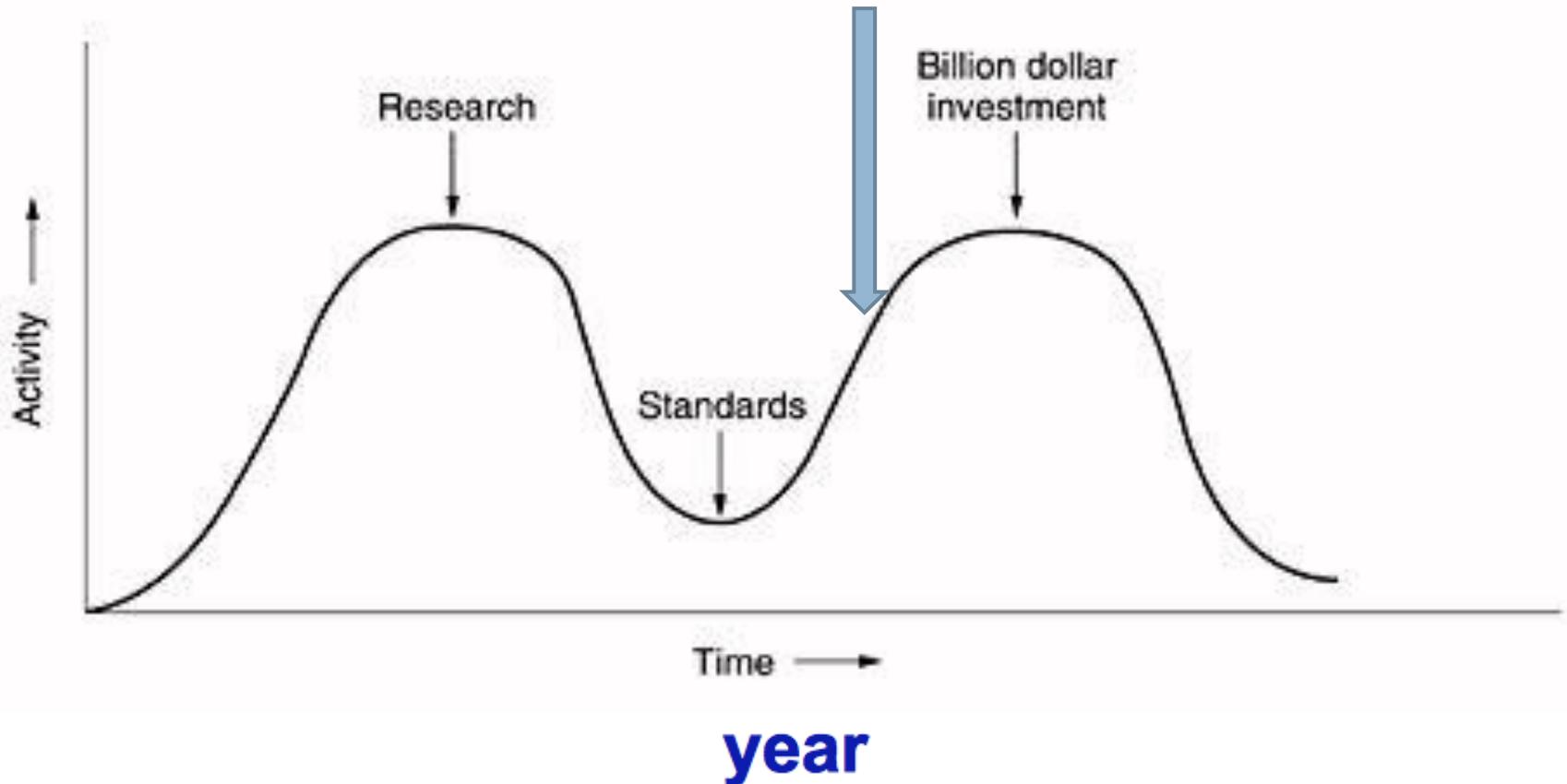
- Miniaturisation depuis 1950



Les clés technologiques :

