

Les Réseaux de capteurs (WSN: Wireless Sensor Networks)



Cours1

Yacine CHALLAL

Hatem BETTAHAR

Abdelmadjid BOUABDALLAH

HeuDiaSyc UMR CNRS 6599

Université de Technologie de Compiègne, FRANCE



PLAN

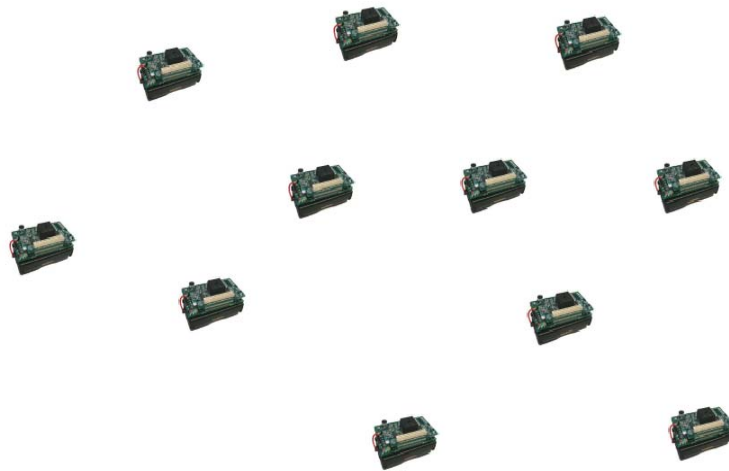


- Qu'est ce qu'un réseau de capteurs?
- Applications
- Caractéristiques et challenges
- Démonstration

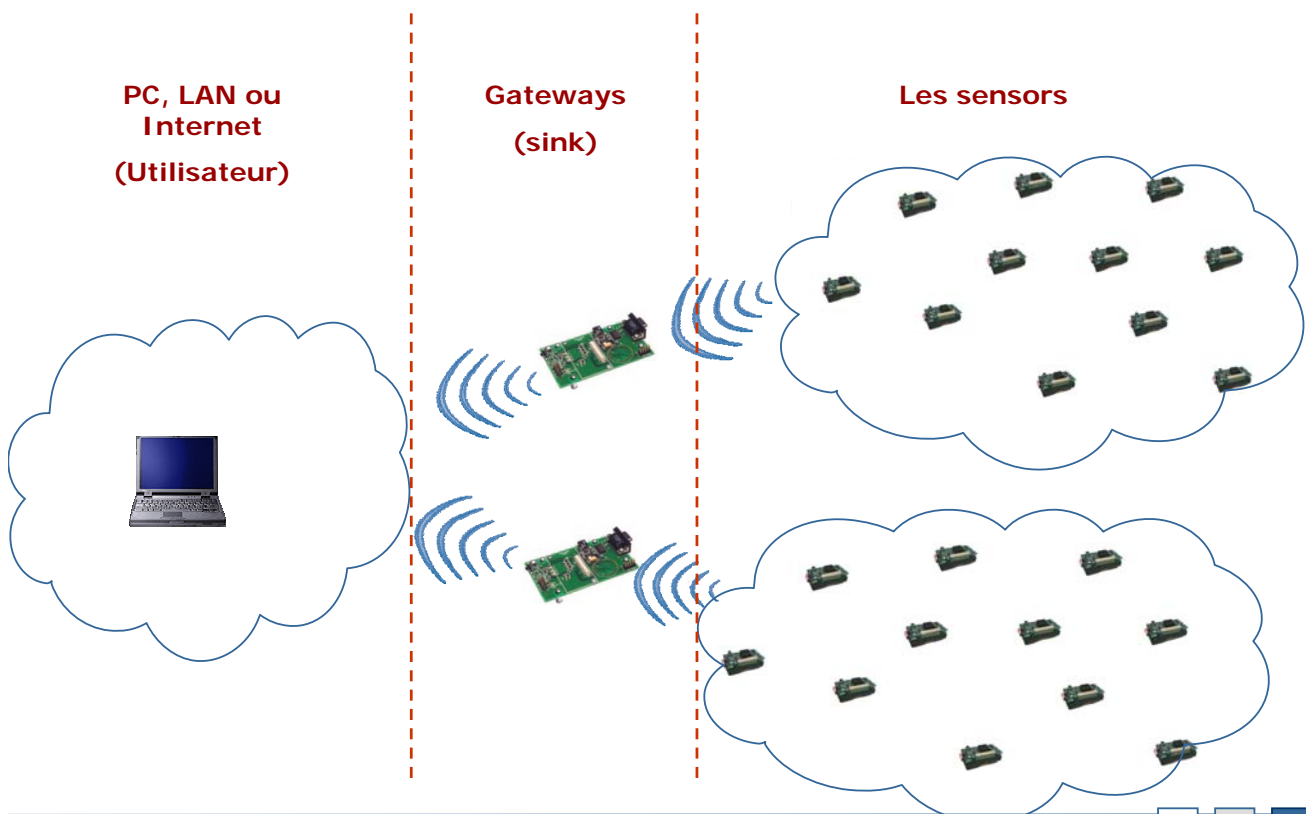


Réseau de capteurs

- WSN (Wireless Sensors Network)
- Réseau de capteurs auto-alimentés dotés de capacités de calcul et de communication sans fils.

