



UNIVERSITE DE RENNES 1

Réseaux de capteurs Présentation

Bernard Cousin

Un réseau de capteurs

- C'est quoi ?
 - Un ensemble de capteurs autonomes à faible coût, interconnectés par un réseau de communications
- Ca sert à quoi
 - Pour rendre un service ... de mesures ... autour/dans une certaine zone géographique
- Ca fait quoi ?
 - Qui coopèrent pour acquérir et transmettre ... des mesures

Wireless sensor network

A **wireless sensor network (WSN)** is a wireless network consisting of spatially distributed autonomous devices using sensors to cooperatively monitor physical or environmental conditions, such as temperature, sound, vibration, pressure, motion or pollutants, at different locations.”

- Wikipedia

Plan

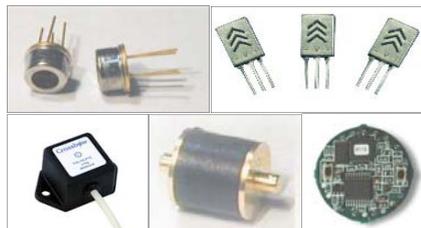
- Un réseau de capteurs : définition
- Domaine d'applications des réseaux de capteurs
- Spécificités des réseaux de capteurs

Bibliographie

- H. Karl, A. Willig. Protocols and architectures for wireless sensor networks. Wiley, 2005.
- E.H. Callaway. Wireless sensor networks: architectures and protocols. CRC Press, 2004

What Is a Sensor ?

- A sensor monitors a wide variety of ambient conditions:
 - temperature,
 - humidity,
 - vehicular movement,
 - lighting condition,
 - pressure,
 - soil makeup,
 - noise level,
 - the presence or absence of certain objects, and object size,
 - mechanical stress,
 - speed, acceleration, direction,
 - Etc.



Capteurs et actionneurs

- Trois grandes catégories de capteurs :
 - Passif et omni-directionnel
 - Thermomètre, lumière, vibration, microphone, humidité, stress mécanique, détecteur chimique, détecteur de fumée, pression de l'air
 - Passif et directionnel
 - Antenne Rf, photographie
 - Actif
 - Sonar, radar
 - Actionneurs :
 - Ouverture ou fermeture d'un commutateur, d'un relai
 - Pour actionner un moteur, une lampe électrique
 - Ouverture ou fermeture d'une LED

1er octobre 2013

Réseaux de capteurs

7

Utilisation traditionnelle des capteurs

- Dans l'aéronautique ou l'automobile, par ex.



1er octobre 2013

Réseaux de capteurs

8

Un (noeud avec un) capteur

- C'est autonome
 - Énergie électrique fournie par une batterie
 - Contrôle étroit de la consommation électrique
- C'est actif sur un certain point, autour ou dans une certaine zone
 - Couverture de la zone, du point ...
- Ca fait quoi ?
 - Capacité (adaptée) d'acquisition des mesures
 - Capacité (limitée) de traitement des mesures
 - Capacité (limitée) de stockage des mesures
 - Capacité (limitée) de communications des mesures

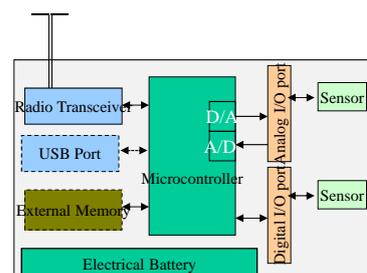
1er octobre 2013

Réseaux de capteurs

9

Un "Mote"

- Un processeur à bas coût
 - Mémoire
 - Calcul
- Un ou plusieurs éléments de mesures
 - Capteurs intégrés ou non
- Un élément de communication
 - Lien radio
 - Interface USB, par ex.
- Une alimentation électrique autonome
- Ethymologie de "mote" : poussière, particule et "remote"



1er octobre 2013

Réseaux de capteurs

10

Microcontrôleurs



- Intel StrongARM
 - 32-bit RISC CPU, 206 MHz
- Texas Instruments MSP 430
 - 16-bit RISC CPU, 4 MHz, on-chip RAM et AD converter
- Atmel ATmega
 - ATmega8:
 - 8 KB of programmable flash memory, 1 KB of SRAM, 512 B EEPROM, and 6-channel 10-bit A/D converter.
 - 8-bit AVR RISC CPU, 16 MIPS at 16 MHz and operates between 2.7-5.5 volts
 - ATmega328P
 - 32 KB of programmable flash memory, 2 KB of SRAM, 1 KB EEPROM, and 6-channel 10-bit A/D converter .
 - 8-bit AVR RISC CPU, up to 20 MIPS at 20 MHz and operates between 1.8-5.5 volts
=> Arduino Uno