1. Hardware Low Power miniaturisé

- Etat de développement: des technologies à maturité

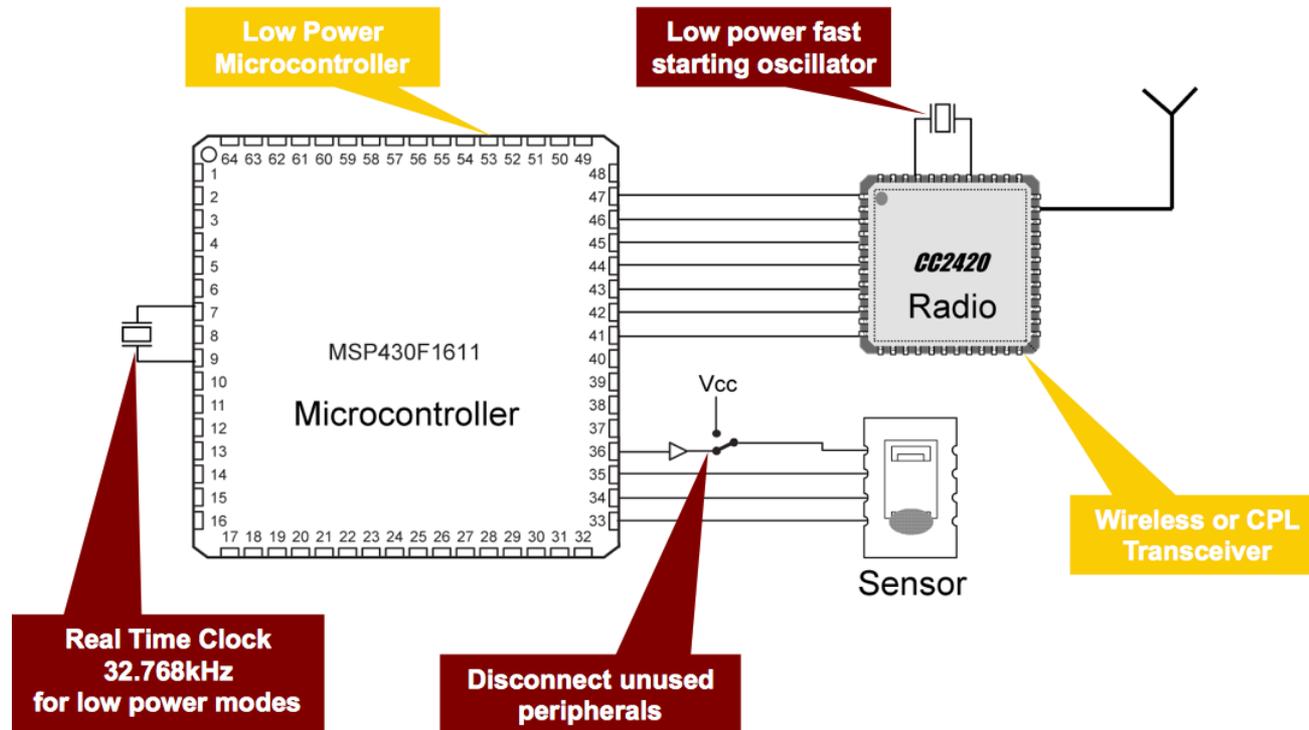


Les clés technologiques

1. Hardware Low Power miniaturisé

- Architecture classique des objets connectés

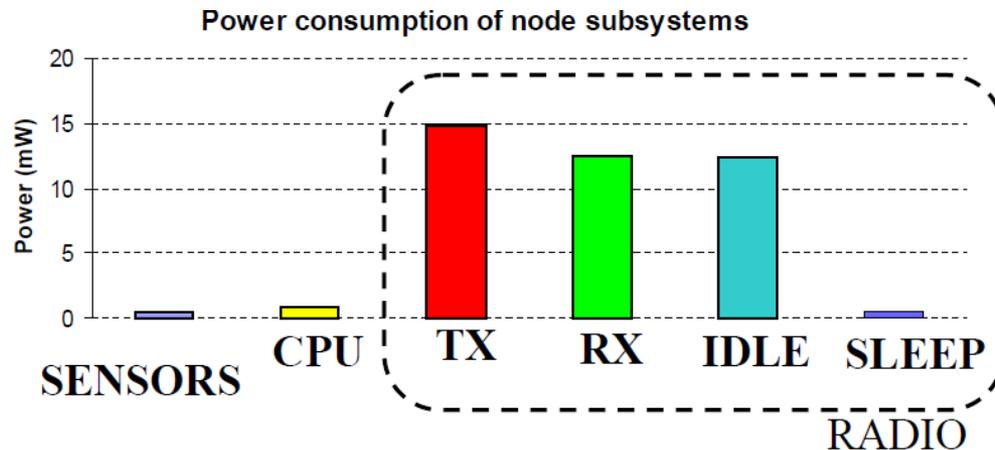
SoC type Architecture



Les clés technologiques :

1. Hardware Low Power miniaturisé

- **Le Low Power est essentiel pour maximiser la durée de vie des nœuds :**
 - Certains nœuds ne peuvent être rechargés (infrastructure, carottage, low cost device...)
- **A première vue, la radio a l'impact le plus fort sur la consommation**



Les clés technologiques :

1. Hardware Low Power miniaturisé

- **Facteurs permettant de réduire la consommation d'énergie :**
 - ▣ Choix d'un hardware (CPU-sensor) Low Power
 - A vérifier à la conception !
 - ▣ Choix d'une radio Low Power
 - Pb : baisse de la portée
 - ▣ Utilisation d'un système de récupération d'énergie (Energy harvesting)
 - Couteux, encombrant et/ou peu efficace

Ces premiers facteurs ne sont pas une priorité ou sont évidents

Les clés technologiques :

1. Hardware Low Power miniaturisé

□ Exemples de consommation

▣ Capteurs :

- Accéléromètre : 165uA actif – 1.8uA veille
- Magnétomètre : 900uA – 2uA
- Gyroscope : **6mA actif** – 5uA veille
- GPS : **41mA actif** – 25uA veille

▣ Processeurs :

- DSP : **63mA actif** – **120uA veille**
- uC XLP : 5.7mA actif – 2.9uA veille

▣ Radio

- Zigbee CC2530 : **40mA Tx** – **30mA Rx** – 1uA sleep
- Bluetooth Low Energy CC2541 : **18.2mA Tx** – **20.2mA Rx** – 0.5uA sleep