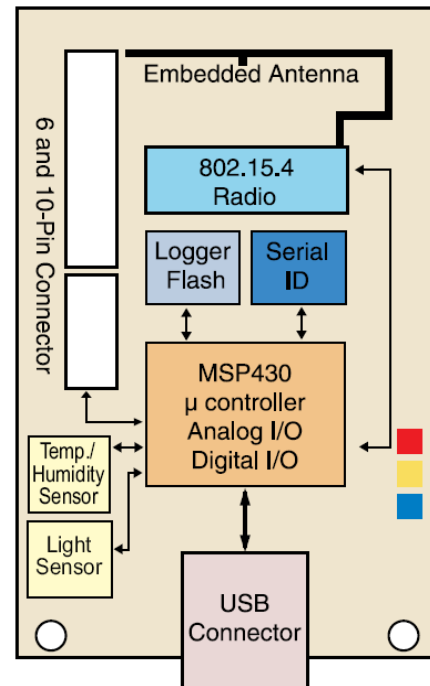


Réseau de capteurs: Architecture

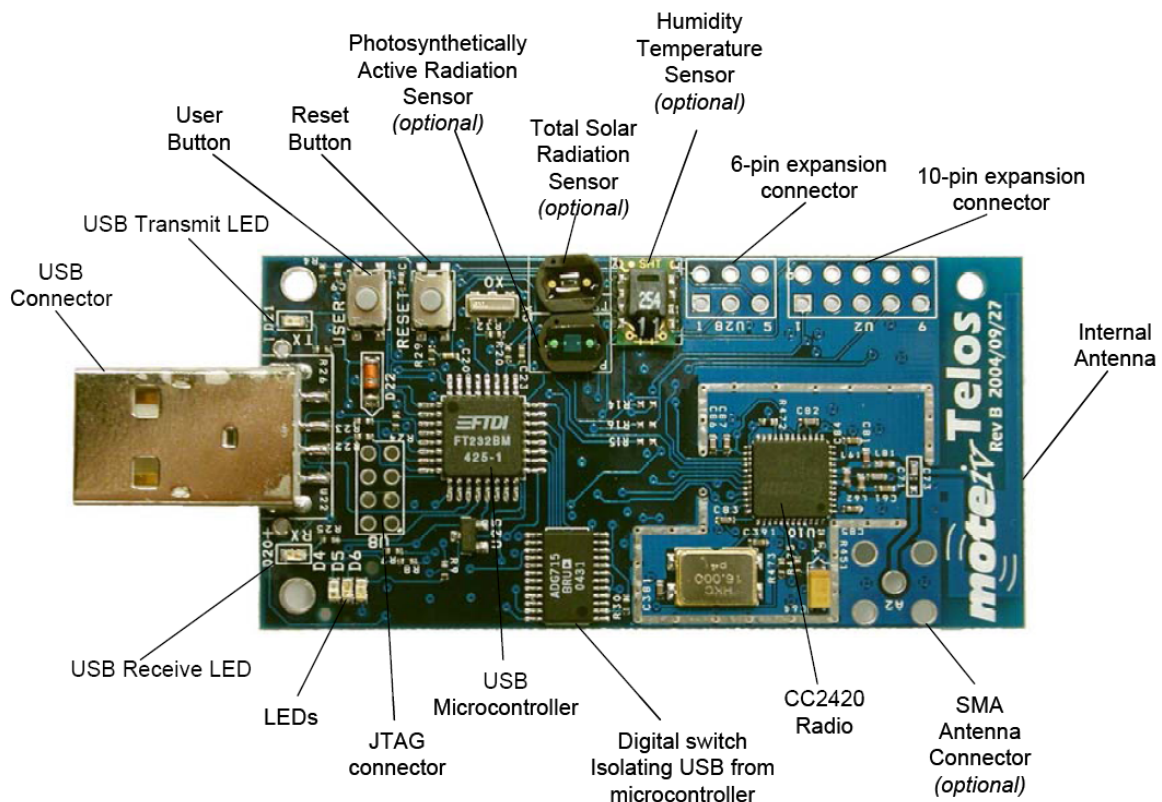


Anatomie d'un sensor: exemple TelosB

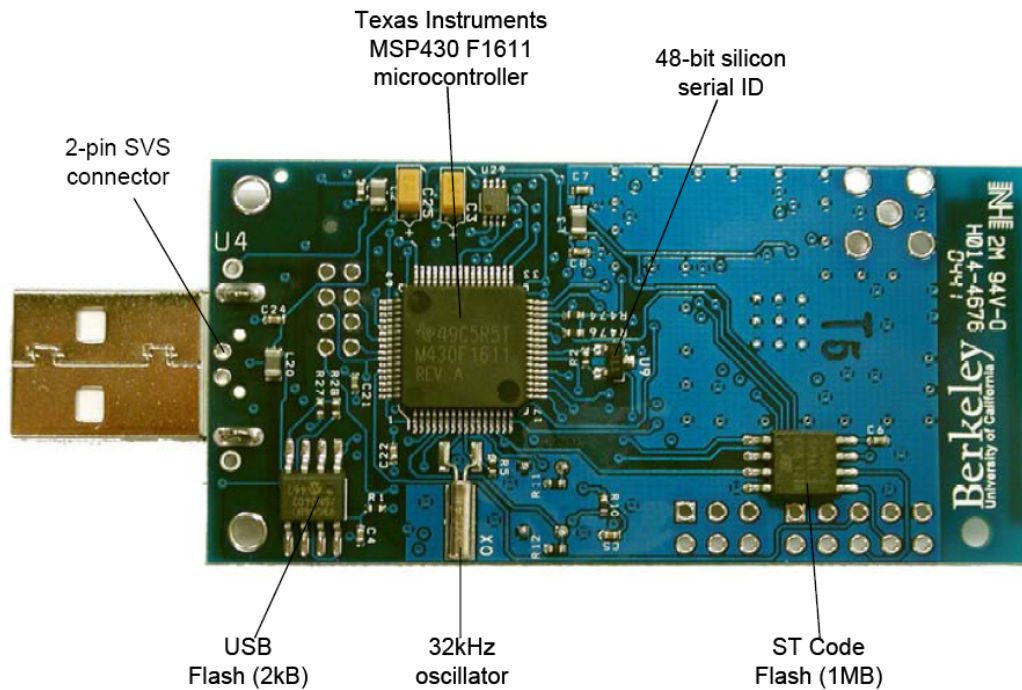
- Processeur
 - TI MSP430
 - 8 MHz
 - 10kB RAM
- Transmission
 - IEEE 802.15.4 (ZigBee)
 - 250 Kbps (Bande 2.4-2.4835 GhZ)
 - Antenne intégrée
- Flash
 - 1 MB
- Sensor
 - Lumière
 - Température
 - Humidité
- Système
 - tinyOS








Anatomie d'un sensor: exemple TelosB










Anatomie d'un sensor: exemple TelosB



Exemples de capteurs (xbow): capteurs





	XM2110	M2110	MPR2400	MPR2600	MPR400
Features					
Frequency Range	2.4GHz ISM Band	2.4GHz ISM Band	2.4GHz ISM Band	2.4GHz ISM Band	868-870; 902-928 MHz
Processor	Atmel ATmega 1281	Atmel ATmega 1281	Atmel ATmega 128L	Atmel ATmega 128L	Atmel ATmega 128L
Radio Transceiver	RF230 Atmel	RF230 Atmel	TI CC2420	TI CC2420	TI CC1000
Serial Flash	Atmel AT45DB41B (512 kB)	Atmel AT45DB41B (512 kB)	Atmel AT45DB41B (512 kB)	Atmel AT45DB41B (512 kB)	Atmel AT45DB41B (512 kB)
RAM	8K bytes	8K bytes	4K bytes	4K bytes	4K bytes

Exemple de capteurs (xbow): capteurs

	MDA300	MDA320	MDA100	MTS300	MTS310	MTS400	MTS420
Features							
Accelerometer (2 Axis)					•	•	•
Actuator Relays	•						
Ambient Light						•	•
Barometric Pressure & Temp.						•	•
Buzzer				•	•		
External Analog Sensor Inputs	• (12-bit)	• (16-bit)	• (10-bit)				
GPS							•
GPIO	•	•	•				
Magnetic Field					•		
Microphone				•	•		
Photo-sensitive Light						•	•
Photoresistor			•	•	•		
Rel Humidity & Temperature	•					•	•
Thermistor			•	•	•		

Exemple de capteurs (Xbow): Gateways

Gateways & Network Interfaces

	MIB510	MIB520	MIB600	SPB400
Features				
Description	Serial Port Programmer	USB Programmer	Ethernet Port Programmer	Stargate, XScale Platform
Mote/Board Connectors	IRIS, MICAz, MICA2 MICA-sensor Boards	IRIS, MICAz, MICA2	IRIS, MICAz, MICA2	IRIS, MICAz, MICA2 PCMCIA, USB, RS-232, Compact Flash, RS-232, Ethernet
Programming Port	Serial (RS-232)	USB	Ethernet	With host PC: RS-232 or Ethernet (using ssh)
Data Port	Serial (RS-232)	USB	Ethernet	Various

Comparaison de capteurs

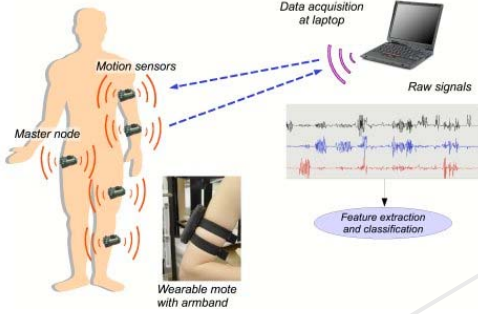
	Btnode 3	mica2	mica2dot	micaz	telos A	tmote sky	EYES
Manufacturer	Art of Technology	Crossbow			Imote iv		Univ. of Twente
Microcontroller	Atmel Atmega 128L				Texas Instruments MSP430		
Clock frequency	7.37 Mhz		4 MHz	7.37 MHz	8 MHz		5 MHz
RAM (KB)	64 + 180	4	4	4	2	10	2
ROM (KB)	128	128	128	128	60	48	60
Storage (KB)	4	512	512	512	256	1024	4
Radio	Chipcon CC1000 315/433/868/916 MHz 38.4 Kbauds			Chipcon CC2420 2.4 GHz 250Kbps IEEE 802.15.4		RFM TR1001868 MHz 57.6 Kbps	
Max Range (m)	150-300			75-100			
Power	2 AA batteries		Coin cell	2 AA Batteries			
PC connector	Through PC-connected programming board				USB		Serial Port
OS	Nut/OS	TinyOS					PEEROS
Transducers	On acquisition board				On board		On acquisition board
Extras	+ Bluetooth radio						

Applications

Applications



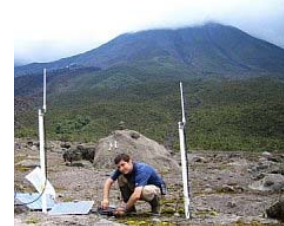
<http://www.secs.harvard.edu/~mdw/proj/codeblue>



Monitoring médical



Tracking militaire



Surveillance dans les environnements hostiles



Agriculture de précision

Contrôle de l'environnement

- 32 capteurs déployés sur l'île, relaient des données, température, pression, humidité, lumière..., à un dispositif central
- But: surveillance de l'environnement des oiseaux marins
- Les données sont accessibles à partir d'Internet en utilisant un lien satellitaire



Great Duck Island

Contrôle de l'environnement

- Des chaînes équipées de GPS sont attachés aux Zebras

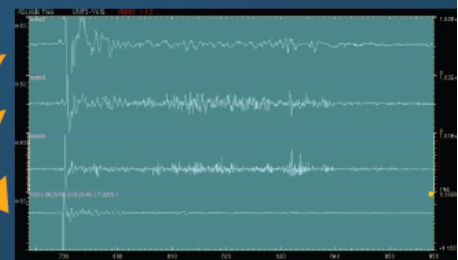
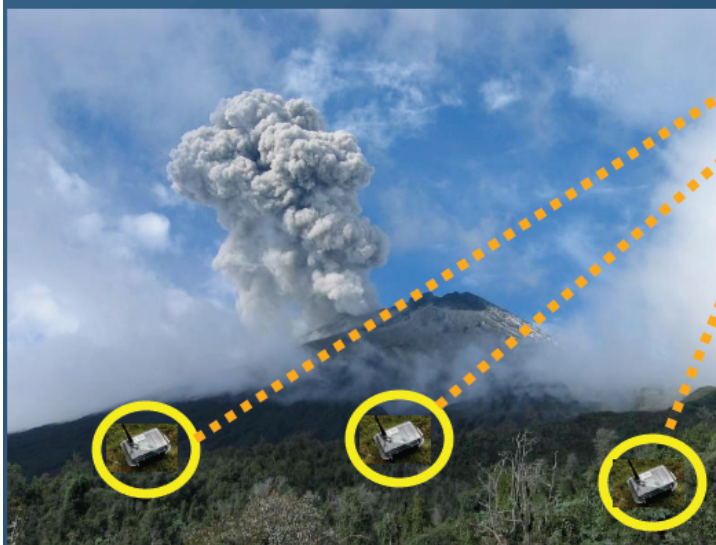
Zebranet: a WSN to study the behavior of zebras



Princeton University

Contrôle de l'environnement

Volcano Monitoring in Ecuador



Phenomena whose monitoring discourages human presence are best observed with WSNs.

