

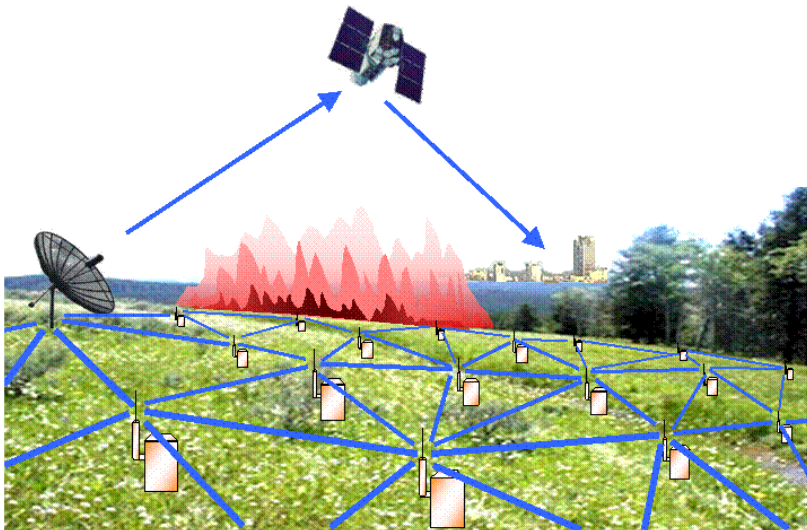
**LES OBJETS CONNECTÉS  
UNE RÉVOLUTION INÉLUCTABLE  
LES CLÉS TECHNOLOGIQUES**

Valentin Gies

Université de Toulon

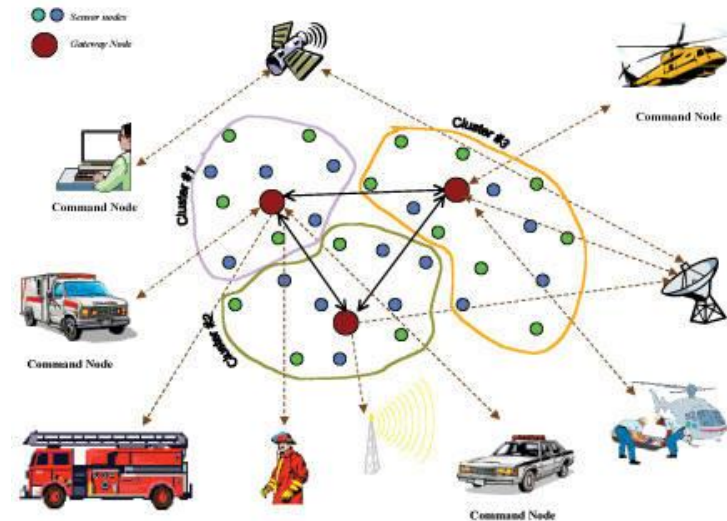
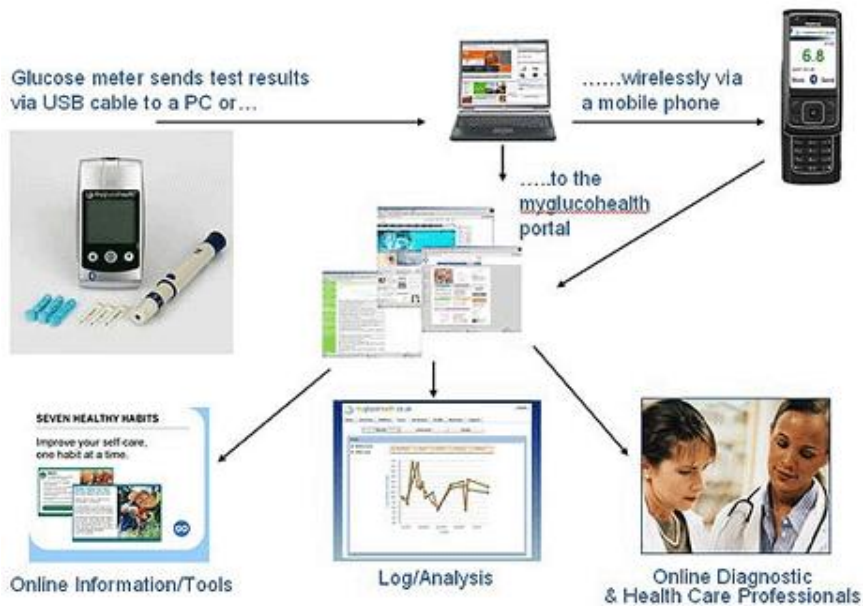
# Les clés technologiques : Applications visées

- 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



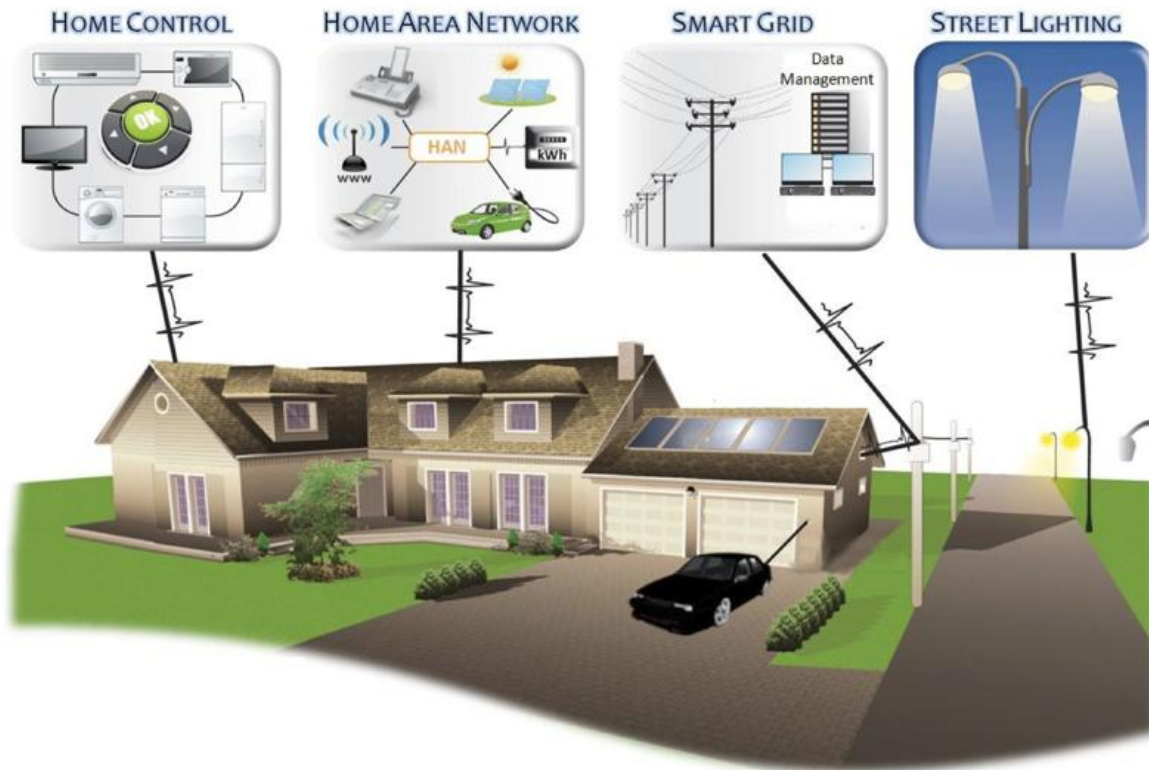
# Les clés technologiques : Applications visées

