

Conception & déploiement de réseaux de capteurs sans fil

Pr. Eric Fleury

ENS de Lyon/LIP – INRIA/D-NET

Eric.fleury@inria.fr

<http://www.ens-lyon.fr/LIP/D-NET/>

Plan

- Retour sur 2 expériences de déploiement *in situ*
 - MOSAR / i-Bird
 - AFSSET / TubExpo
- Aperçu des enjeux « réseaux de capteurs »
- Outils de simulation / développement
- SensLAB : Plateforme de test très large échelle

MOSAR / i-Bird

- **Comprendre / Modéliser / Contrôler** la résistance aux antibiotiques des bactéries responsables des infections nosocomiales.

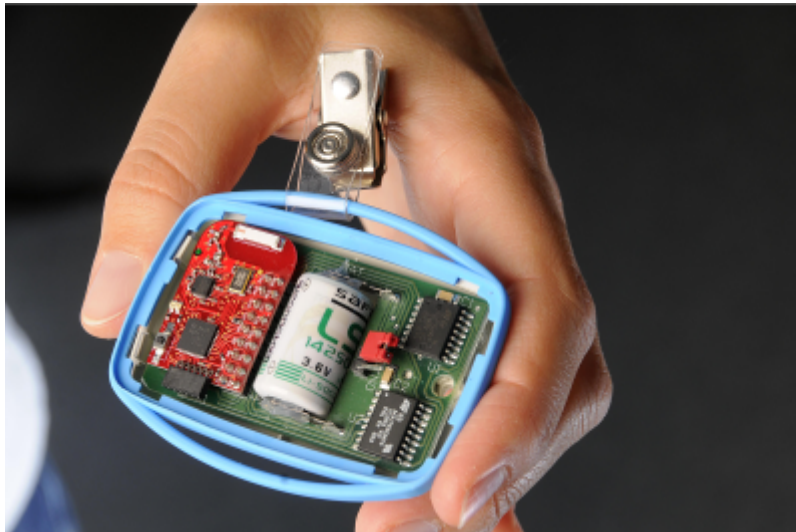


- **i-Bird : Individual Based investigation of resistance dissemination**

Comment mesurer les « contacts »

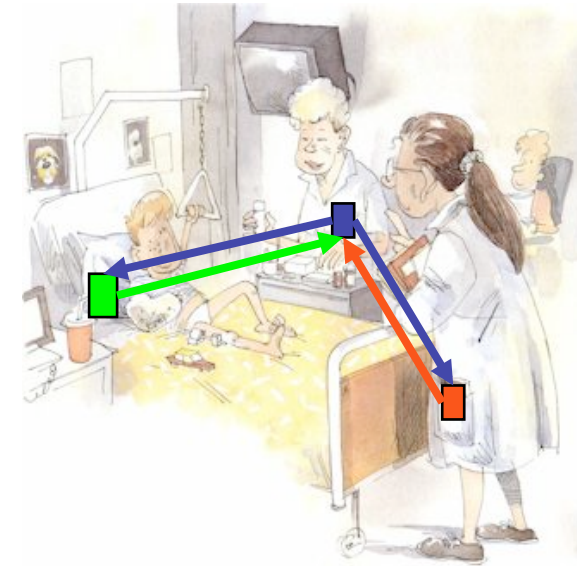
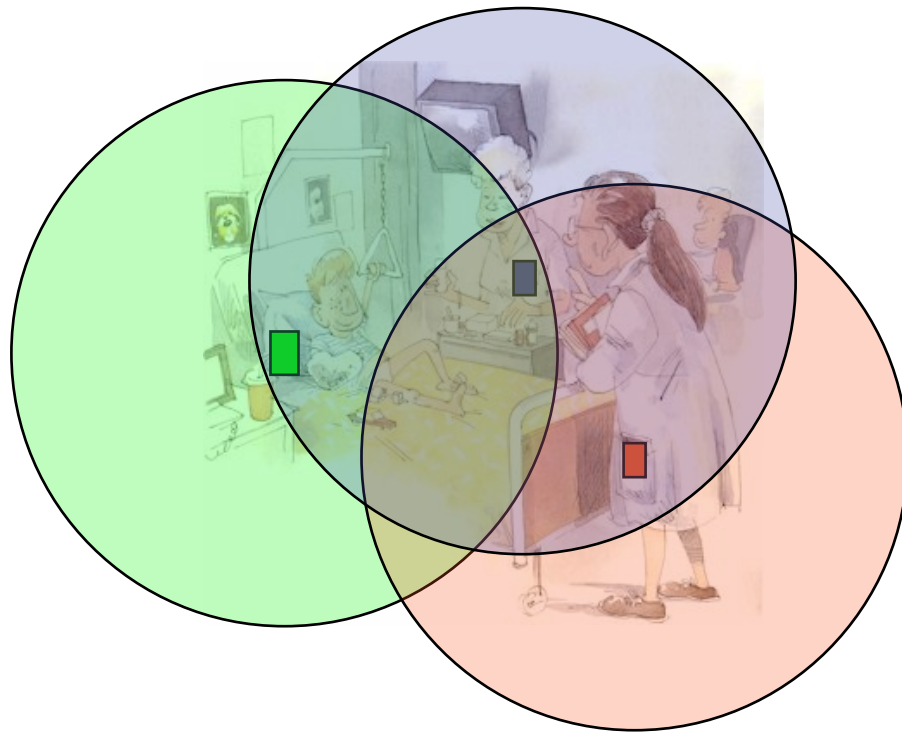
■ Idée :