Harvard, Univ. of New Hampshire, Univ. of NC

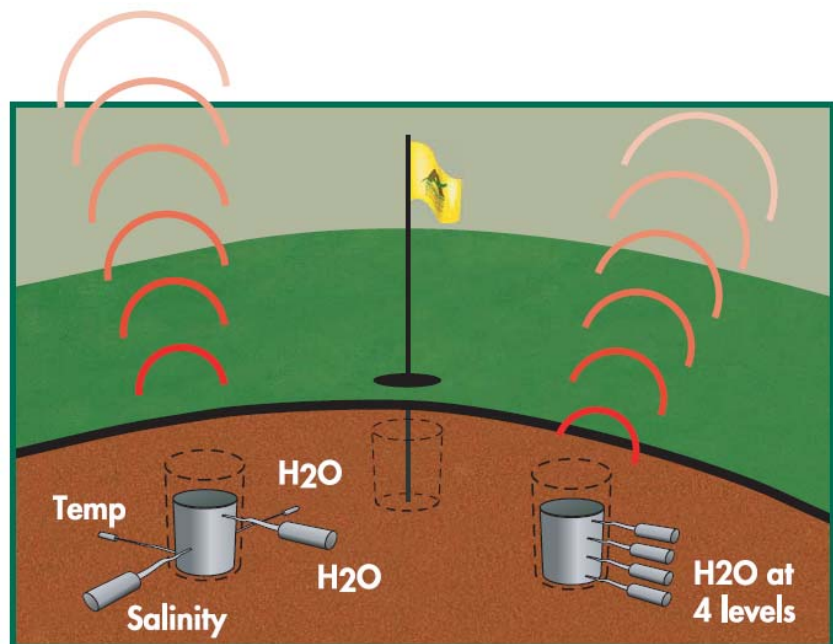
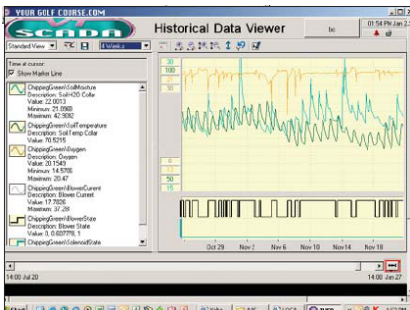
Contrôle de l'agriculture

Wireless Vineyard



Contrôle de l'agriculture

■ Agriculture de précision: Underground WSN



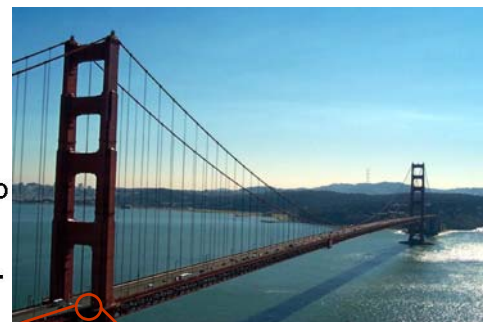
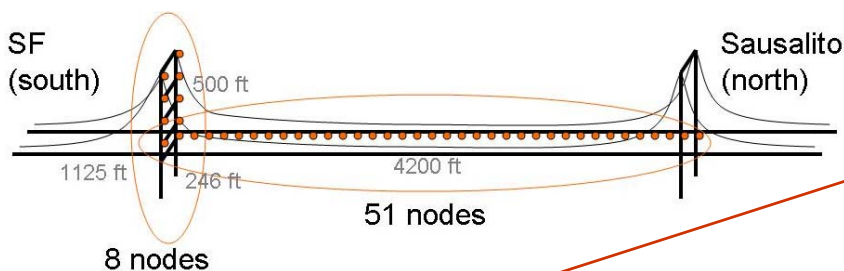
Surveillance médicale

- Intel a déployé un réseau de 130 sensors pour surveiller l'activité de personnes âgées dans une maison de repos
- Projet: (wireless Sensor Networks for Medical Care), Havard Univ.



Contrôle des structures

- Golden Gate Bridge
- Berkeley Univ.

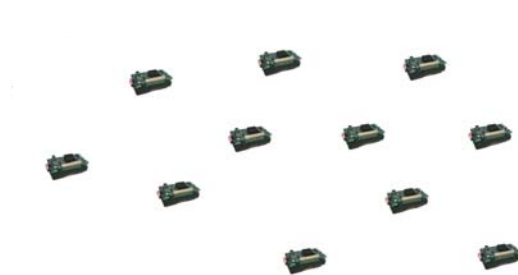


Caractéristiques des WSN

- Un grand nombre de nœuds
 - Scalabilité (zigbee → +65 000 sensors)
- Accès sans fil
 - Les interférences sont inévitables (Liens radios perturbés dans un hôpital)
- Ressources limitées
 - Calcul (4MHz), énergie (Piles AAA), mémoire(512-1MB)
- Gestion d'énergie
 - Alimentation par batterie
 - Personne n'ira changer les batteries
 - Différents modes de veilles
 - Exemple
 - Idle Mode – 6 mW
 - CPU OFF, all peripherals ON
 - CPU "woken up" by interrupts
 - Power Down Mode – 75 μ W
 - CPU and most peripherals OFF
 - External Interrupts, 2 Wire Interface, Watchdog ON

Caractéristiques des WSN

- Mode de déploiement
 - Déploiement dans la nature
 - Présence d'intrus menant des attaques de sécurité
 - Capture des noeuds
 - Posés à un endroit précis
 - Topologie pré-configurée
 - Dispersés aléatoirement
 - Algorithme d'auto-organisation



Challenges

- Réduire la consommation d'énergie
 - Calcul, stockage, communication

- Adapté les mécanisme de sécurité au caractéristiques de WSN
 - Absence d'un tiers de confiance
 - Stockage des clés
 - Puissance de calcul très limitée

- Assurer la fiabilité et la disponibilité du réseau WSN
 - Intervention difficile une fois le réseau est déployé

- Gestion de réseau
 - Calcul distribué , agrégation,
 - Routage, Auto-ganisation, localisation

Pile protocolaire (Protocol Stack)

Pile protocolaire

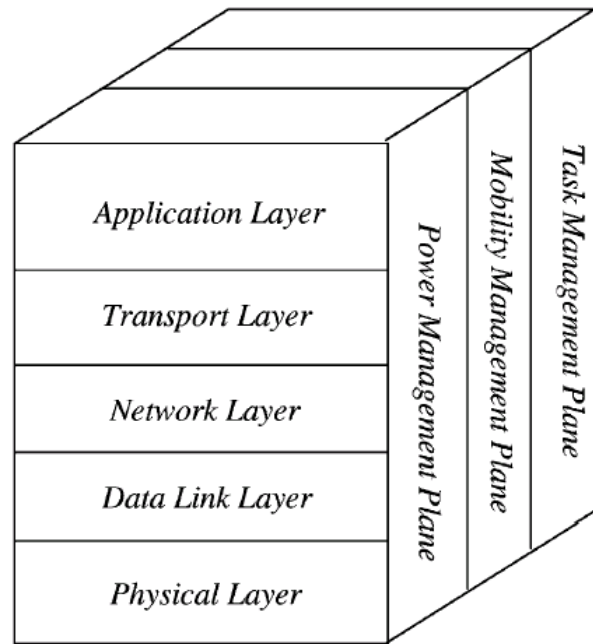
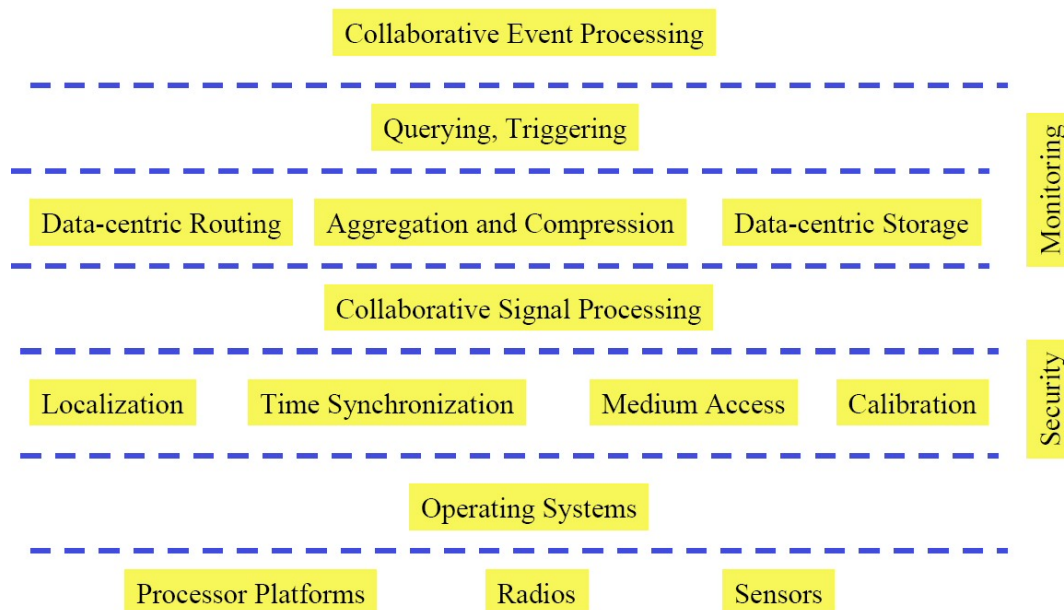