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



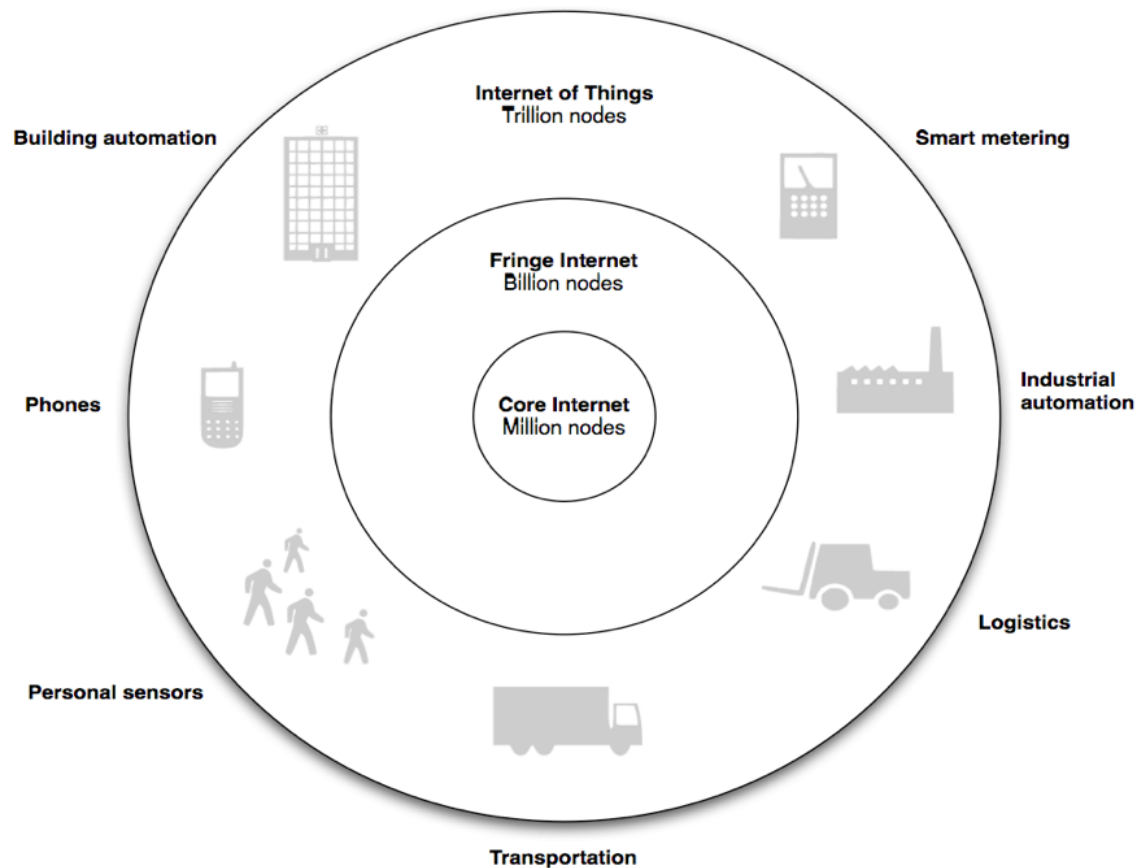
# Les clés technologiques : Applications visées