- associer un « capteur/log » à chaque individu
- Sorte de Tamagotchi communiquant.
- *Bigbrother is recording your contacts*



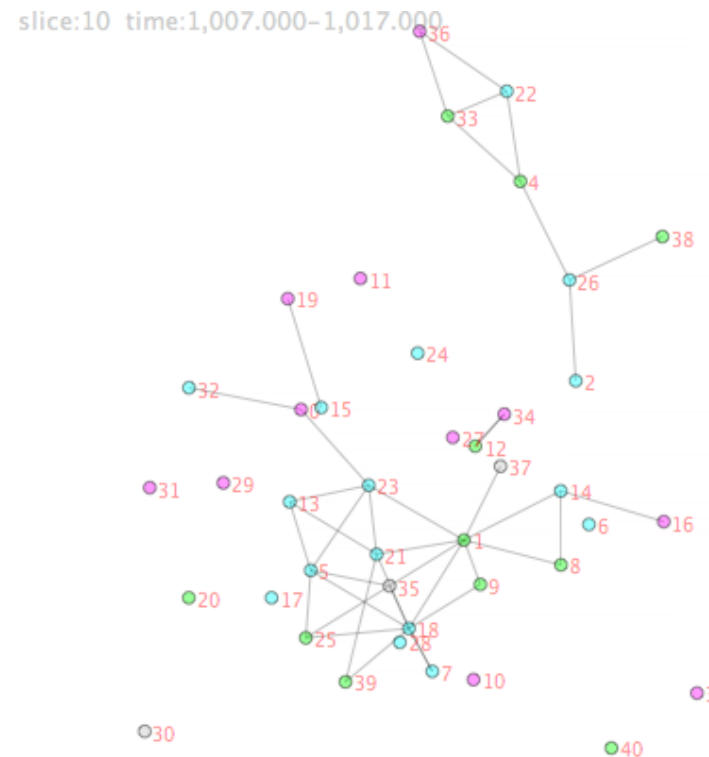
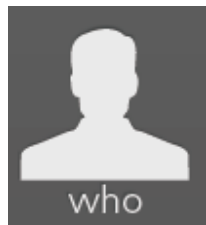
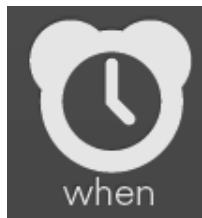
Expérimentation MOSAR/iBird

- ✓ Film de présentation de MOSAR
- ✓ WebTV de la Cité des sciences et de l'industrie



Plus que les simples contacts

- Données des capteurs :
 - Une mesure toutes les 30s
 - date local time of the node
 - Id **ID** of the node in contact
 - length **duration** of the contact
 - RSSI average strength of the signal of the contact