Fig. 3. The sensor networks protocol stack.

Pile Protocolaire

- Modèle centré sur les données (data-centric model)



Couche Physique

- IEEE802.15.4 (couches 1 et 2):
 - Three bands, 27 channels specified
 - 2.4 GHz: 16 channels, 250 kbps
 - 868.3 MHz : 1 channel, 20 kbps
 - 902-928 MHz: 10 channels, 40 kbps

- Rôle:
 - Sélection du canal
 - Génération et modulation du signal radio
 - Estimation de la qualité de liens (signal)
 - Estimation du niveau d'énergie
 - Radio on/off

Couche Liaison

- MAC (Medium Access Control)
 - Établissement des liaisons / topologie
 - Gère l'accès et le partage du canal : CSMA/CA
 - Détection et réception des trames de données.

- Correction des erreurs de transmission
 - FEC (forward error correction)

- Méthode de conservation d'énergie
 - Différents niveaux de veille (sleep mode)
 - Compromis entre la consommation et la latence d'activation
 - Alternance de mode active \leftrightarrow mode veille
 - Variation de TDMA (Time division multiple access)
 - Petite trames
 - Agrégation

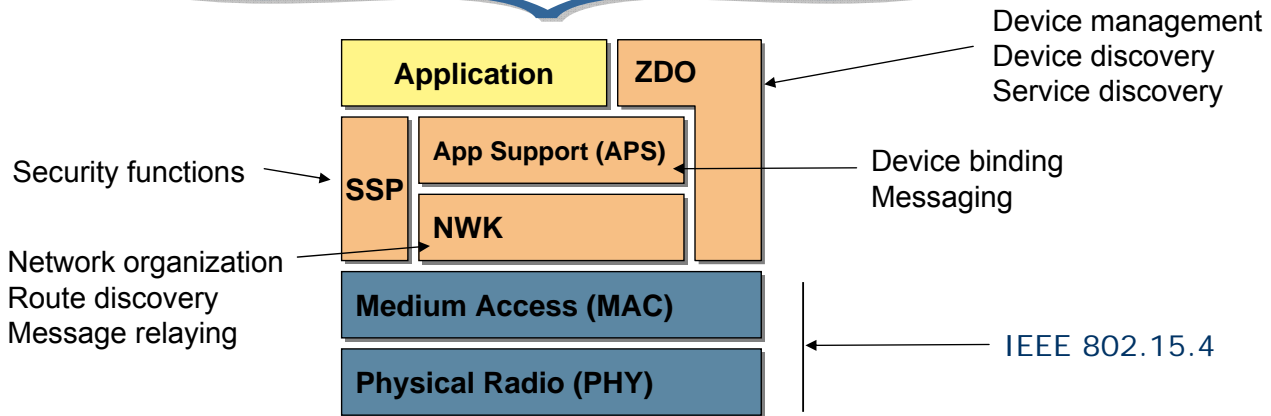
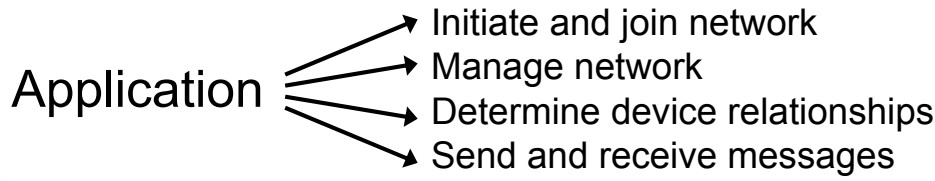
Zigbee et IEEE 802.15.4

Zigbee et IEEE 802.15.4



- IEEE 802.15.4 (couches 1 et 2):
 - CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with collision avoidance)
 - Three bands, 27 channels specified
 - 2.4 GHz: 16 channels, 250 kbps
 - 868.3 MHz : 1 channel, 20 kbps
 - 902-928 MHz: 10 channels, 40 kbps
- Destiné aux environnements:
 - Faible consommation d'énergie, sensors, remote monitoring, équipements électroniques portables

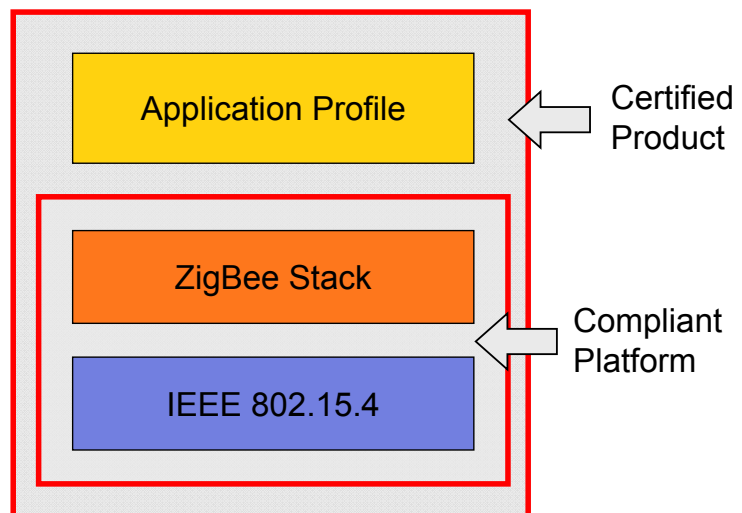
Protocole	Zigbee	Bluetooth	Wi-Fi
IEEE	802.15.4	802.15.1	802.11a/b/g
Besoins mémoire	4-32 Kb	250 Kb +	1 Mb +
Autonomie avec pile	Années	Jours	Heures
Nombre de nœuds	65 000+	7	32
Vitesse de transfert	250 Kb/s	1 Mb/s	11-54 et + Mb/s
Portée	100 m	10-100 m	300 m



ZigBee Compliant Platform [ZCP]

Compliant Platform

- Platform certification - ensures all parts of the stack other than the application are compliant with the ZigBee Standard
- Allows Network interoperability but does not imply interoperability at the application layer
- There are currently 30 Compliant Platforms to choose from



Certified Product: Application Profiles

Application Profiles

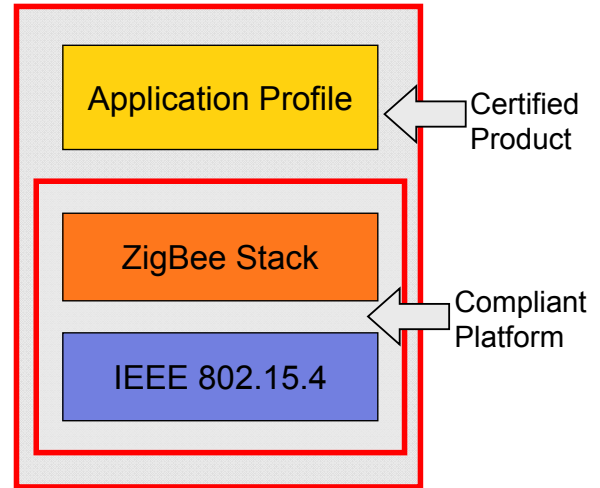
- Application profiles define what messages are sent over the air for a given application
- Devices with the same application profiles interoperate end to end
- ZigBee publishes a set of public profiles, but vendors may create manufacturer specific ones as well