Elements de communication

- Radio "transceiver" ("transmitter" + "receiver")
 - Plage fréquentielle :
 - 433 Mhz – 2,4 Ghz ("ISM band")
 - Received Signal Strength Indicator
 - Test d'occupation d'un canal ("carrier sense")
 - Éloignement de l'émetteur/ qualité de l'environnement
 - Modulation
 - On/off, ASK, FSK, etc.
 - Multiplexage
 - FDMA, TDMA, CDMA
 - À canal multiple
 - Étalement de spectre
 - Bande ultra large (UWB)
 - "Wakeup radio"

Elements de communication

- Exemples
 - TR1000 de RFMonolithics
 - 868 - 916 MHz
 - Puissance de sortie adaptable
 - On-off keying ou ASK
 - CC1000 de Chipcon
 - 300 - 1000 Mhz
 - FSK + RSSI
 - CC2420 de Chipcon
 - Physical layer for 802.15.4
 - 2,4 Ghz, DSSS modem
 - TDA 525x de Infineon
 - 868 - 870 Mhz
 - ASK, FSK,
 - RSSI information,

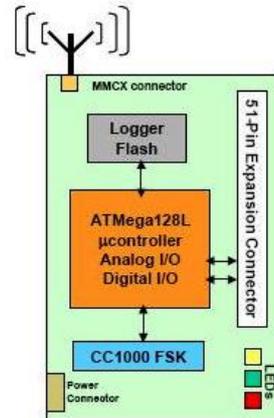


Piles et batteries électriques

- Les principales caractéristiques
 - Rechargeables (batterie) ou non (pile)
 - La capacité (densité énergétique)
 - J/cm^3 (J/g)
 - La durée de décharge
 - La stabilité de décharge
 - La vitesse de rechargement (batterie seulement)
- Capacité (J/cm^3)
 - Pile : Zinc-air (3780), Lithium (2880), Alkaline (1200)
 - Batterie : Lithium (1080), NiMH (860), NiCd (650)

Mica2 Mote

- Extremely popular mote
- 8-bit AVR Controller
- FSK radio
- Data-logger flash memory



MICA2dot Mote

- Size: 4 cm x 4 cm
- CPU: 4 MHz, 8 bit
- 512 Bytes RAM, 8KB ROM
- Radio: 900 MHz, 19.2 Kbps, half-duplex
- Serial communication
- Range: 10-100 ft.
- Sensors: Acceleration, temperature, magnetic field, pressure, humidity, light, and RF signal strength



MICA2DOT

Battery CR2354
560 mAh, 3V, 23 x
5.40 mm

Telos Platform

- Low Power
 - Minimal port leakage
 - Hardware isolation and buffering
- Robust
 - Hardware flash write protection
 - Integrated antenna (50 m-125 m)
 - Standard IDC connectors
- Standards Based
 - USB
 - IEEE 802.15.4 (CC2420 radio)
- High Performance
 - 10 kB RAM, 16-bit core, extensive double buffering
 - 12-bit ADC and DAC (200 Ksample/s)
 - DMA transfers while CPU off



(cf. Joseph Polastre)

Telos

Meeting the Low Power Goal

Operation	Telos	Mica2	MicaZ
Minimum Voltage	1.8V	2.7V	2.7V
Mote Standby (RTC on)	5.1 μ A	19.0 μ A	27.0 μ A
MCU Idle (DCO on)	54.5 μ A	3.2 mA	3.2 mA
MCU Active	1.8 mA	8.0 mA	8.0 mA
MCU + Radio RX	21.8 mA	15.1 mA	23.3 mA
MCU + Radio TX (0dBm)	19.5 mA	25.4 mA	21.0 mA
MCU + Flash Read	4.1 mA	9.4 mA	9.4 mA
MCU + Flash Write	15.1 mA	21.6 mA	21.6 mA
MCU Wakeup	6 μ s	180 μ s	180 μ s
Radio Wakeup	580 μ s	1800 μ s	860 μ s