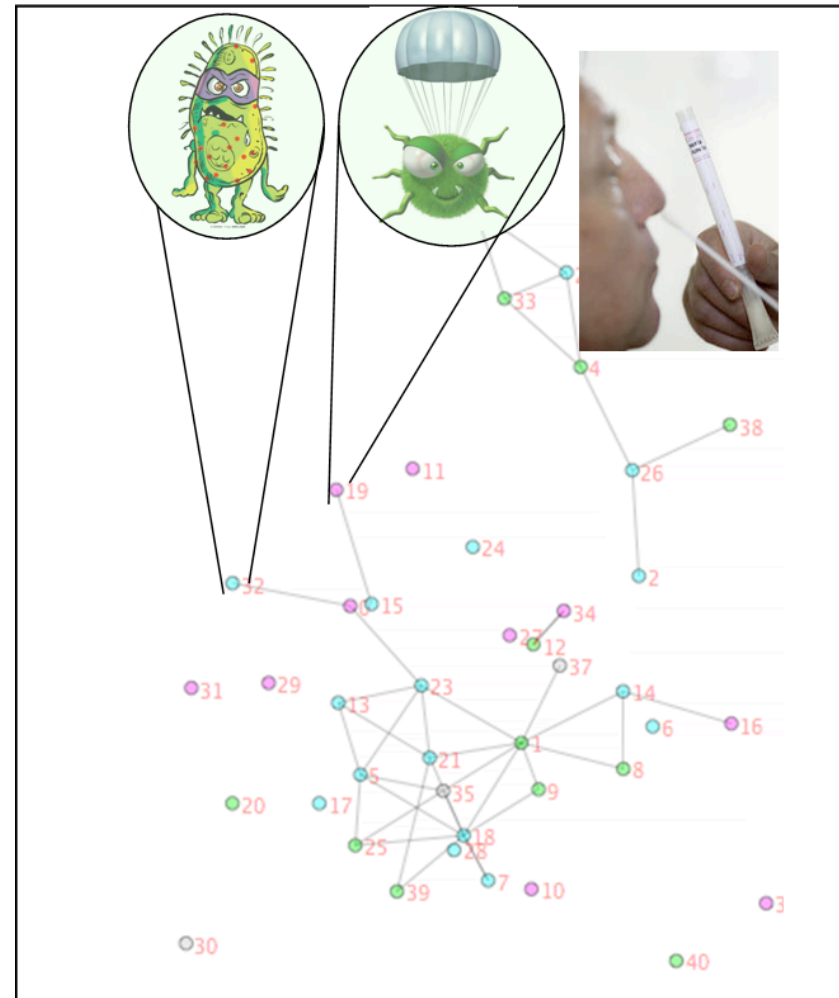
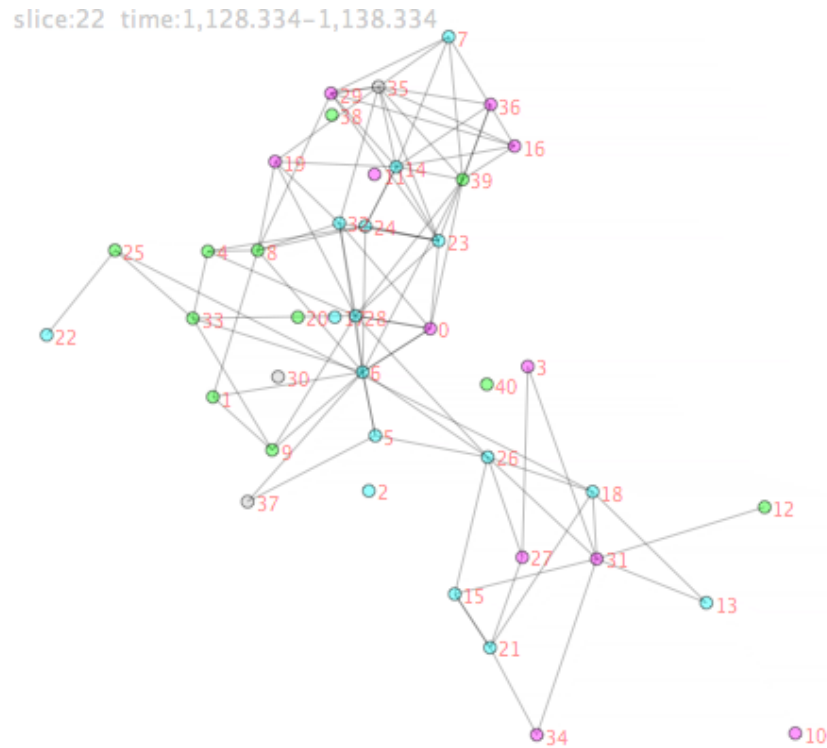


Plus que les simples contacts

- **Prélèvements :**
 - Nasal (patients & personnels)
 - Plaie (patients)
 - → caractérisation des bactéries / clones
- **Suivi immunologique**
 - Prise de sang (patients)
- **Prescription antibiotique**



Réseau dynamique multi-modal



Hôpital maritime de Berck

- Pathologies :
 - Neurologie / Post-opératoire / Traumatisme
123 lits (3 unités)
 - Gériatrie 30 lits (1 unité)
 - Obésité 30 lits (1 unité)
- 250 agents hospitaliers
- 183 lits
- Séjour moyen : 2 mois
- 100 patients admis/mois
- Age moyen des patients : 38 ans
- Sex Ratio = 1 : 1