Public Profiles

- Guarantees interoperability between products all running the same public application profile
- Product vendors may add additional features to the public profiles
- Allows product vendor to use ZigBee language and logos on their product

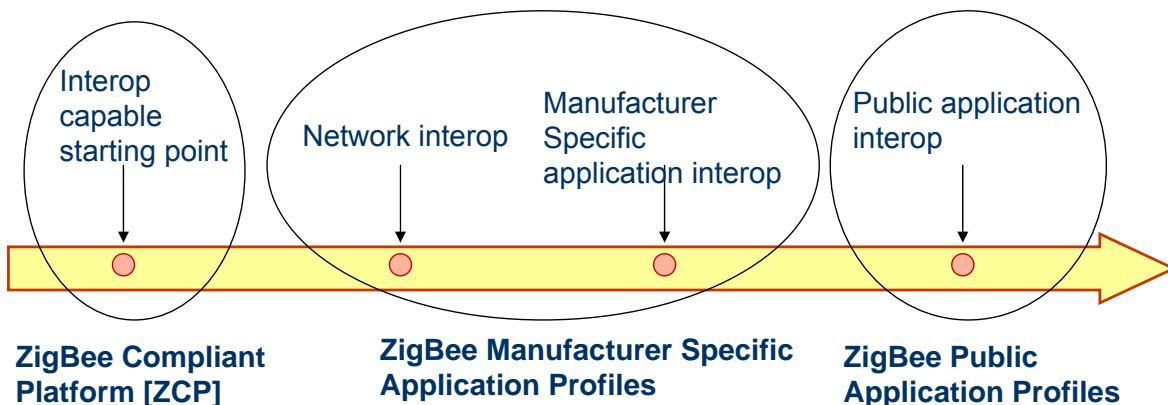
Manufacturer Specific Profiles

- Allows a vendor to build specialized products with a ZigBee Compliant Platform
- Certification testing ensures their product does not harm other ZigBee networks
- Manufacturer specific applications are not intended to interoperate at the application layer
- Allows product vendor to use ZigBee language and logos on their product



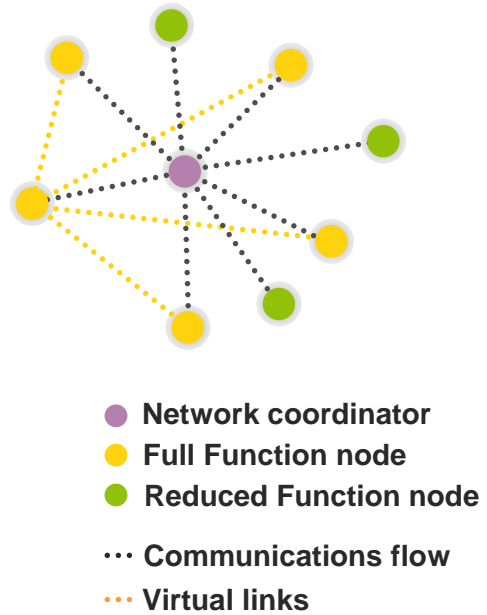
Interopérabilité

- Devices built on ZigBee interoperate on different levels
- Wide spectrum of interoperability choices
- It's a designer choice on level of vendor interoperability to support



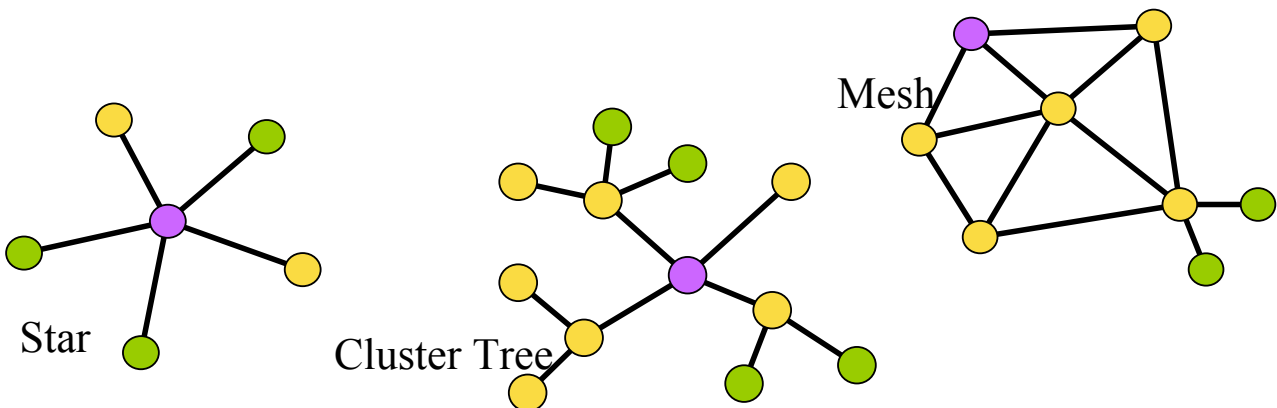
Caractéristiques d'un réseau Zigbee

- 65,536 network (client) nodes
- 27 channels over 3 bands
- 250Kbps data rate
- Optimized for timing-critical applications and power management
- Full Mesh Networking Support



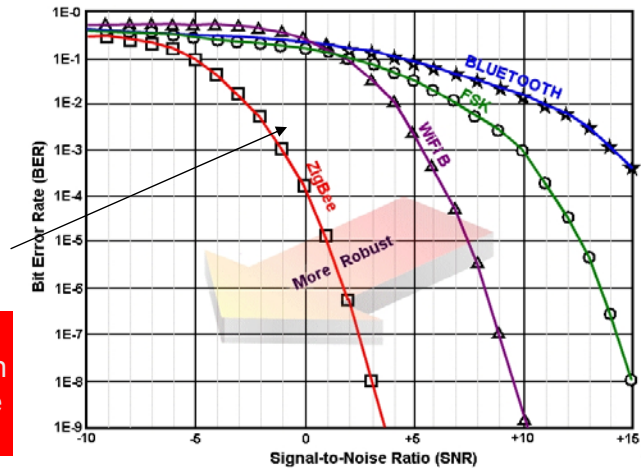
Topologies d'un réseau Zigbee

- ZigBee Coordinator (ZC)
 - Un par réseau Zigbee.
 - Initialise et gère le réseau ZigBee (channel, ID, informations relatives aux nœuds, ...).
- ZigBee Router (ZR)
 - Participe au routage Multihop de messages.
 - Sert à élargir la portée du réseau en retransmettant les informations d'un bout à l'autre
- ZigBee End Device (ZED)
 - Ne fait pas de routage.
 - Nœud de fin de réseau, généralement les capteurs ou actionneurs



Caractéristiques Radio

- Zigbee est robuste dans les milieux perturbés



ZigBee technology relies upon IEEE 802.15.4, which has excellent performance in low SNR environments

Frequency Band	License Required?	Geographic Region	Data Rate	Channel Number(s)
868.3 MHz	No	Europe	20kbps	0
902-928 MHz	No	Americas	40kbps	1-10
2405-2480 MHz	No	Worldwide	250kbps	11-26

Stratégies de Routage

Stratégies de Routage

- Power efficiency
 - Choisir les chemins suivant la puissance des nœuds
- Data centric
 - Diffusion des données disponibles/demandées
 - Dans beaucoup d'applications recevoir les mesures est plus important que de connaître l'ID de nœud.
- Location awareness
 - Formation des clusters
 - Localisation absolue (GPS), ou relative (voisinage)
- Data aggregation
 - Redondance des mesures
 - Réduire la quantité des données acheminées

Al-Karaki, J.N. Kamal, A.E., "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey" , IEEE Wireless Communications, issue 6, pp. 6-28, Dec. 2004

Stratégies de Routage

- Stratégies de Routage: Power efficiency

- Node T is the source node that senses the phenomena.
- PA is the available power
- α is the energy required to transmit a data packet through the related link.