Les clés technologiques :

1. Hardware Low Power miniaturisé

- **Facteurs permettant de réduire la consommation d'énergie (suite):**
 - ▣ Optimisation des modes de veille
 - Fondamental pour réduire la consommation
 - ▣ Choix d'un protocole de communication à consommation réduite
 - Essayer de n'envoyer que ce qui est utile
 - Les normes de réseaux classiques sont trop gourmandes
 - ▣ Agréger les données dans les nœuds
 - Niveau sémantique élevé = moins de data

Ces facteurs sont les priorités à optimiser

Les clés technologiques :

1. Hardware Low Power miniaturisé

□ Optimisation des modes de veille

□ Sans mise en veille

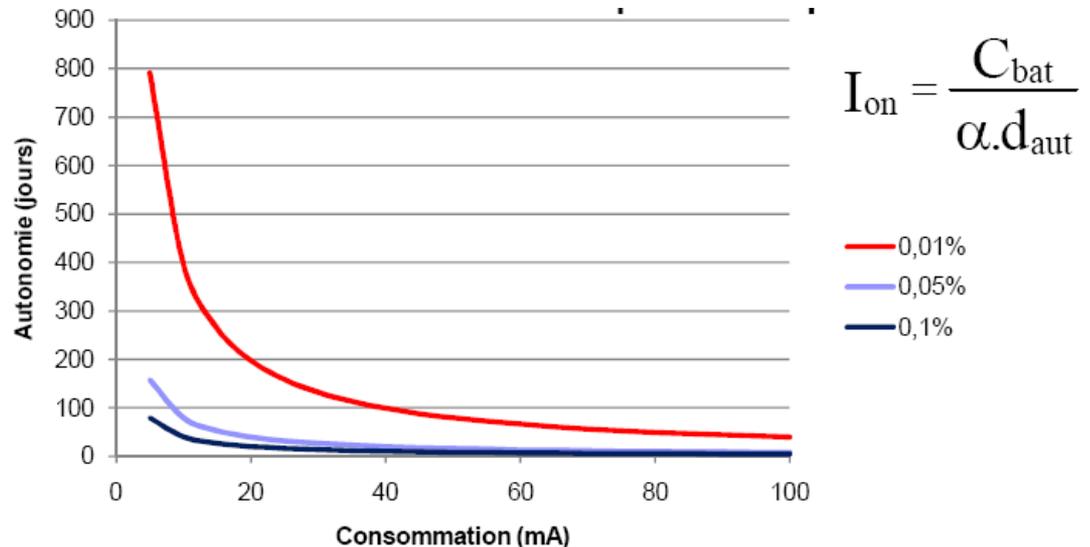
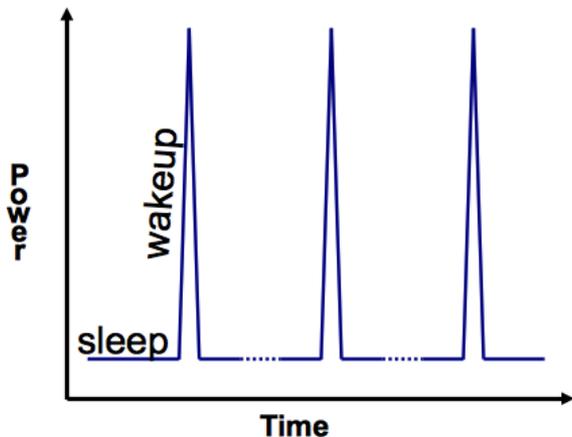
$$\text{Autonomie} = \frac{C_{bat}}{I_{moy}}$$

$$I_{moy} = 10 \text{ mA}$$

$$C_{bat} = 950 \text{ mAh}$$

→ - de 4 jours

□ Avec mise en veille :



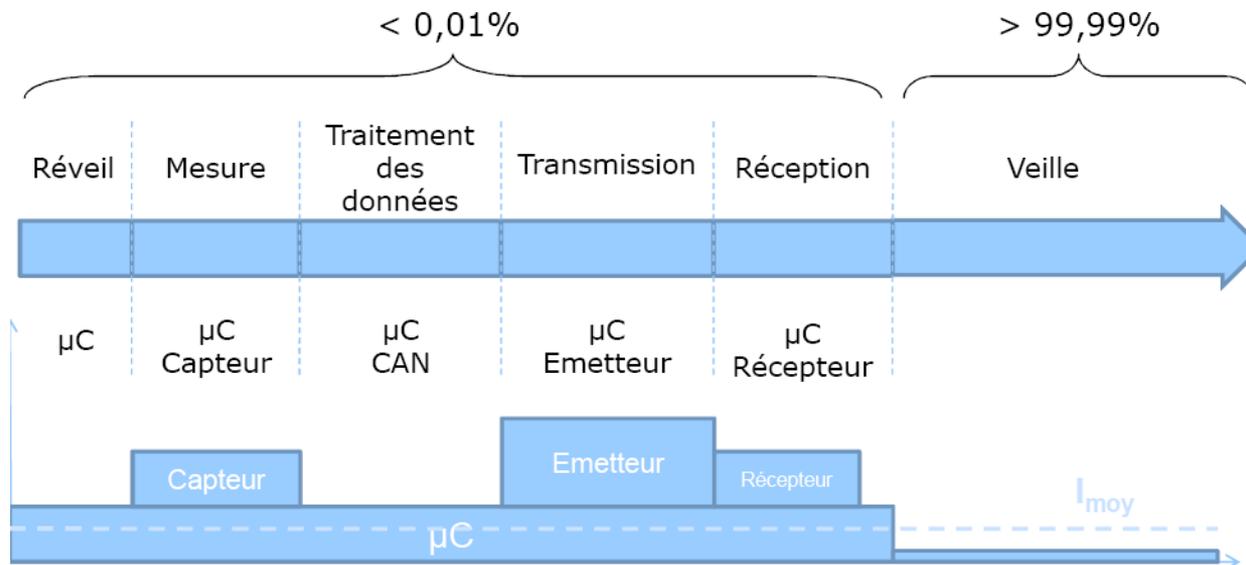
Les clés technologiques :