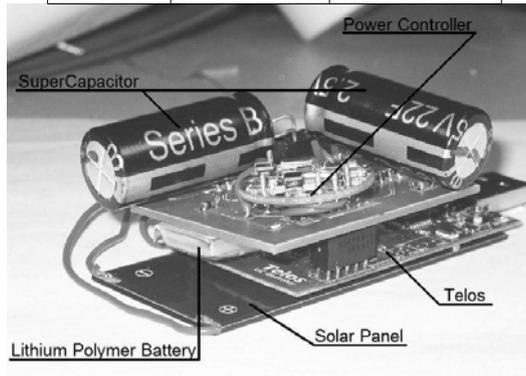
All values measured at room temperature (approximately 25°C) at 3V supply voltage

Source: "Telos: Enabling Low Power Wireless Sensor Network Research"
IPSN/SPOTS, April 2005

Prometheus: Perpetually Powered Telos

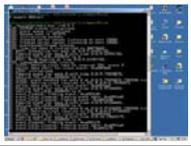
- Solar energy scavenging system for Telos
- Super capacitors buffer energy
- Lithium rechargeable battery as a *emergency* backup
- Possible due to low voltage (1.8 V) and low power (<15 mW) consumption of Telos

Duty Cycle	Light Required	System Lifetime
1%	5 hrs / 1 mo	43 years
10%	5 hrs / 4 days	4 years
100%	10 hrs / 1 day	1 year



Source: "Perpetual Environmentally Powered Sensor Networks"
IPSN/SPOTS, April 2005

Different Targets

<p>mica</p> 	<p>mica2</p> 	<p>mica2dot</p> 	<p>micaz</p> 
<p>telos</p> 	<p>telosb</p> 	<p>rene2</p> 	<p>pc</p> 

Arduino

- Une plateforme **open-source** d'électronique programmée
 - Une simple carte à microcontrôleur
 - basée sur la famille AVR d'Atmel
 - Un environnement de développement intégré
 - écrire, compiler et transférer le programme vers la carte à microcontrôleur
- Utilisé pour développer des objets interactifs
 - Peut recevoir des entrées d'une grande variété de capteurs
 - Peut contrôler une grande variété de lumières, moteurs ou tous autres actionneurs.



1er octobre 2013

Réseaux de capteurs

21

Le chaînon manquant

- Entre PDA et RFID : le "wireless autonomous sensor"



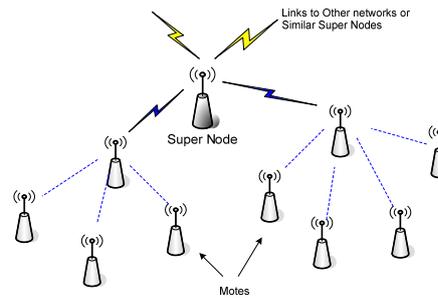
1er octobre 2013

Réseaux de capteurs

22

Un réseau de capteurs

- Des dizaines, centaines ou milliers de nœuds
- Ils mesurent, détectent, traitent, et actionnent
- Ils communiquent entre eux pour se transmettre les données
 - Vers un nœud particulier !



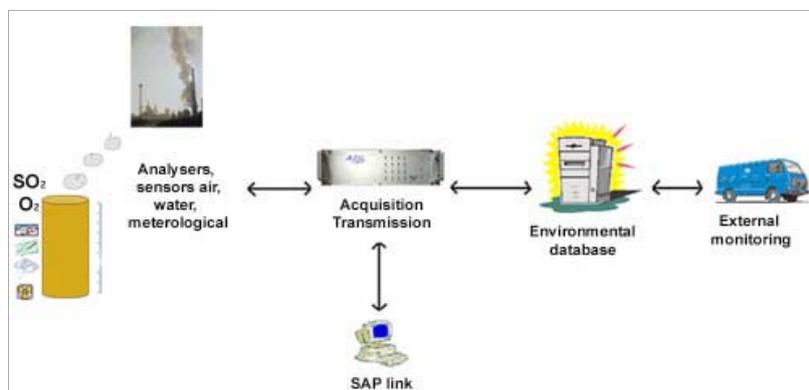
1er octobre 2013

Réseaux de capteurs

23

Un exemple d'application

- Surveillance de l'environnement
 - air, eau, ou terre



Borrowed from www.iseo.fr

1er oct

24

Domaines d'application

- Surveillance
 - Détection d'intrusions
 - Feu de forêt
 - Mesures météorologiques
 - Départ de coups d'artillerie
 - Détection des mouvements ennemis
 - Contrôle de la qualité de l'air
 - Etc.
- Couverture
 - Zone/point ponctuel
- Environnement
 - Militaire /Civil
 - Hostile/non-hostile
- Applications
 - Agricole et Environnement
 - Médical
 - Structure ou édifice
 - Domotique