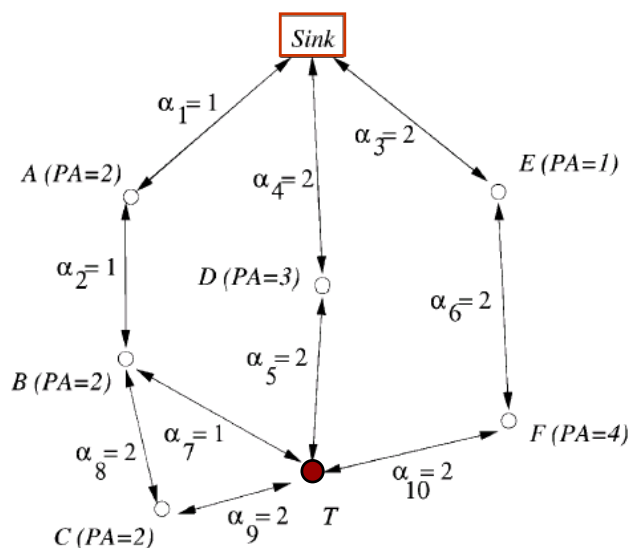
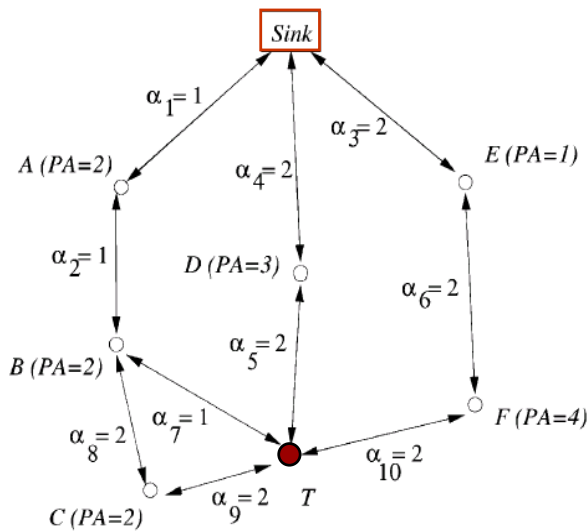


Fig. 4. The power efficiency of the routes.

Stratégies de Routage

Stratégies de Routage: Power efficiency



- Route 1: Sink-A-B-T, total PA=4, total $\alpha = 3$,
- Route 2: Sink-A-B-C-T, total PA=6, total $\alpha = 6$,
- Route 3: Sink-D-T, total PA=3, total $\alpha = 4$,
- Route 4: Sink-E-F-T, total PA=5, total $\alpha = 6$,

- Maximum available power (PA) route: **Route 2**
- Minimum energy (ME) route: **Route 1**
- Minimum hop (MH) route: **Route 3**
- Maximum minimum PA node route: **Route 3**

Fig. 4. The power efficiency of the routes.

Stratégies de Routage

Data centric

- Le sink diffuse des requêtes
- Les sensors diffusent les mesures
- Exemple d'attribut:
 - Requête (interest) : qui ont la [Température > 45°]
 - Réponse: seuls les sensors vérifiant cette condition répondent

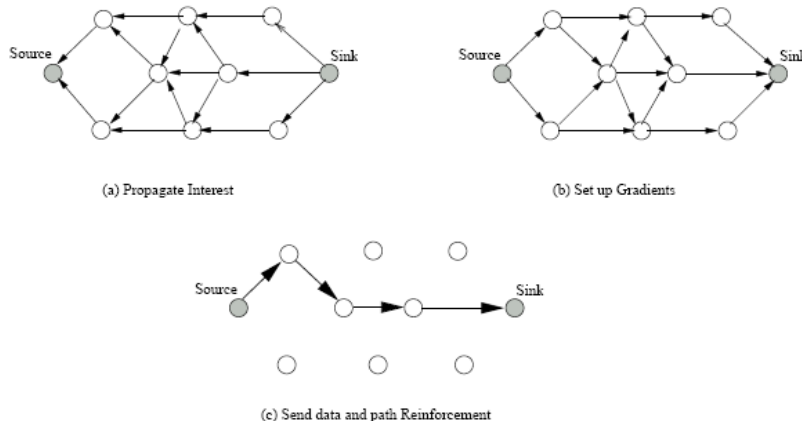


Figure 3: An example of interest diffusion in sensor network

Stratégies de Routage

■ Location awareness

- Localisation absolue (GPS)
 - Nécessite d'un module de réception GPS: coûteux
- Localisation relative
 - Découverte de voisinage
 - Basée sur la puissance des signaux reçus
- Formation des clusters
 - Pour l'agrégation de données
 - Pour la synchronisation de mise en veille:
 - Un sensors (leader) reste toujours actif
 - Se charge de l'activation des autre

Al-Karaki, J.N. Kamal, A.E., "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey" ,
IEEE Wireless Communications, issue 6, pp. 6-28, Dec. 2004

Agrégation de données

Comment économiser l'énergie?

Pourquoi l'agrégation de données

- Le coût (**consommation de l'énergie**) de transmission des données est jusqu'à **70%** par rapport au coût général dans un capteur
- Les réseaux de capteurs sont **denses**, ce qui implique que deux nœuds voisins peuvent capter la **même information**

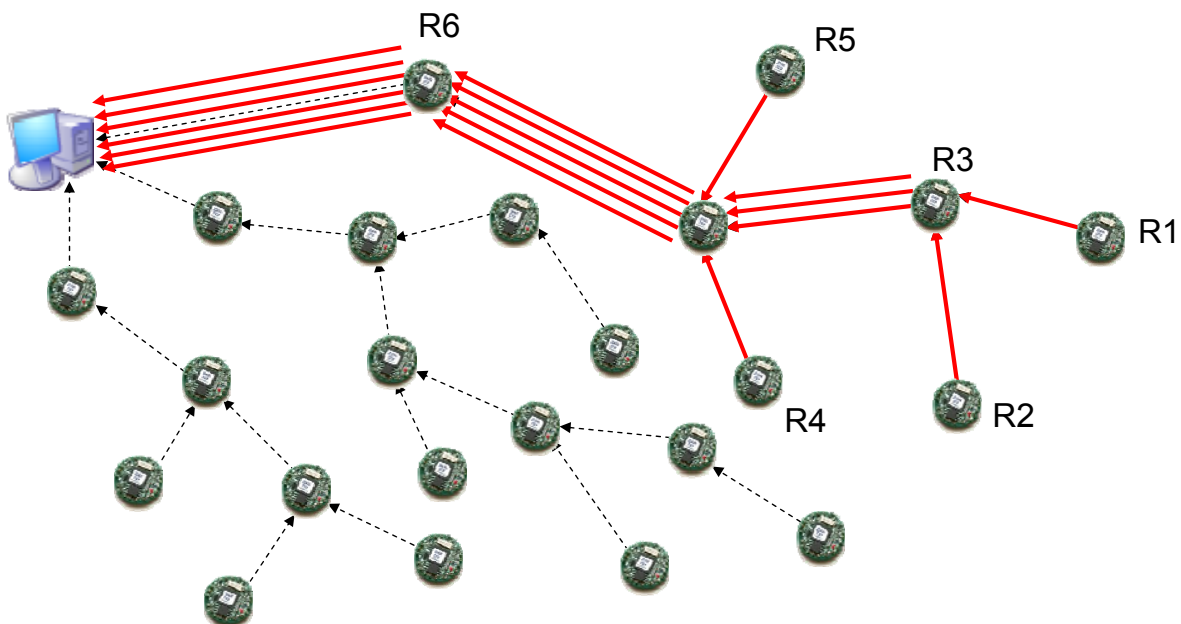


Utilisation de mécanisme d'agrégation

- Remplacer les lectures individuelles par une vue collaborative sur une zone
- Utilisation de fonctions d'agrégat :
 - MAX
 - MIN
 - MOYENNE
- Moins de messages émis
- Économie d'énergie