- 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



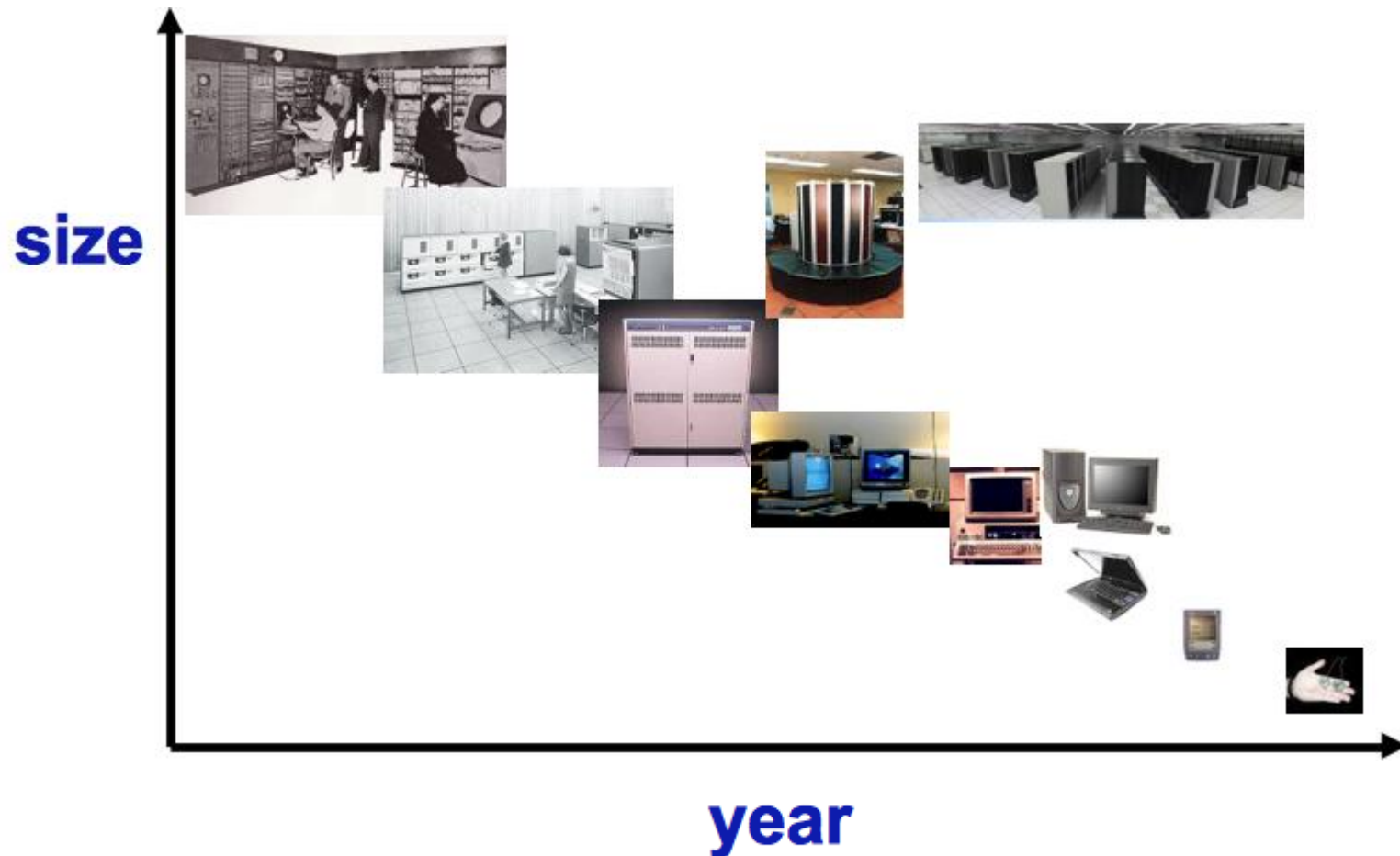
# Les clés technologiques

Hardware Low Power miniaturisé

# Les clés technologiques :

## 1. Hardware Low Power miniaturisé

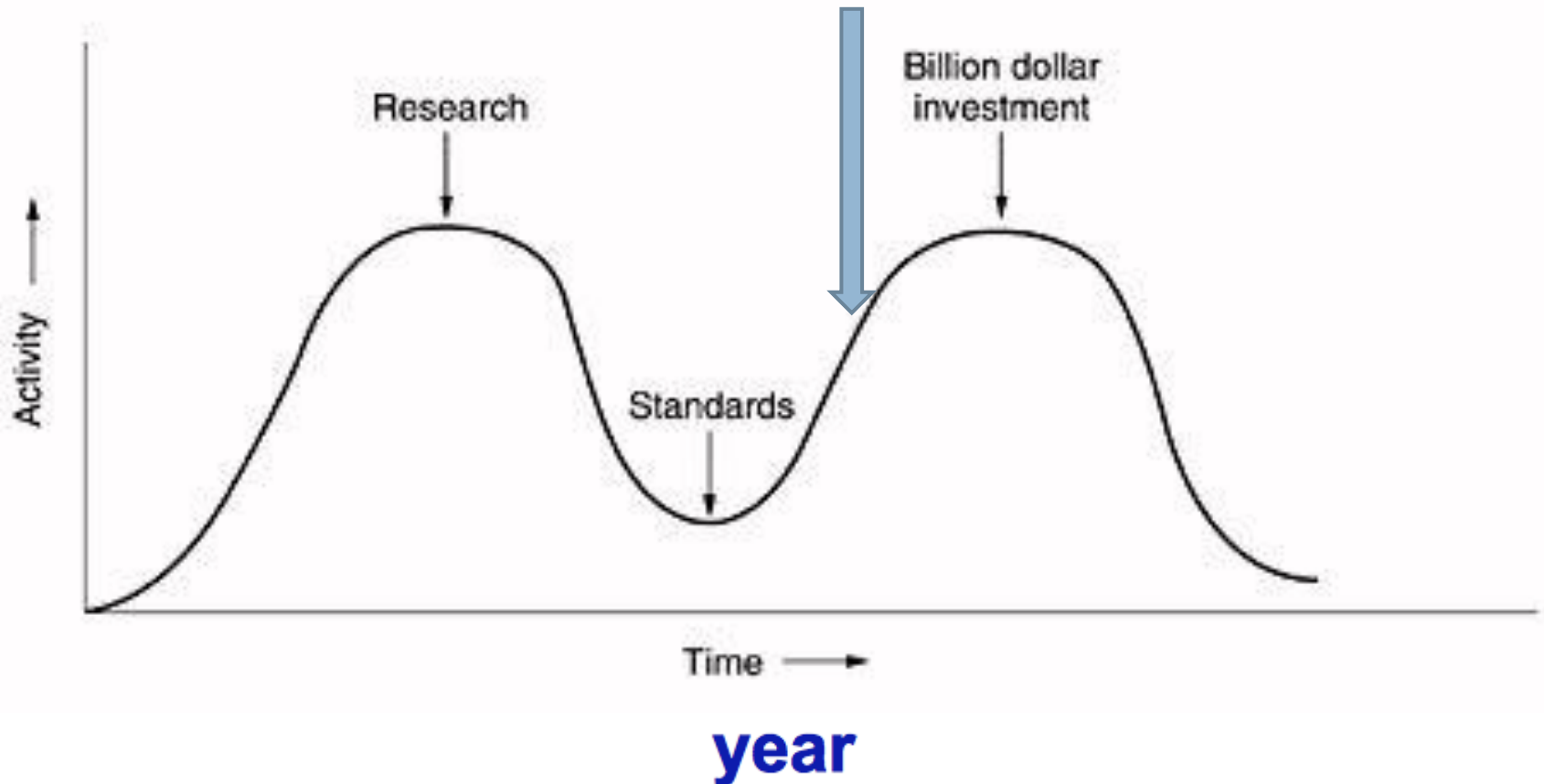
### □ Miniaturisation depuis 1950



# Les clés technologiques :

## 1. Hardware Low