1er octobre 2013

Réseaux de capteurs

25

Domaines d'application

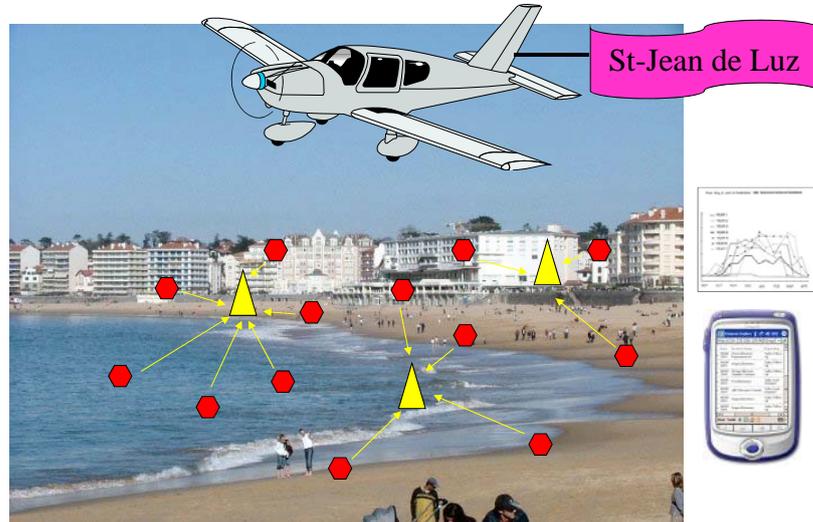
- Disaster relief
- Environmental monitoring (environment control and biodiversity mapping)
- Habitat monitoring (Intelligent buildings)
- Facility management
- Machine surveillance and preventive maintenance
- Precision agriculture
- Medical monitoring (medecine and health care)
- Logistic (Inventory tracking)
- Acoustic detection
- Seismic detection
- Military surveillance
- Smart spaces
- Process Monitoring
- Etc.

1er octobre 2013

Réseaux de capteurs

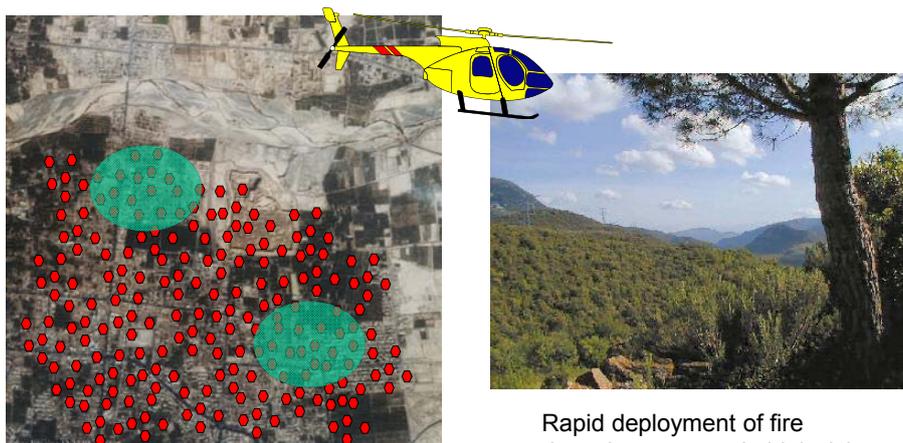
26

Sensor applications Environmental - Meteorological



On-the-fly deployment of environmental monitoring's network

New sensor applications Disaster relief - Security



Real-time organization of rescue in large scale disasters

Rapid deployment of fire detection systems in high-risk and difficult-access locations