1. Hardware Low Power miniaturisé

□ Optimisation des modes de veille

□ Attention à la consommation en veille :

- 1 μA en veille – 10mA en actif : ratio 1/10.000
- 99,99% en veille – 0.01% en actif : ratio 10.000/1
- Conso veille et actif équivalente !



Les clés technologiques

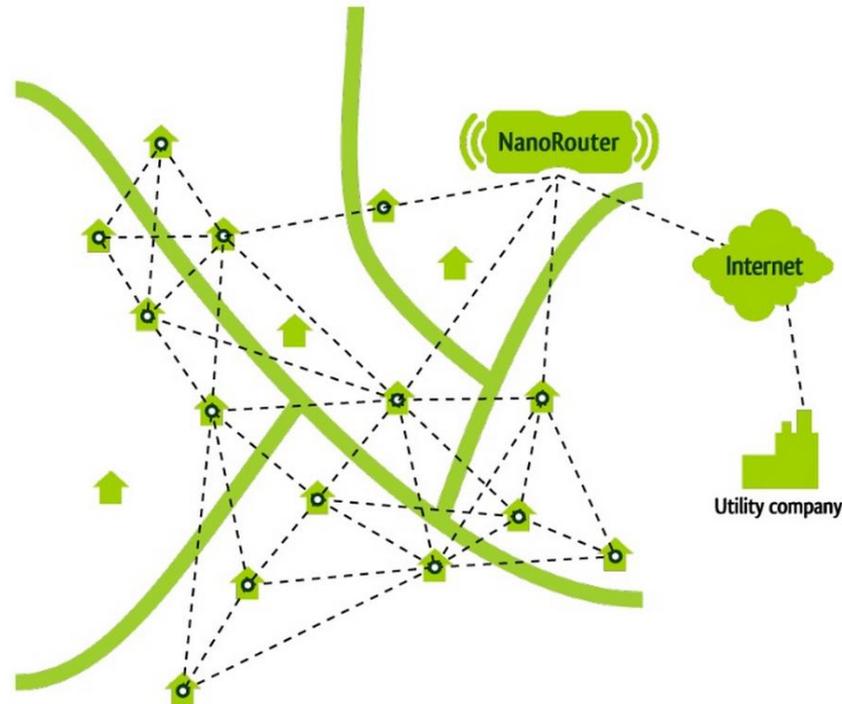
Réseaux de communication IP

Les clés technologiques :

2 – Réseaux de communication IP

Enjeux : connecter un réseau à hardware limité et à topologie variable à internet via une passerelle