Power miniaturisé

- Etat de développement: des technologies à maturité

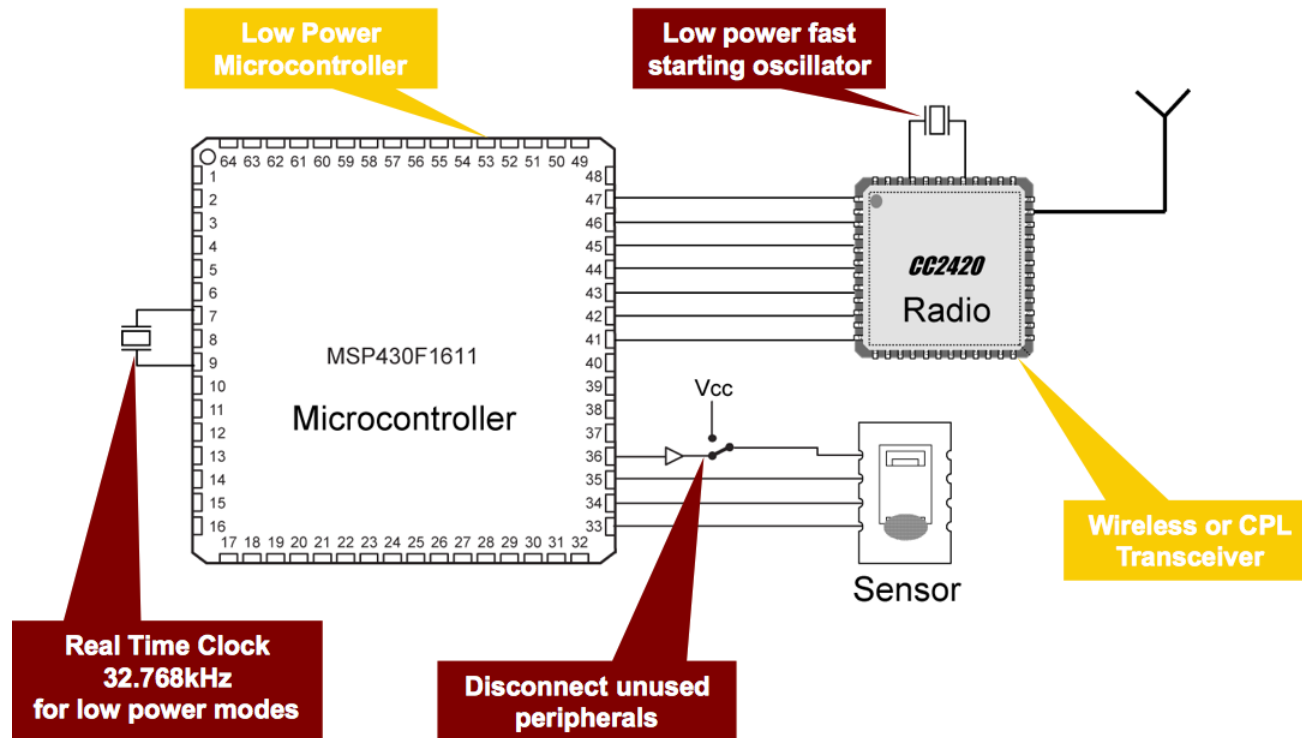


# Les clés technologiques

## 1. Hardware Low Power miniaturisé

- Architecture classique des objets connectés

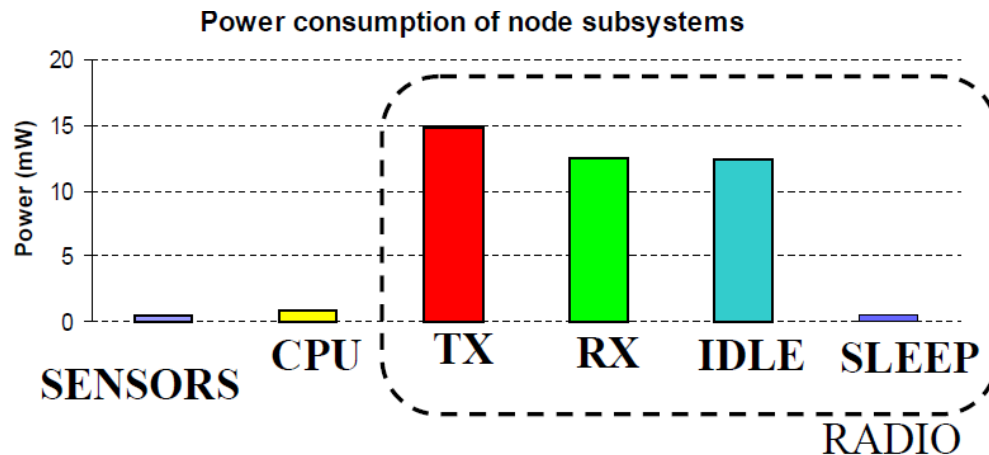
### SoC type Architecture



# 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

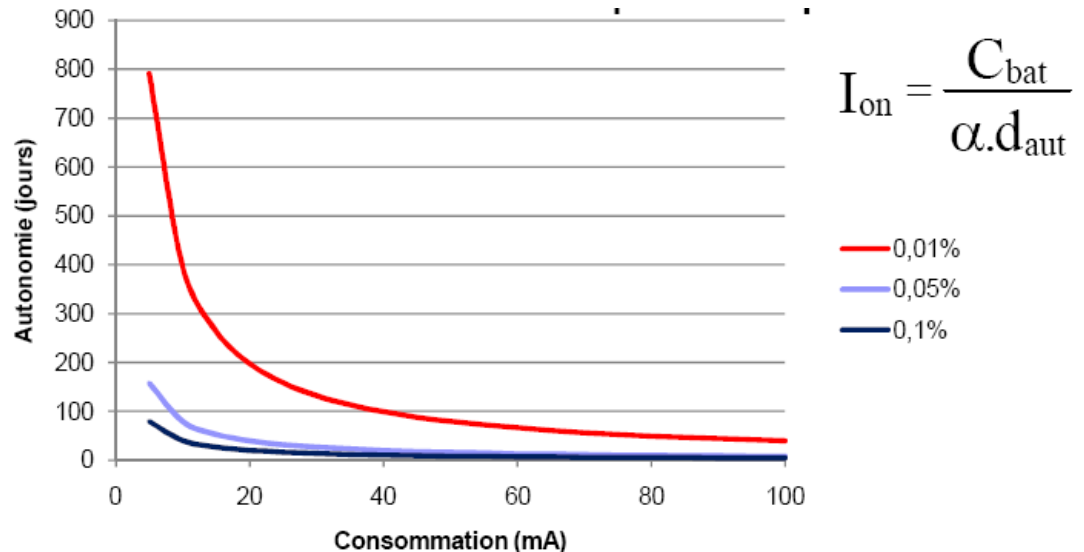