6 mois d'investigation (26 semaines) : 4 mai – 30 oct 2009

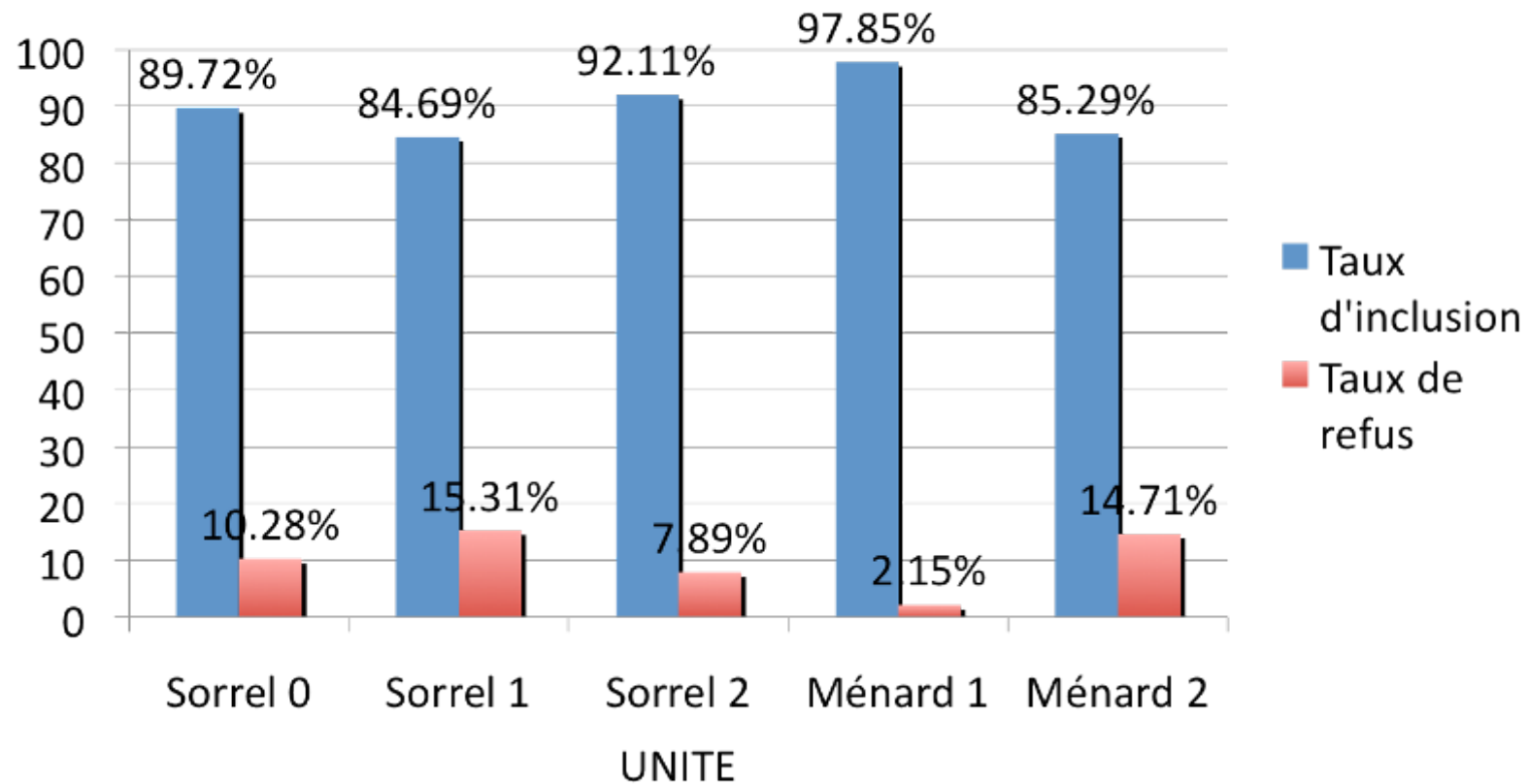
Patients

- # Patients présents pendant l'étude : 514
- # Patients inclus : 462
- # Patients ayant accepté de participer ensuite : 6
- Taux global de participation de patients : 89,9%
- Taux global de refus de patients : 10,1%
- # Patients-semaines : 3495