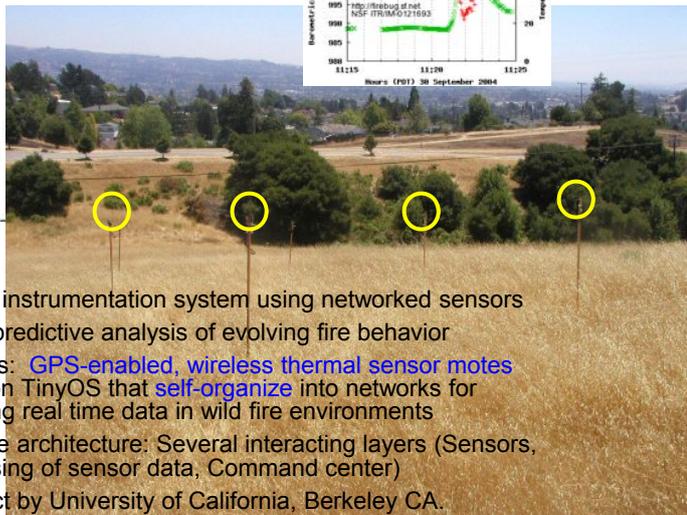
Habitat Monitoring on Great Duck Island



- <http://www.greatduckisland.net/>
- to deploy wireless sensor networks on Great Duck Island, Maine (in 2002)
- Monitor the microclimates in and around nesting burrows used by the **Leach's Storm Petrel**
 - "Océanite cul-blanc ou Pétrel cul-blanc (*Oceanodroma leucorhoa*)"
- Goal : habitat monitoring kit for researchers worldwide



FireRun



- Wildfire instrumentation system using networked sensors
- Allows predictive analysis of evolving fire behavior
- Firebugs: **GPS-enabled, wireless thermal sensor notes** based on TinyOS that **self-organize** into networks for collecting real time data in wild fire environments
- Software architecture: Several interacting layers (Sensors, Processing of sensor data, Command center)
- A project by University of California, Berkeley CA.

Contrôle de l'environnement

- Mica Mote protégé par un tube plastique



1er octobre 2013

Réseaux de capteurs

31

Preventive Maintenance on an Oil Tanker in the North Sea: The BP Experiment

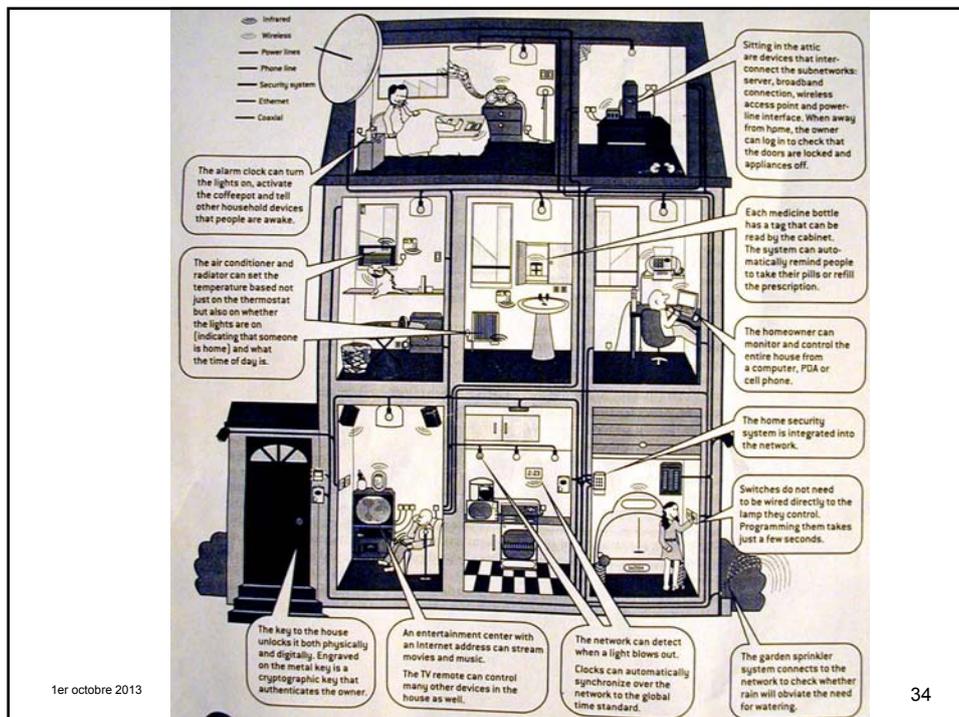
- Collaboration of Intel & BP
- Use of sensor networks to support [preventive maintenance](#) on board an [oil tanker](#).
- A sensor network deployment onboard the ship.
- System gathered data reliably and recovered from errors when they occurred.
- The project was recognized by InfoWorld as one of the [top 100 IT projects in 2004](#).