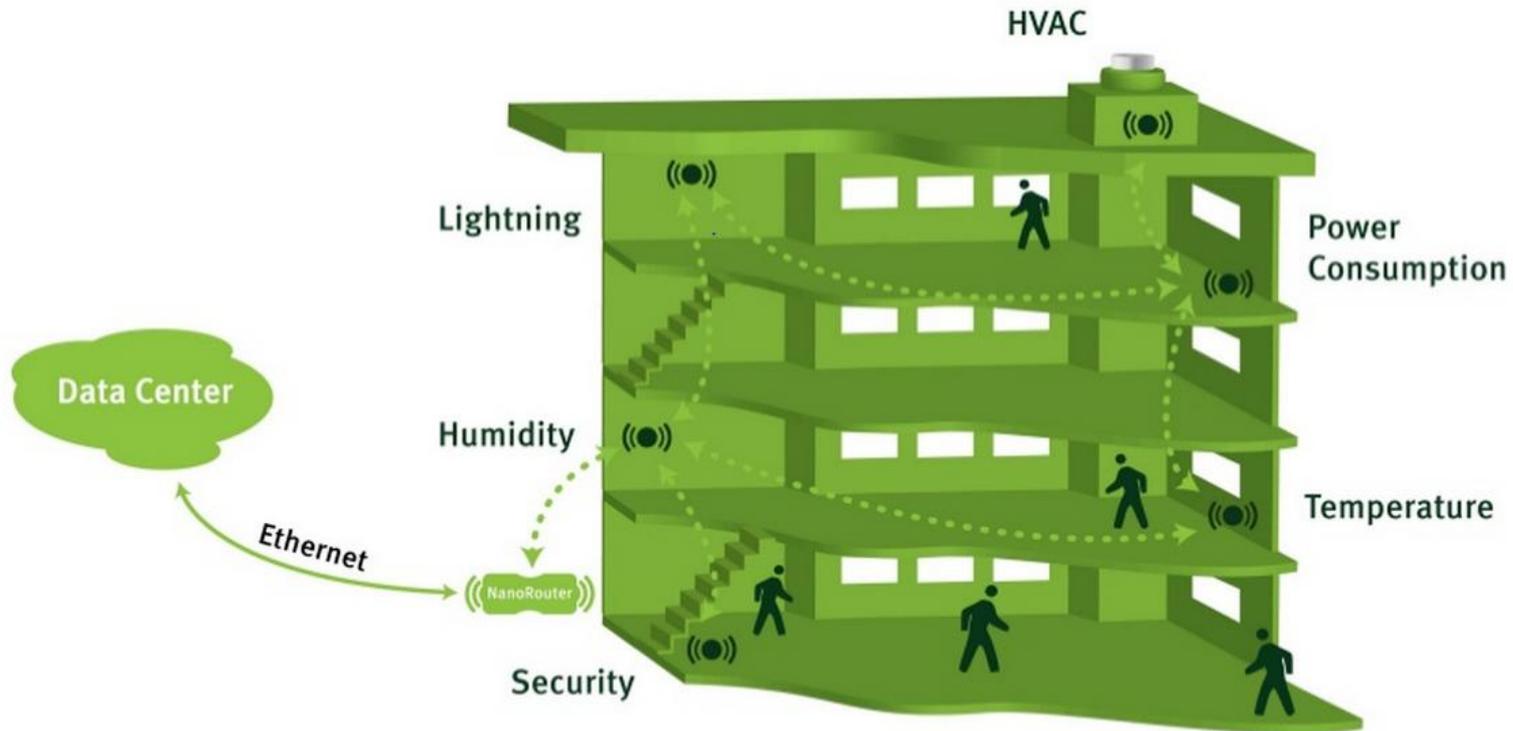
Smart Energy & Lighting



Les clés technologiques :

2 – Réseaux de communication IP

Enjeux : connecter un réseau à hardware limité et à topologie variable à internet via une passerelle



Les clés technologiques :

2 – Réseaux de communication IP

Enjeux : connecter un réseau à hardware limité et à topologie variable à internet via une passerelle

Health & Fitness



Les clés technologiques :

2 – Réseaux de communication IP

L'interconnexion avec les réseaux IP est indispensable

- Besoin d'accéder aux objets connectés depuis n'importe où.

L'adressage IP V4 classique pose problème :

- 4 milliards d'adresses mais 50 Milliards d'objets connectés en 2020

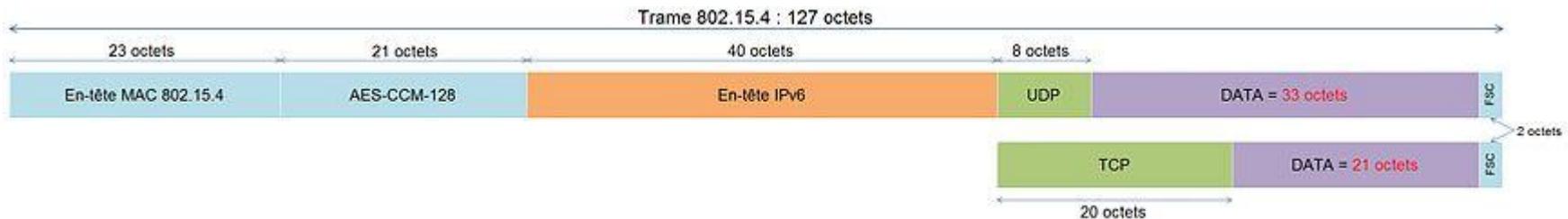
Besoin de l'IPv6 : 282.000 Milliards d'adresses !

Les clés technologiques :

2 – Réseaux de communication IP

IPV6 est indispensable, mais pose problème également sur un hardware limité low power

- Formatage trop long dans les trames :
 - Réduction du nombre de données réellement transmissibles (trame de 127 octets en 802.15.4)
 - Cout énergétique inutile important



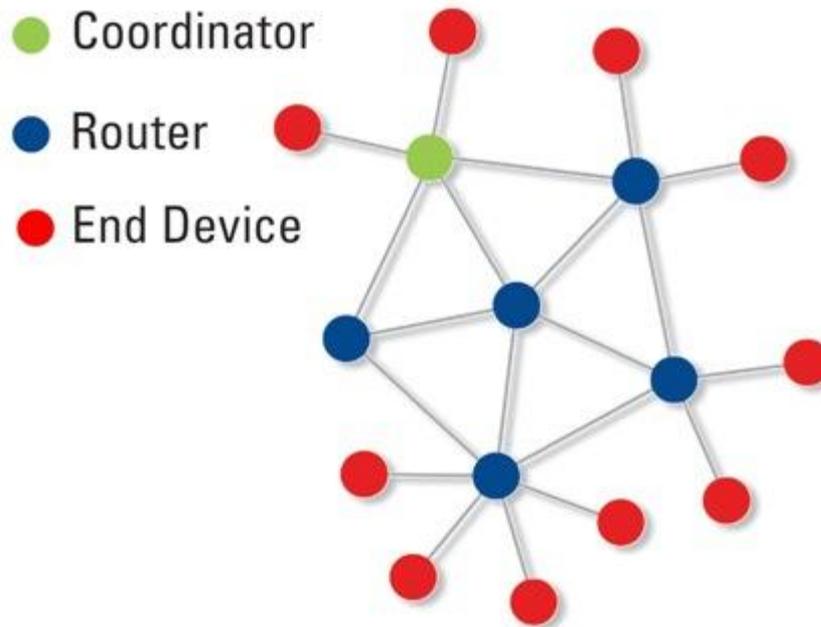
Besoin d'un IPV6 à entête réduite : 6 Low PAN