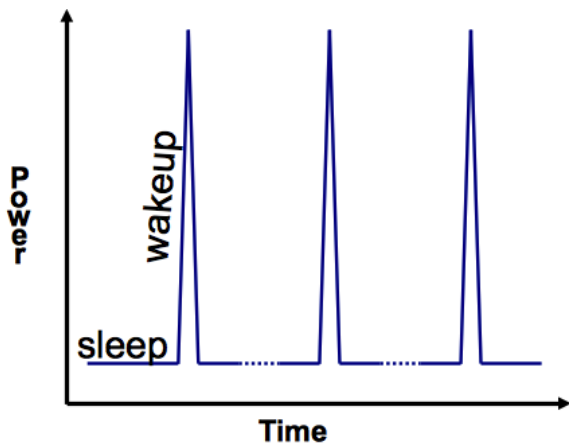
$$\text{Autonomie} = \frac{C_{bat}}{I_{moy}}$$

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

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

→ - de 4 jours

#### □ Avec mise en veille :



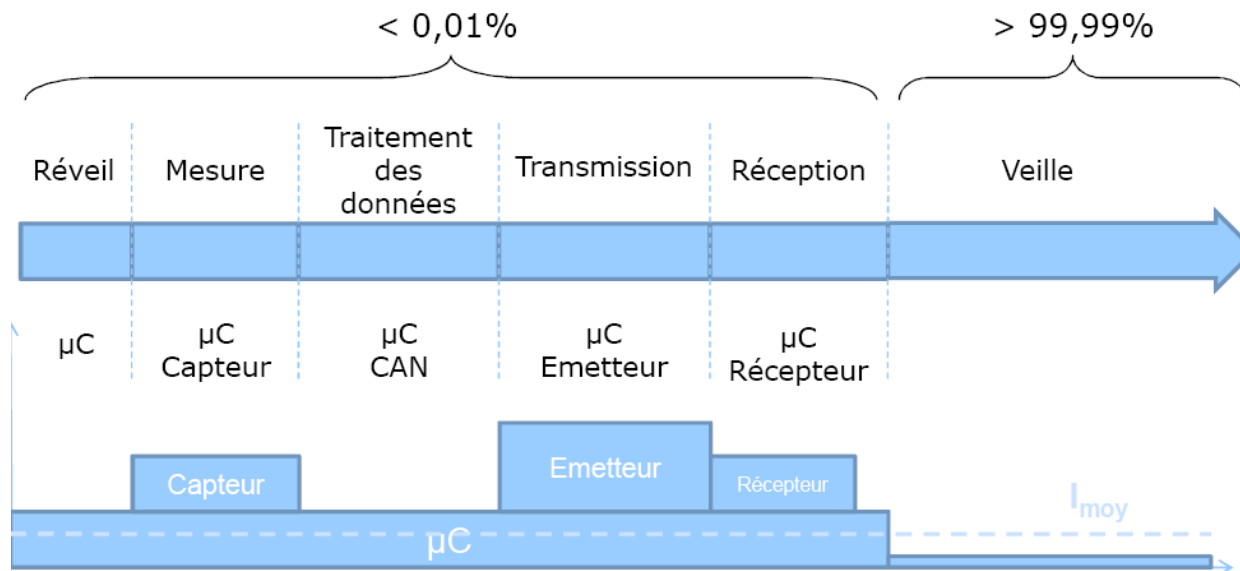
# Les clés technologiques :