“Cricket” Mote



- Basically a location-aware mote.
- Includes an Ultrasound transmitter and receiver.
- Uses the combination of RF and Ultrasound technologies to establish differential time of arrival and hence linear range estimates
- Based on [Cricket Indoor Location System](#) a MIT researcher [Nissanka Bodhi Priyath](#)



Types of applications

- Event detection
- Periodic measurements
- Location approximation of a measurement function
- Edge detection
- Tracking

- Deployment options :
 - Planned versus random, mobile versus fixed
- Maintenance options:
 - Maintenance is feasible or not
- Energy supply options:
 - Wired power supply, self-sustained sensor node (harvesting)

1er octobre 2013

Réseaux de capteurs

35

Réseaux ah-hoc

- MANETs : "Mobile ad-hoc networks"
 - Réseaux construits au fur et à mesure :
 - sans infrastructure
 - en fonction des besoins et des ressources disponibles



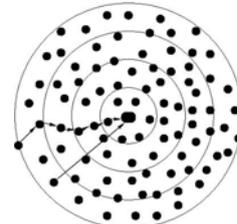
1er octobre 2013

Réseaux de capteurs

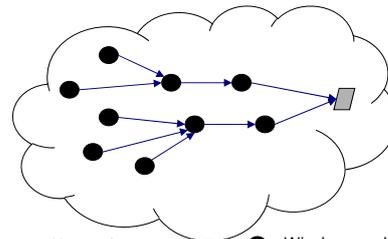
36

Quelques spécificités

- Réseau très dense (densité spatiale):
 - Redondance
 - Identification ?
- Ressources limitées
 - Calcul (4 MHz)
 - Mémoire (512 Koctets à qq Moctets)
 - Energie (Piles AAA)
- Communication sans fil
 - Interférence
 - Multi-hops



A Sensor Network
(base-station at center)



A Sensor Network
(remote base-station)

● Wireless node
▭ Base-station

Borrowed from C. Rosenberg

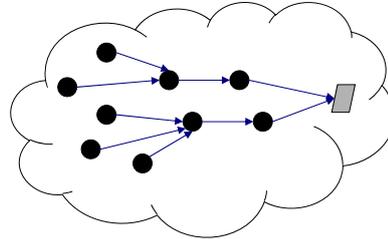
Quelques spécificités

- Fréquence de la surveillance (densité temporelle):
 - De qq μ s à qq jours
 - Économie d'énergie ?
- Déploiement
 - Aléatoire (aérien) :
 - Terrain inaccessible
 - Auto-organisation ?
 - Placé avec précision
- La mobilité est faible, mais la topologie est amenée à changer :
 - À cause des pannes
 - Auto-réorganisation ?

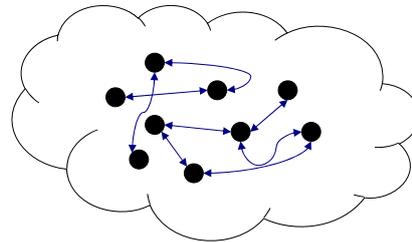
Borrowed from C. Rosenberg

Quelques spécificités

- N-to-1 communication
 - Plutôt que N-to-N communication
- Couverture :
 - De la zone à surveiller
- Connexité
 - La transmission des données est assurée
 - Tolérance vis-à-vis des pannes, le déploiement aléatoire



Many-to-one data flow (Sensor Network)



Many-to-many data flow (Ad-hoc Network)

Borrowed from C. Rosenberg

Quelques spécificités

- Différents modes de veille
 - 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 interfaces, Watchdog ON
- Maximiser la durée de vie du réseau
 - Instant significatif de l'épuisement
 - Lorsque le premier mote est épuisé, ou bien lorsqu'une certaine proportion de motes est épuisée
 - Perte de connectivité ou de couverture de zone