Les clés technologiques :

2 – Réseaux de communication IP

Autres difficultés :

- Routage sur des topologies Mesh ou Star avec point d'accès unique



Les clés technologiques :

2 – Réseaux de communication IP

Autres difficultés :

- Réduction des fonctionnalités de IPV6 au contraintes hardware :
 - ▣ Supervision du réseau : SNMPv3 n'est pour l'instant pas compatible
 - ▣ Fragmentation et réassemblage : la charge utile limitée impose la fragmentation ou la réduction des tailles des paquets
 - ▣ Sécurité nécessaire de l'intégrer au niveau de la couche IP (pas seulement au niveau 802.15.4 en AES)
 - ▣ Gestion de la mobilité : déplacement des nœuds du réseau.

Les clés technologiques :

2 – Réseaux de communication IP

Les standards de l'internet des objets

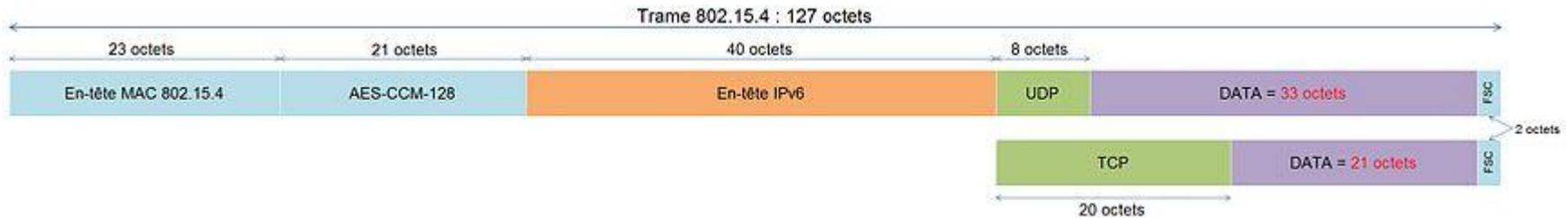
- Couche physique :
 - ▣ IEEE 802.15.4 : Low Rate Wireless Personal Area Network : Zigbee – Bluetooth – BLE...
 - ▣ IEEE 1901-2010 : courants porteurs en ligne - High Speed <500Mbps
- Couche logicielle
 - ▣ IPv6 sur hardware réduit : -> 6LowPAN -> ZigBee IP
 - ▣ Couches applicative REST :
 - CORE – CoAP(Constrained Application Protocol)
 - 4 instructions : GET, POST, PUT, DELETE
 - ROLL – RPL (Routing Over Low Power Lossy Networks)

Les clés technologiques :

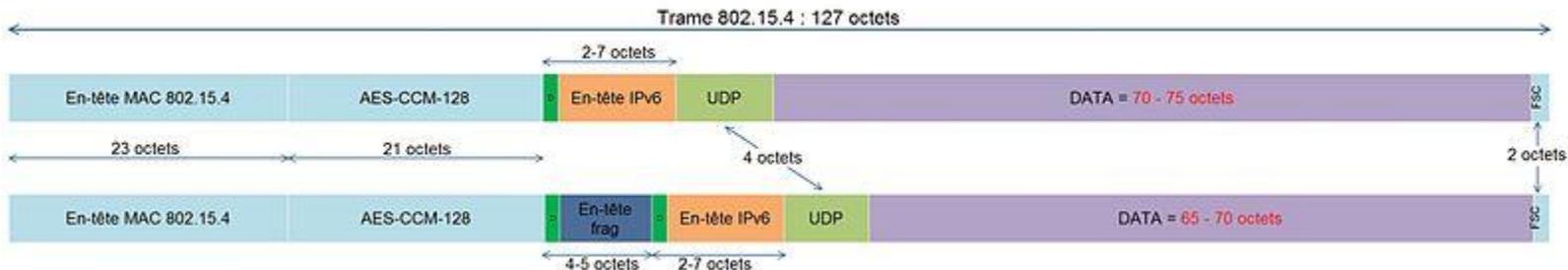
2 – Réseaux de communication IP

6LowPAN : une implantation IPV6 contrainte

- Trame IPV6 : 33 octets utiles en UDP



- Trame 6LowPAN : 70-75 octets utiles en UDP



Les clés technologiques :