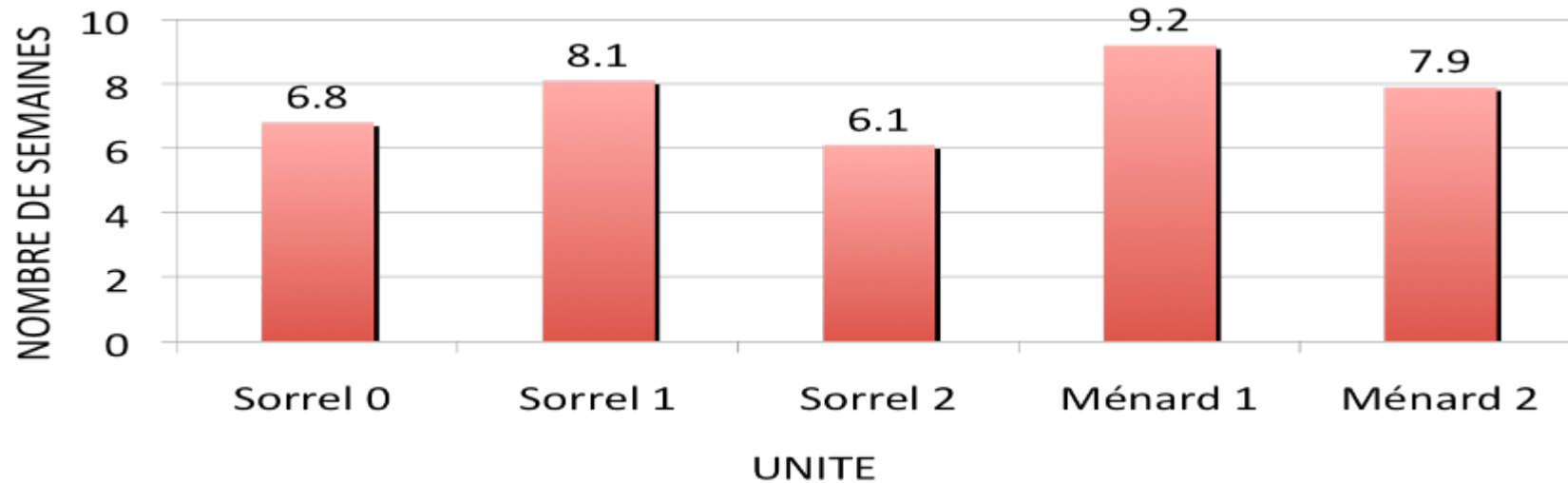


Patients

Taux de participation et refus des patients



Patients



- Temps de suivi minimum : 1 semaine
- Temps de suivi maximum : 22 semaines
- Temps de suivi global moyen pour un patient : 7,6 semaines

Personnel

- # Personnel présents pendant l'étude : 378
- # Personnel inclus : 342
- # Personnel ayant accepté de participer ensuite : 4
- Taux global de participation de personnel : 90,4%
- Taux global de refus de personnel : 9,6%
- # Personnel-semaines : 5104
- Temps de suivi minimum : 2 semaines
- Temps de suivi maximum : 23 semaines
- Temps de suivi global moyenne : 15,2 semaines