## 1. Hardware Low Power miniaturisé

### □ Optimisation des modes de veille

#### □ Attention à la consommation en veille :

- 1  $\mu\text{A}$  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

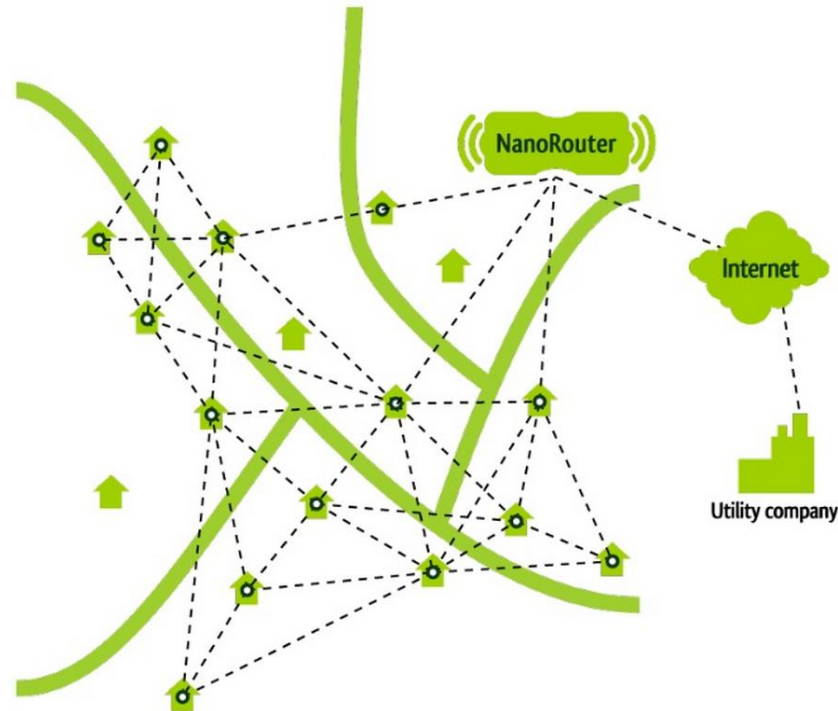
Réseaux de communication IP

# Les clés technologiques :

## 2 – Réseaux de communication IP

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

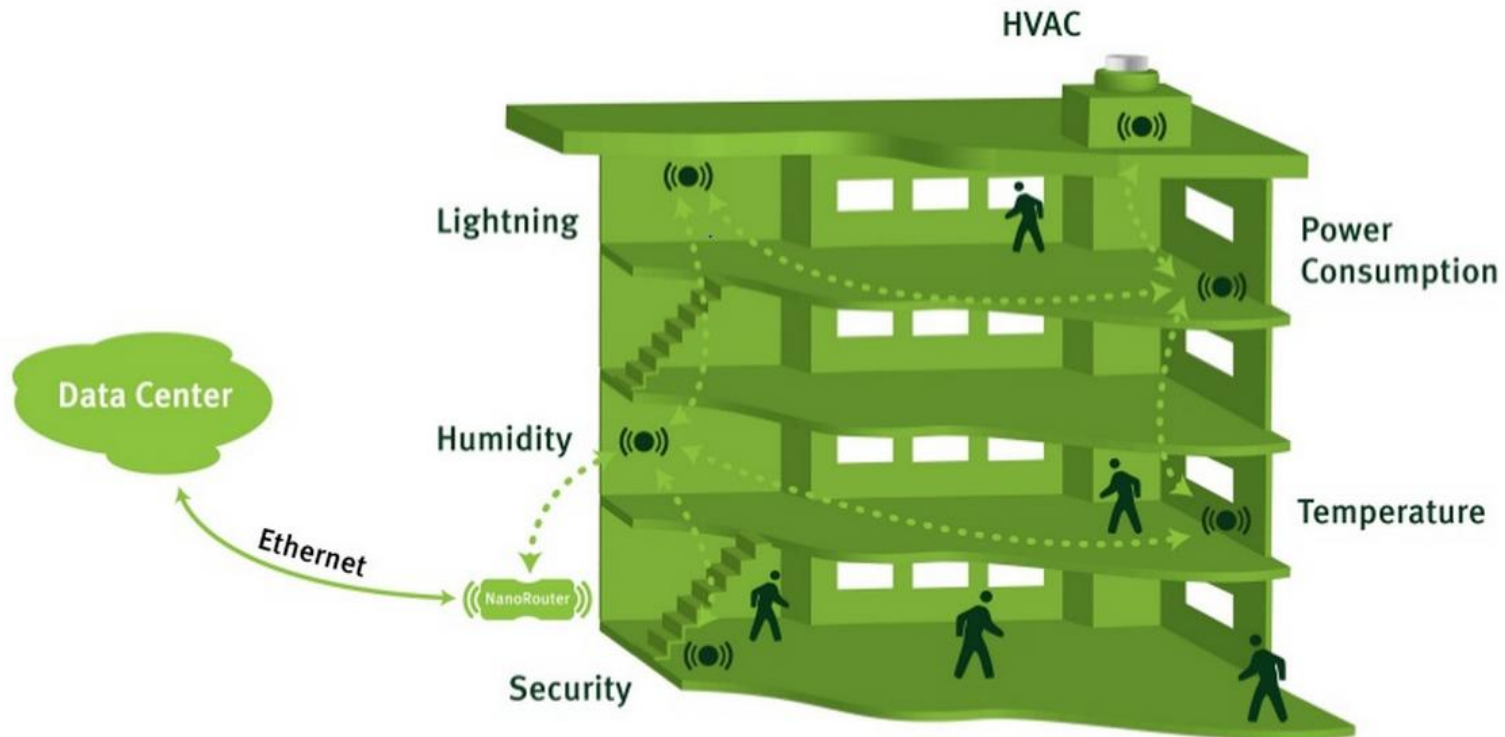
### Smart Energy & Lighting



# 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

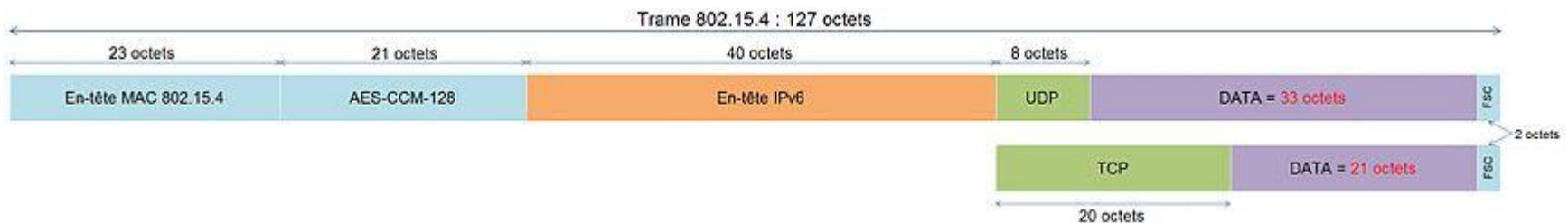
**Besoin de l'IPv6 : 282.000 Milliards d'adresses !**