Consommation énergétique

- Dans l'ordre décroissant de consommation
 - Transmission des données (radio !)
 - Emission puis réception
 - Protocoles de communication des données
 - MAC et routage
 - Traitement des données
 - Élaboration, agrégation
 - Acquisition des données

 - Exemple
 - 1 octets transmis = 10 Kcycles de CPU

Quelques spécificités

- Environnement non-contrôlé
 - Déploiement dans la nature
 - Présence d'intrus menant des attaques de sécurité
 - Capture des noeuds

Challenges

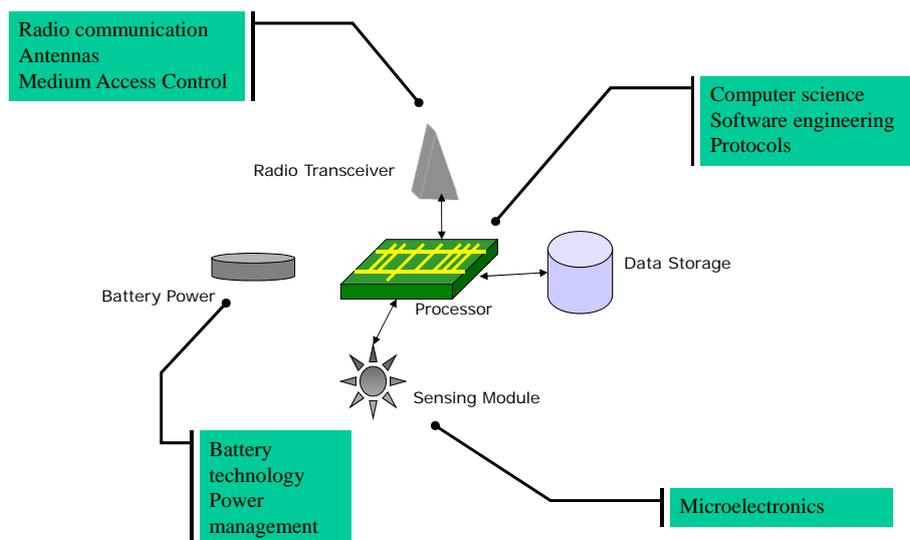
- Réduire la consommation d'énergie,
 - Calcul, stockage, communication
 - Récupération d'énergie (lumière, vibrations, différence de températures ou de pression, etc.)
- Adapter les mécanisme de sécurité aux caractéristiques du WSN
 - Absence d'un tiers de confiance
 - Stockage des clés
 - Puissance de calcul très limitée
- Assurer la fiabilité et la disponibilité du réseau WSN
 - Intervention difficile une fois le réseau est déployé
- Gestion du réseau
 - Calcul distribué, fusion ou agrégation des données,
 - Routage, auto-organisation, localisation
 - "Quality of (data transport) Service"

1er octobre 2013

Réseaux de capteurs

43

Inter-disciplinaire



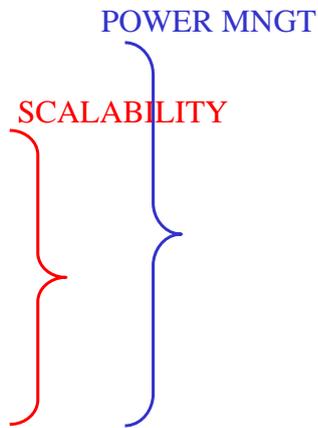
1er octobre 2013

Réseaux de capteurs

44

For computer scientists

- Software & OS
 - Design of software architecture
 - Flexibility, Adaptativity
- Communication
 - Addressing, Routing, Security
 - Reliability, Congestion control
- Management & administration
 - Service deployment
 - Composability, Reconfigurability



Conclusion

- Etude des techniques de transmission sans fil
 - IEEE 802.11 : modulation, transmission et réservation (wifi)
 - Les prochaines normes de réseaux sans fil (IEEE 802.16 (WiMAX) et LTE)
- Les principales normes de réseaux de capteurs
 - Pour les communications sans fil (IEEE 802.15)
 - Pour le développement d'applications dans un réseau de capteurs (Zigbee)
- Les techniques de routage réactif ou proactif
 - les protocoles AODV, OLSR, le routage Zigbee
- La gestion de la mobilité au niveau IP
 - 6LoWPAN, MIP