2 – Réseaux de communication IP

REST (REpresentational State Transfer) : une architecture adaptée aux LowPAN

- Responsabilités séparées entre client et serveur
- Pas de maintenance de contexte coté serveur
- Interface uniforme :
 - ▣ Identification des ressources unique
 - ▣ Message auto-descriptif
 - ▣ Hypermedia : les accès aux états suivants sont décrits dans le message courant
- Système hiérarchisé par couches : flexibilité

Les clés technologiques :

2 – Réseaux de communication IP

REST (REpresentational State Transfer) : une architecture adaptée aux LowPAN

- Les avantages de REST :
 - ▣ Application simple à maintenir : pas de couplage client-serveur
 - ▣ Pas de gestion de contexte coté serveur
 - Pas besoin de maintenir de connexion (socket ou autre)
 - Threading coté serveur simplifié
- Inconvénients de REST :
 - ▣ Le client doit gérer le contexte et envoyer des requêtes complètes
 - Saturation de la bande passante
 - Cout énergétique important

Les clés technologiques :

2 – Réseaux de communication IP

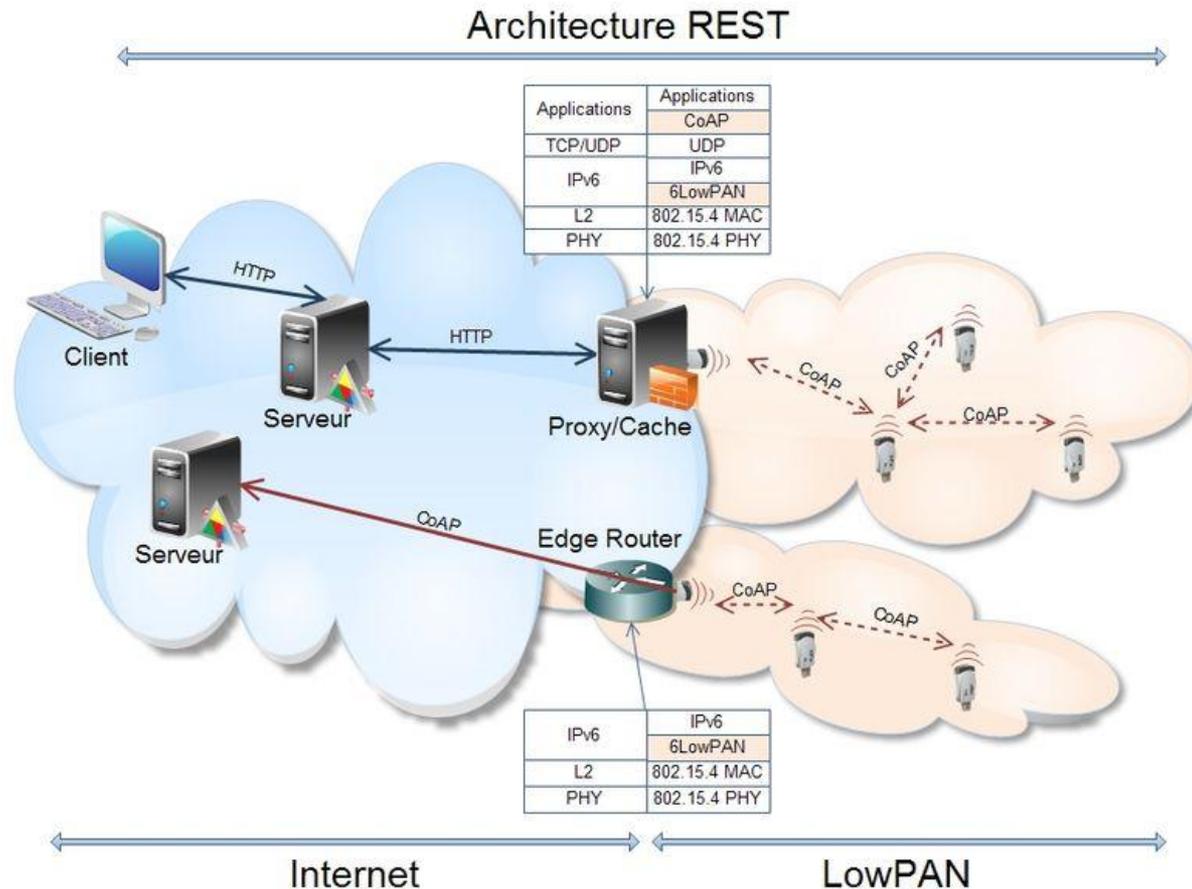
CORE - CoAP : un REST sur 6LowPAN

- CoAP (Constrained Application Protocol)
 - ▣ Développé par le groupe IEEE CORE (*Constrained RESTful Environments*)
 - ▣ 4 messages (comme en HTML) :
 - GET : Récupère les informations d'une ressource
 - POST : Crée une nouvelle ressource
 - PUT : Met à jour de la ressource
 - DELETE : Supprime la ressource
 - ▣ Entête réduites pour plus de charge utile

Les clés technologiques :

2 – Réseaux de communication IP

CORE - CoAP : une implantation simplifiée de REST sur 6LowPAN



Les clés technologiques :

2 – Réseaux de communication IP

La sécurité sur les réseaux 6LowPAN

□ Plusieurs couches de sécurité

▣ Couche MAC (Media Access Control)