# 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**

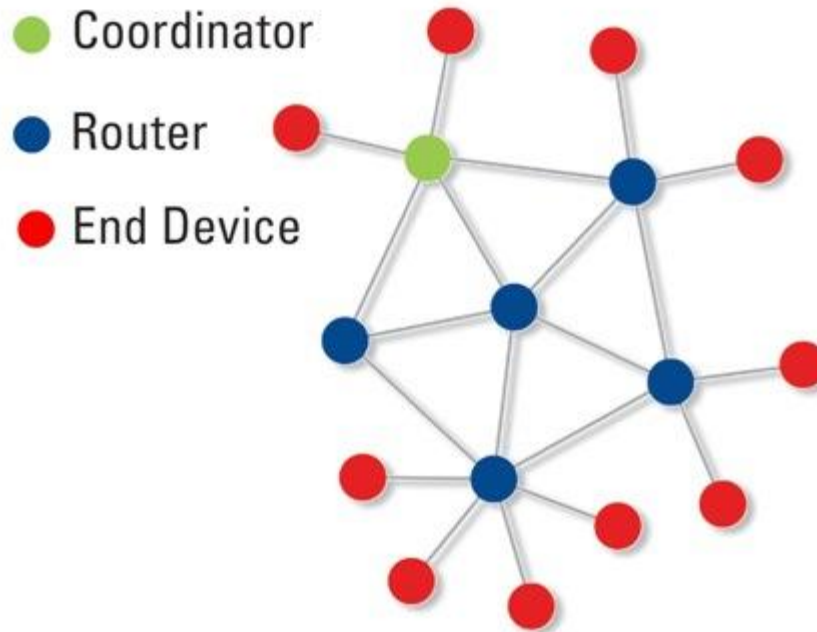


# Les clés technologiques :

## 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

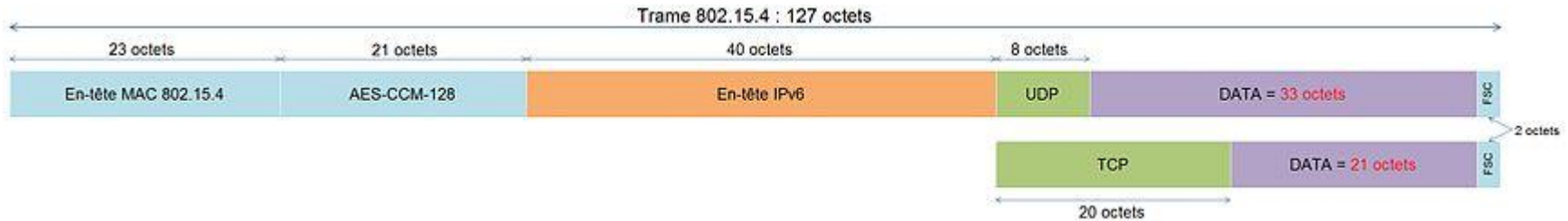
- Couche physique :
  - ▣ IEEE 802.15.4 : Low Rate Wireless Personal Area Network : Zigbee – Bluetooth – BLE...
  - ▣ IEEE 1901-2010 : courants porteurs en ligne - High Speed <500Mbps
- Couche logicielle
  - ▣ IPv6 sur hardware réduit : -> 6LowPAN -> ZigBee IP
  - ▣ Couches applicative REST :
    - CORE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