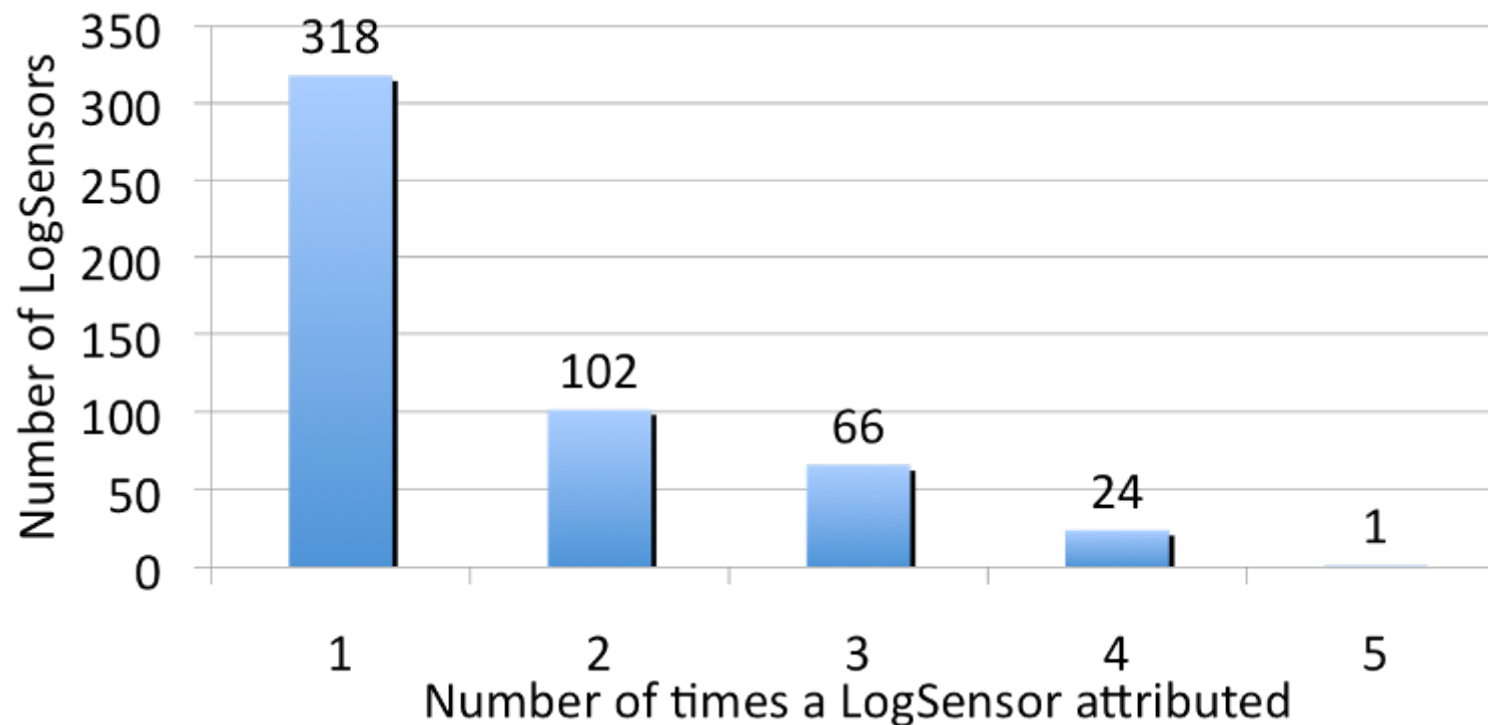


Patients & Personnel

	Patients	Health Care Workers (HCW)	Total
# on site	514	378	892
# included in study	462	342	804
# eventual participation	6	4	10
% participation	89,9	90,4	90,1
% refusal	10,1	9,6	9,9
# patients-weeks	3495	5104	8599
Min follow-up in weeks	1	2	1
Max follow-up in weeks	22	23	23
Mean follow-up in weeks	7,6	15,2	12,5

Capteurs

- # LogSensors manufactured : 600
- # LogSensors programmed : 580
- # LogSensors attributed : 511 (PA & HCW combined)
- # Participant files : 817 (462 PA & 355 HCW)
- # Participants having never had a LogSensor : 25 (13 PA & 12 HCW)