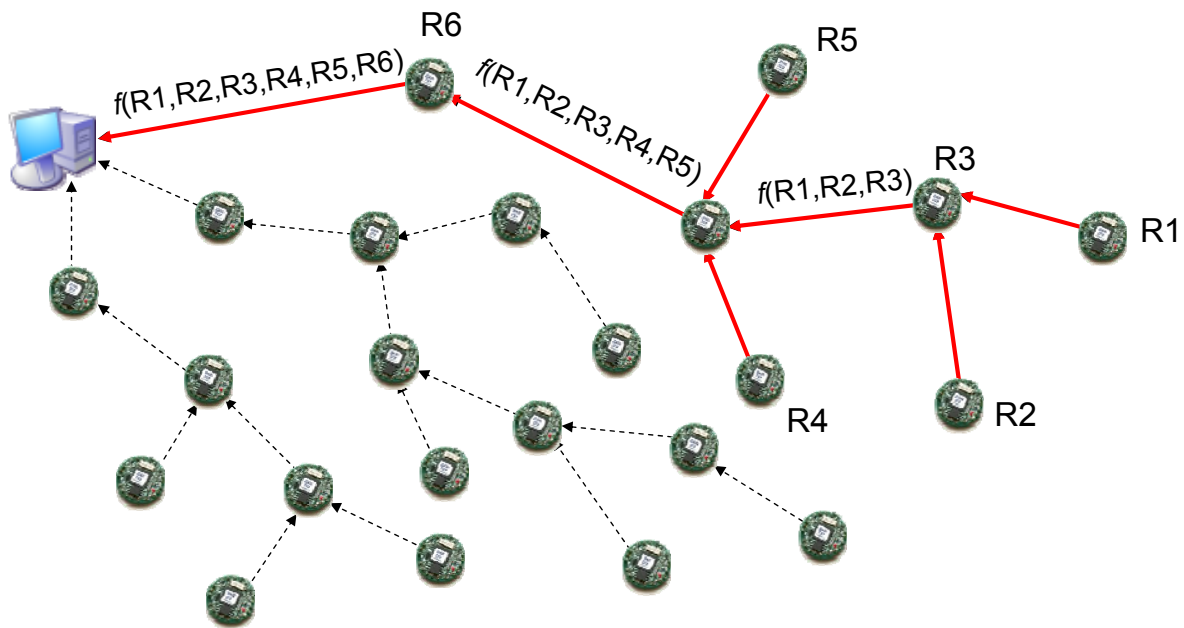
l'agrégation de données

- Exemple: sans agrégation → 18 messages

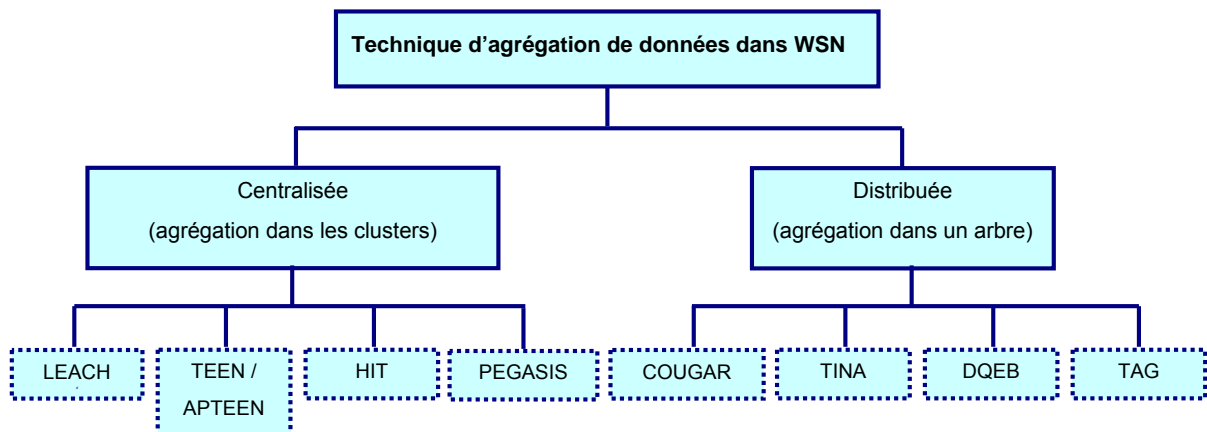


L'agrégation de données

- Exemple: Avec agrégation → 18 messages

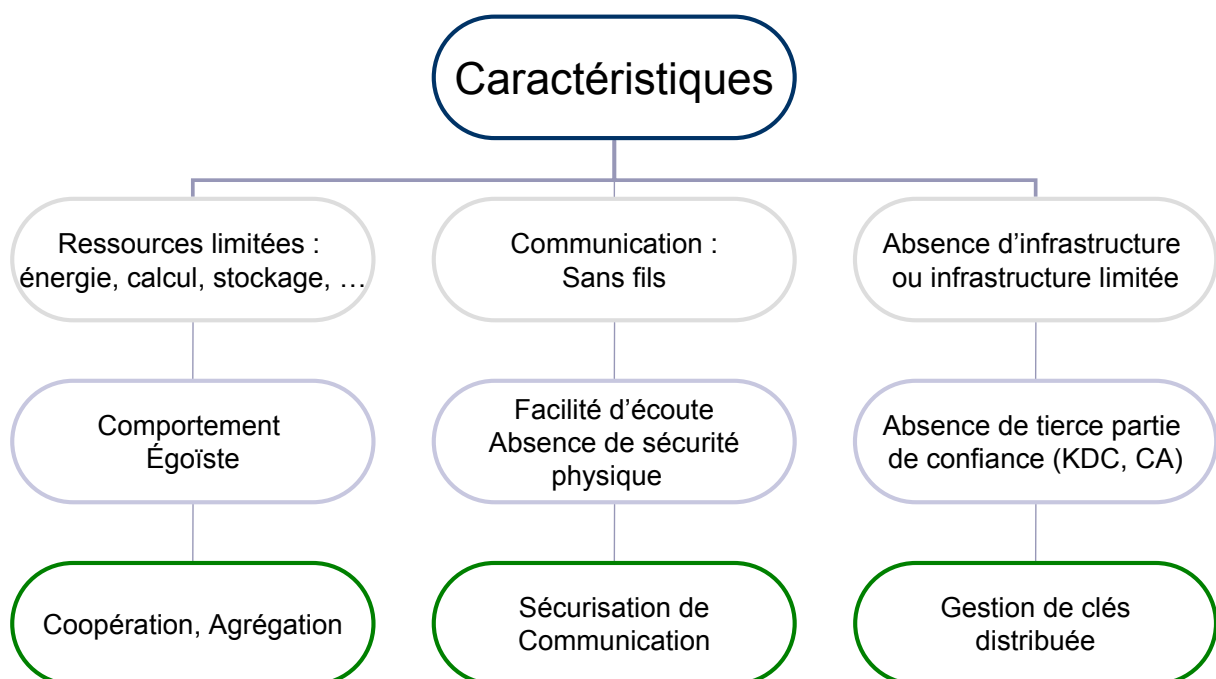


Techniques d'agrégation



Sécurité dans les WSN

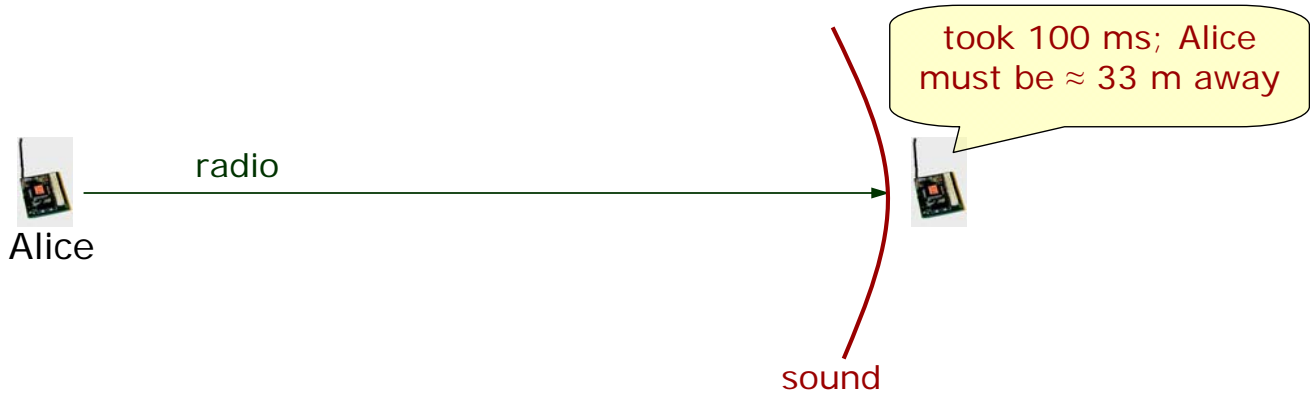
Besoins en sécurité



1. Coopération et Agrégation

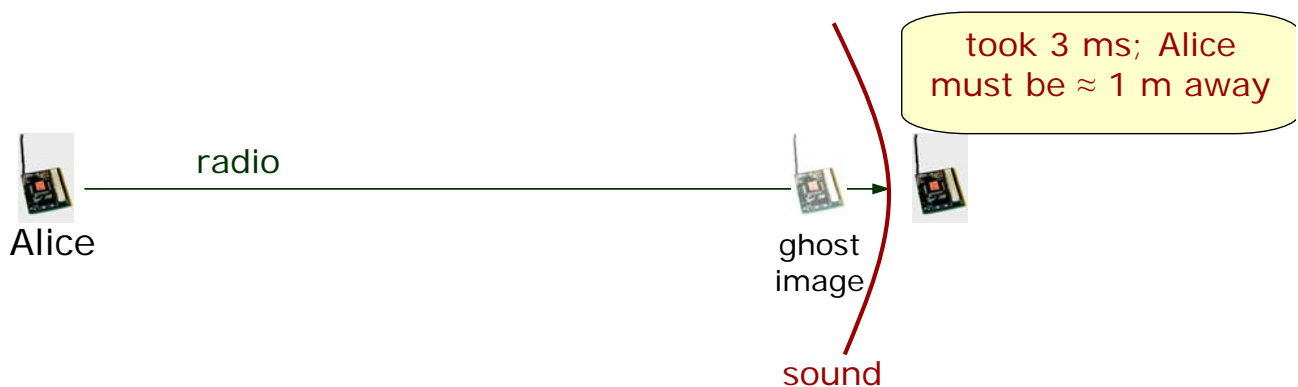
■ Exemple1:

- How far away is Alice? Have her transmit & chirp; measure elapsed time



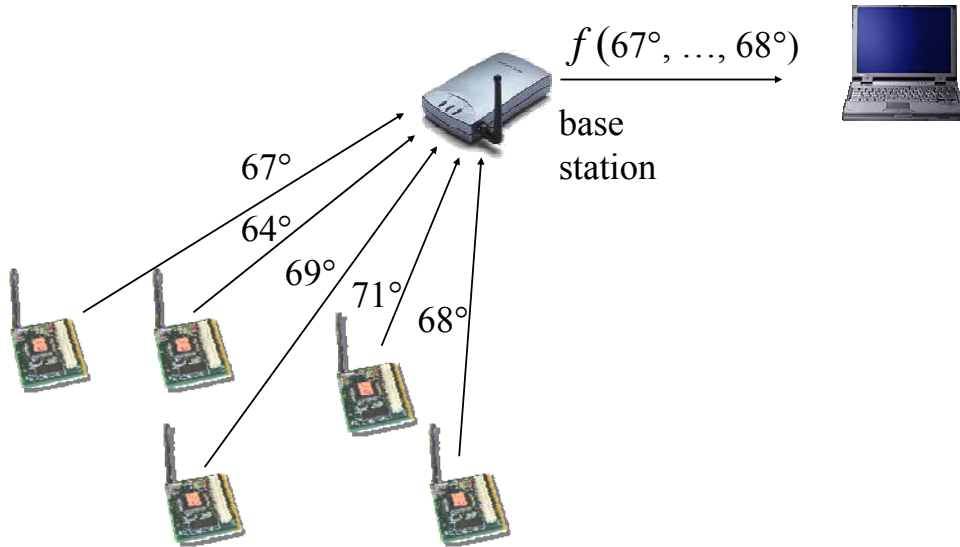
1. Coopération et Agrégation

- Attaque: Alice is malicious; she wants to seem nearby
 - Chirp in advance, wait a little, then transmit



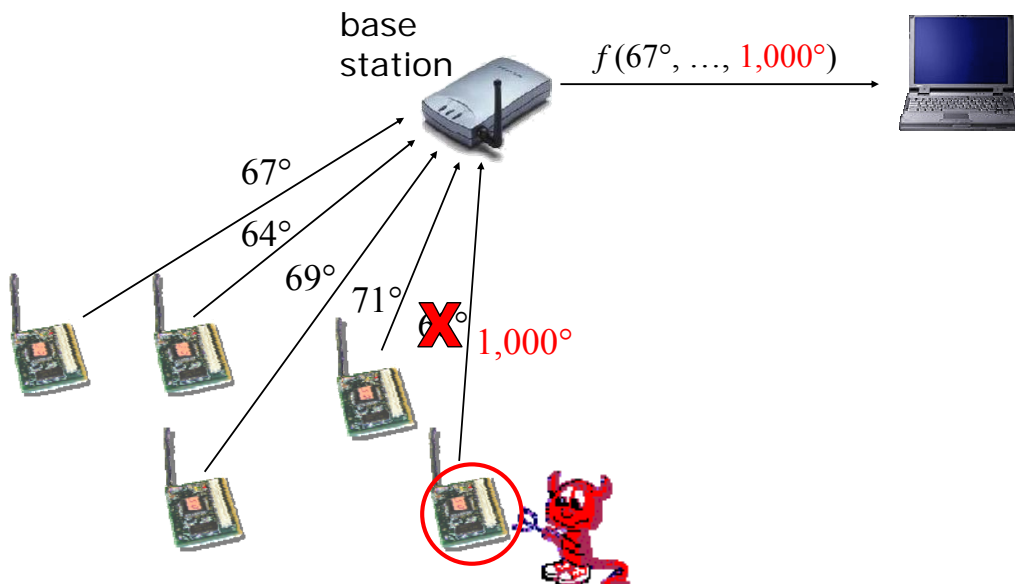
1. Coopération et Agrégation

- Exemple2: Calculer la température moyenne



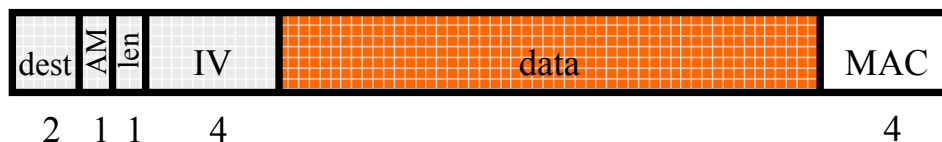
1. Coopération et Agrégation

- Attaque: Calculer la température moyenne



2. Sécurisation de communication

- Exemple **TinySec**:
 - Assure:
 - Confidentiality
 - Access control
 - Integrity
 - Couche Liaison: transparent aux applications



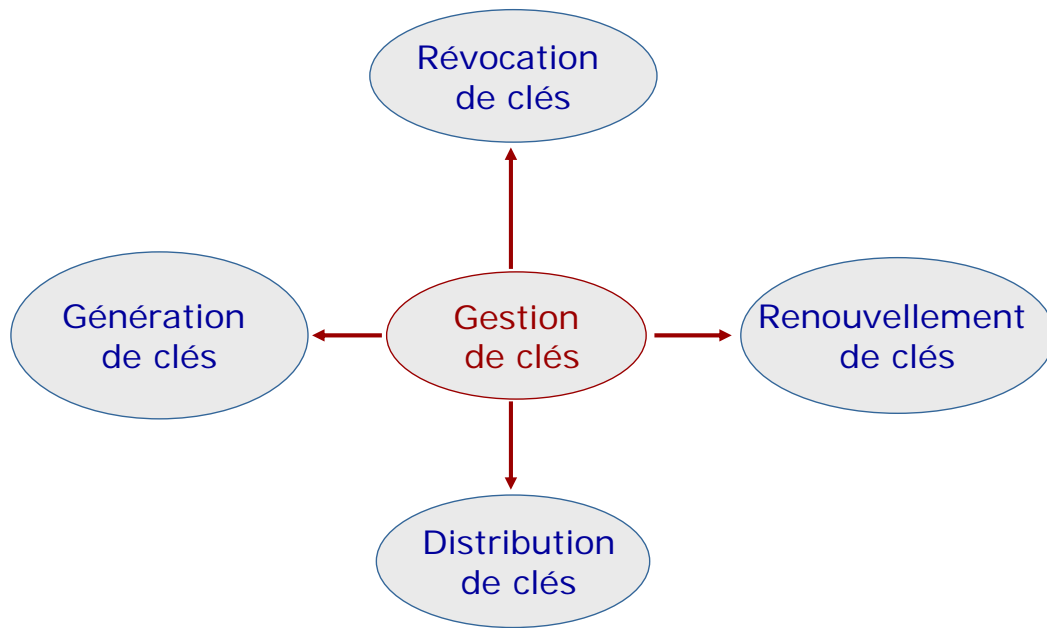
- Encrypted
- MAC'ed

Key Differences	
No CRC	-2 bytes
No group ID	-1 bytes
MAC	+4 bytes
IV	+4 bytes
Total:	+5 bytes

3. Gestion de clés



3. Gestion de clés

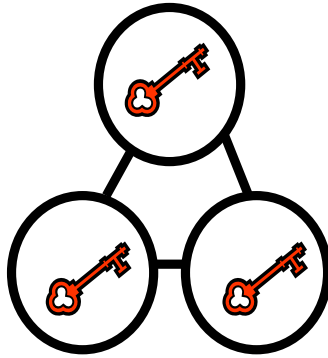


3. Gestion de clés

- Pourquoi la gestion de clés?
 - Établissement de clés entre tous les nœuds capteurs pour l'échange sécurisé des données
 - Supporter l'ajout et la suppression des nœuds
 - Fonctionner dans des environnements non défini à priori
 - Un nœud non autorisé ne peut pas effectuer des communications avec les nœuds du réseau
- Challenges :
 - Pas de place pour la crypto complexe: Pas de crypto à clé publique
 - Minimiser le overhead: la transmission consomme énormément
 - 1 bit en plus \approx 1000 CPU ops

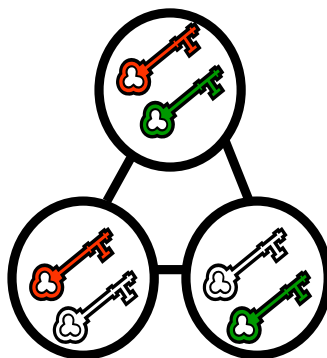
3. Gestion de clés

- Exemple1: Une seule clé partagée par tous les nœuds de réseau
- ☺ Utilisation efficace de mémoire car le capteur a besoin de sauvegarder uniquement une seule clé
- ⊗ Le compromis d'un seul nœud compromet le réseau entier



3. Gestion de clés

- Exemple1: Des clés partagées par paire de nœuds
- ☺ Convenable pour des petits réseaux et limité à la capacité mémoire du nœud capteur
- ⊗ Non scalable, l'ajout et la suppression des nœuds pose problème



Démo

Démo: TinyOS et TelosB

■ TinyOS