# Les clés technologiques :

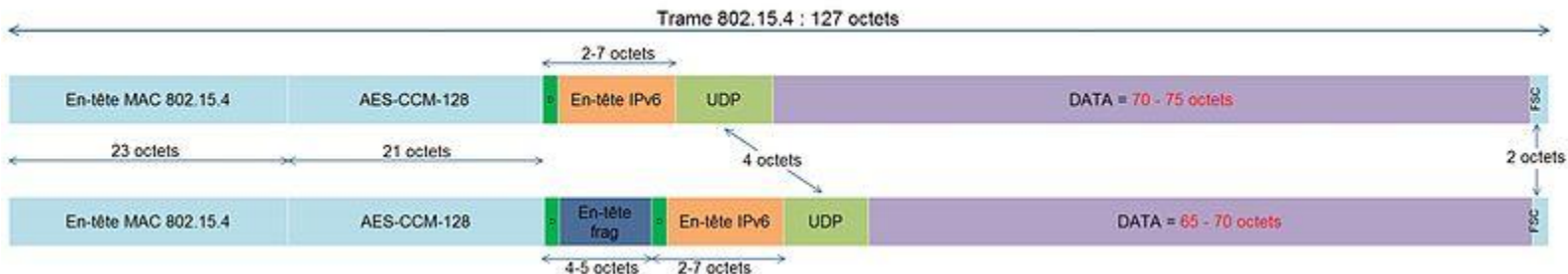
## 2 – Réseaux de communication IP

### 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

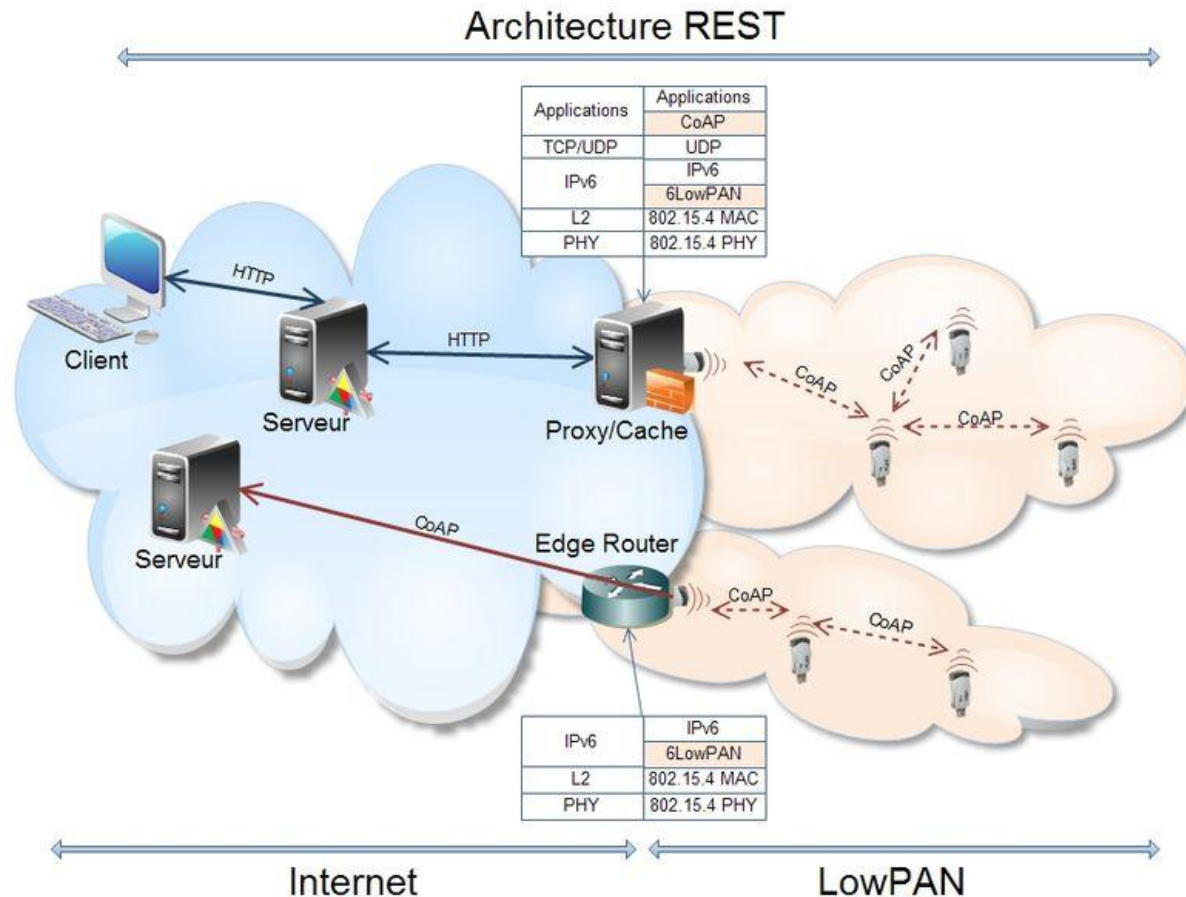
### CORE - CoAP : un REST sur 6LowPAN

- 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)

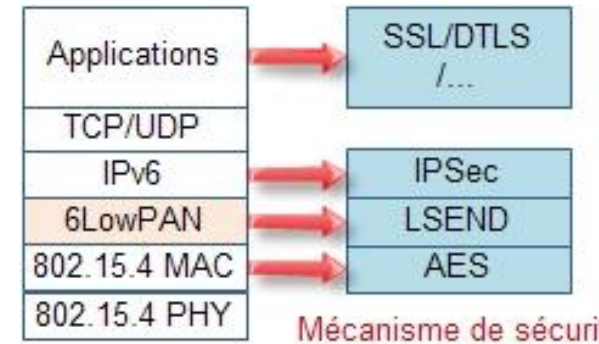
- Cryptage AES (128 bits)

##### ▣ 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 <sup>a</sup> | Energy density <sup>b</sup> |         | Power <sup>c</sup> | E/\$ <sup>e</sup> | Disch. <sup>f</sup>     | Cycles <sup>g</sup> |                          |
|--------------------------------------|----------------------|-----------------------------|---------|--------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|
|                                      | (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 <sup>[7]</sup>    | 20-40%              |                          |
| Nickel-cadmium                       | 1.2                  | 0.14-0.22                   | 40-60   | 50-150             | 150               | 1.25-2.5 <sup>[7]</sup> | 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) <sup>[8]</sup> | 2.7                  | 7.2                         | 2000    | 2000               | 400               |                         |                     | ~100                     |
| Lithium-ion                          | 3.6                  | 0.58                        | 150-250 | 250-360            | 1800              | 2.8-5 <sup>[9]</sup>    | 5-10%               | 400-1200 <sup>[10]</sup> |
| Lithium-ion polymer                  | 3.7                  | 0.47-0.72                   | 130-200 | 300                | 3000+             | 2.8-5.0                 | 5%                  | 500-1000                 |

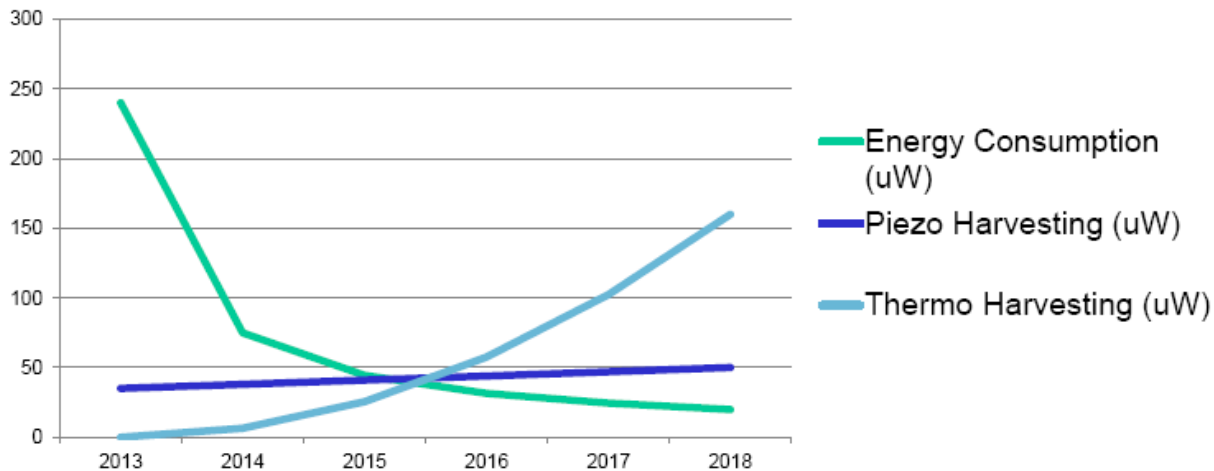
□ Pas d'évolution majeure ces dernières années

**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 <sup>2</sup>  |
| Énergie mécanique | $f = 6,28 \text{ Hz}$ ; $A = 1,245 \text{ m/s}^2$ | qq mW/cm <sup>3</sup>           |
| 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