AFSSET / TubExpo

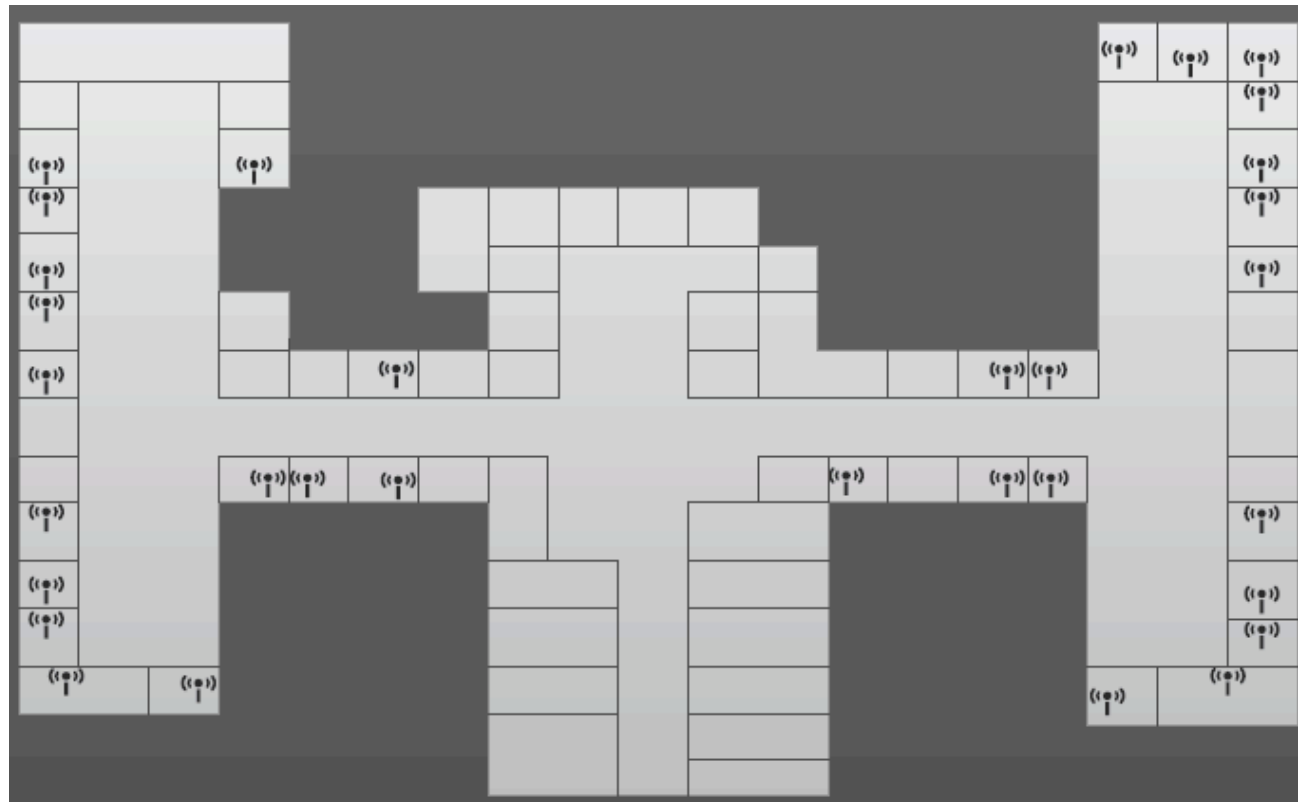
- Evaluer l'exposition du personnel hospitalier à la tuberculose



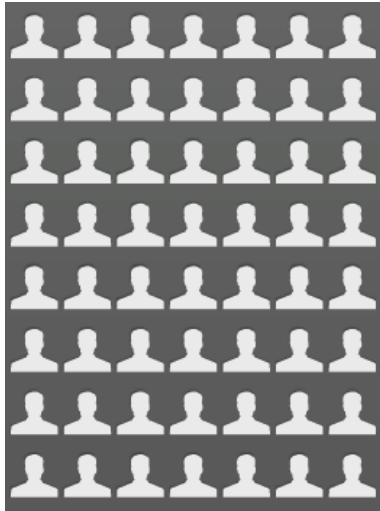
agence française de **sécurité sanitaire**
de **l'environnement et du travail**

- SMIT : Service Maladies Infectieuses & Tropicales (Hôpital Bichat-Claude Bernard)
- Pitié Salpêtrière