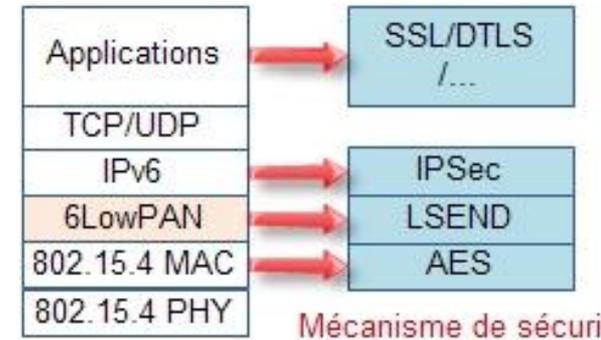
- Cryptage AES (128 bits)

▣ Couche IP

- IPsec n'est pas utilisable : trop couteux en ressources
- LSEND : Lightweight Secure Neighbor Discovery Protocol est utilisé pour sécuriser la découverte des voisins

▣ Couche Application :

- Cryptage SSL ou autre



Les clés technologiques

Facteurs limitants

Les clés technologiques :

3 – Facteurs limitants

Les batteries

□ Des performances limitées

Type	Voltage ^a	Energy density ^b		Power ^c	E/\$ ^e	Disch. ^f	Cycles ^g	
	(V)	(MJ/kg)	(Wh/kg)	(Wh/L)	(W/kg)	(Wh/\$)	(%/month)	(#)
Lead-acid	2.1	0.11-0.14	30-40	60-75	180	5-8	3-4%	500-800
Alkaline	1.5	0.31	85	250	50	7.7	<0.3	100-1000
Nickel-iron	1.2	0.18	50		100	5-7.3 ^[7]	20-40%	
Nickel-cadmium	1.2	0.14-0.22	40-60	50-150	150	1.25-2.5 ^[7]	20%	1500
Nickel-hydrogen	1.5	0.27	75	60	220			20,000+
Nickel-metal hydride	1.2	0.11-0.29	30-80	140-300	250-1000	2.75	30%	500-1000
Nickel-zinc	1.7	0.22	60	170	900	2-3.3		100-500
Lithium-air (organic) ^[8]	2.7	7.2	2000	2000	400			~100
Lithium-ion	3.6	0.58	150-250	250-360	1800	2.8-5 ^[9]	5-10%	400-1200 ^[10]
Lithium-ion polymer	3.7	0.47-0.72	130-200	300	3000+	2.8-5.0	5%	500-1000

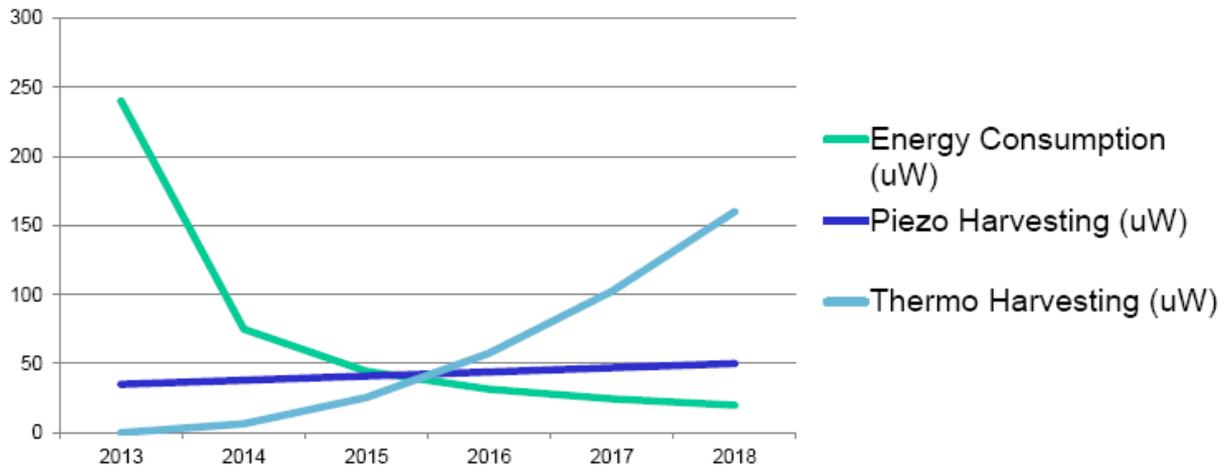
□ Pas d'évolution majeure ces dernières années

Problème de chimie !

Les clés technologiques :

3 – Facteurs limitants

Vers la récupération d'énergie



Source	Caractéristiques	Densité de puissance disponible
Énergie solaire	Rayonnement direct	jusqu'à 100 mW/cm ²
Énergie mécanique	$f = 6,28 \text{ Hz}$; $A = 1,245 \text{ m/s}^2$	qq mW/cm ³
Énergie thermique	Gradient thermique = 5°C	~ 40 $\mu\text{W/cm}^2$
Radiofréquence	GSM, Wifi	< 1 $\mu\text{W/cm}^2$

Les clés technologiques :

3 – Facteurs limitant

Une acceptation potentiellement difficile par le consommateur