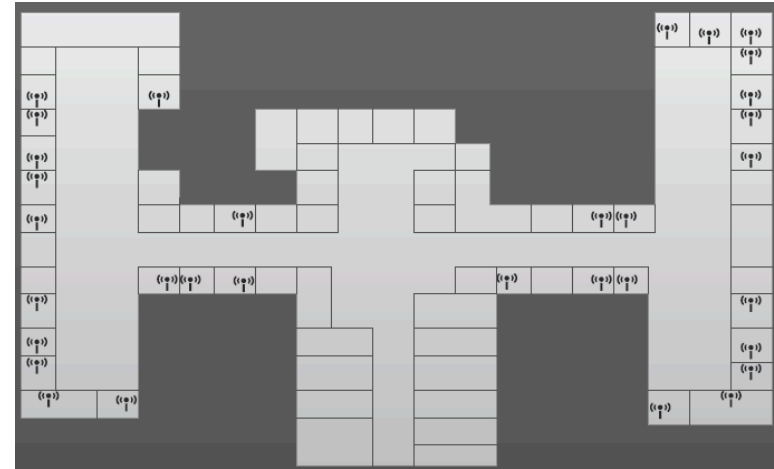
Expérimentation : 32 chambres



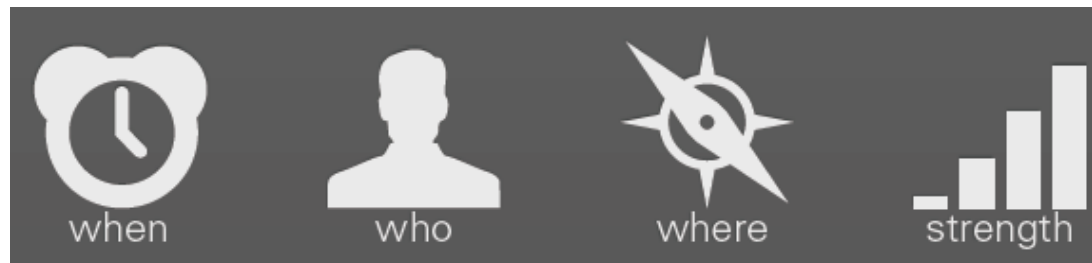
Expérimentation



56 capteurs mobiles



32 capteurs fixes



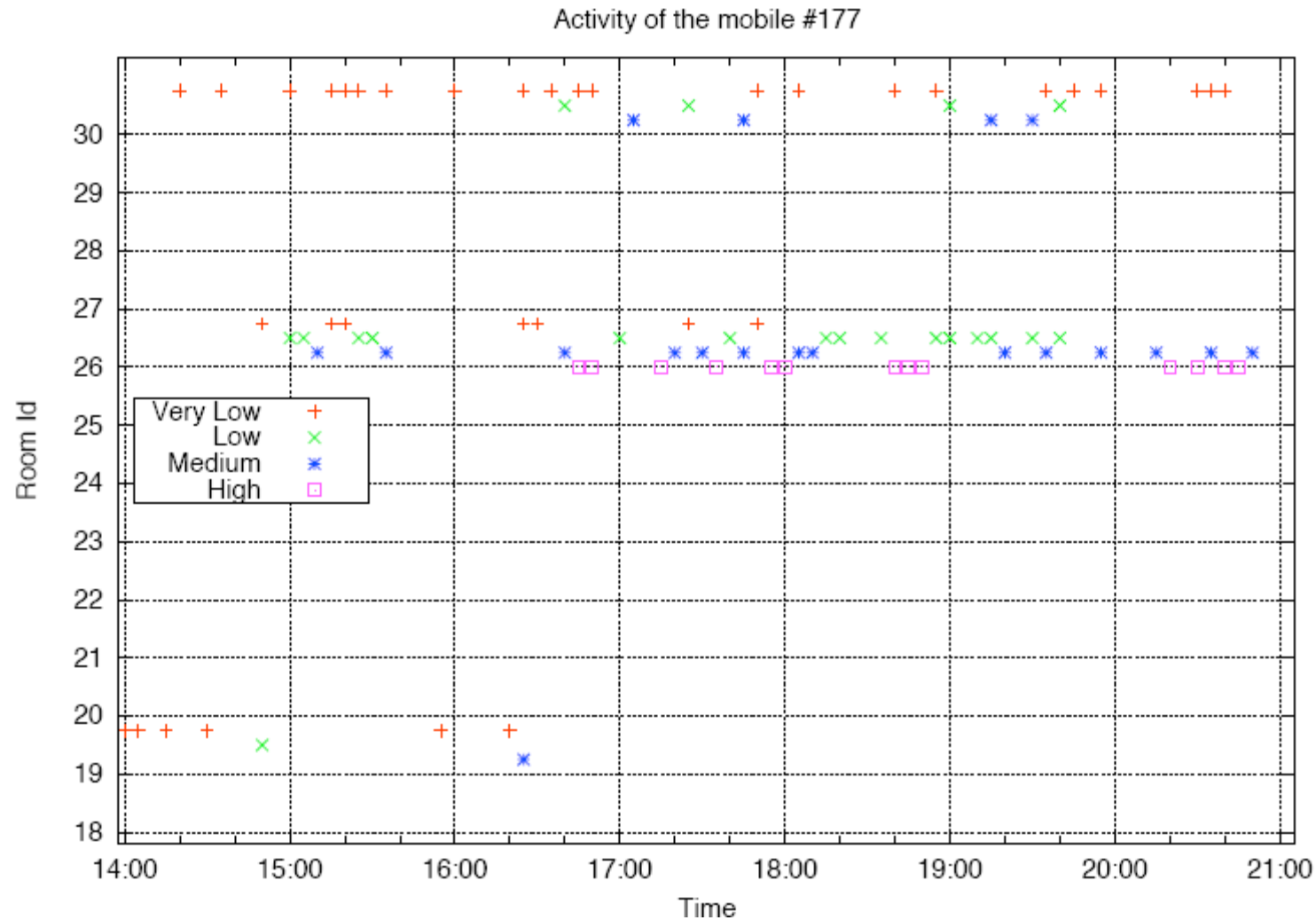
98 jours

16 066 096 contacts

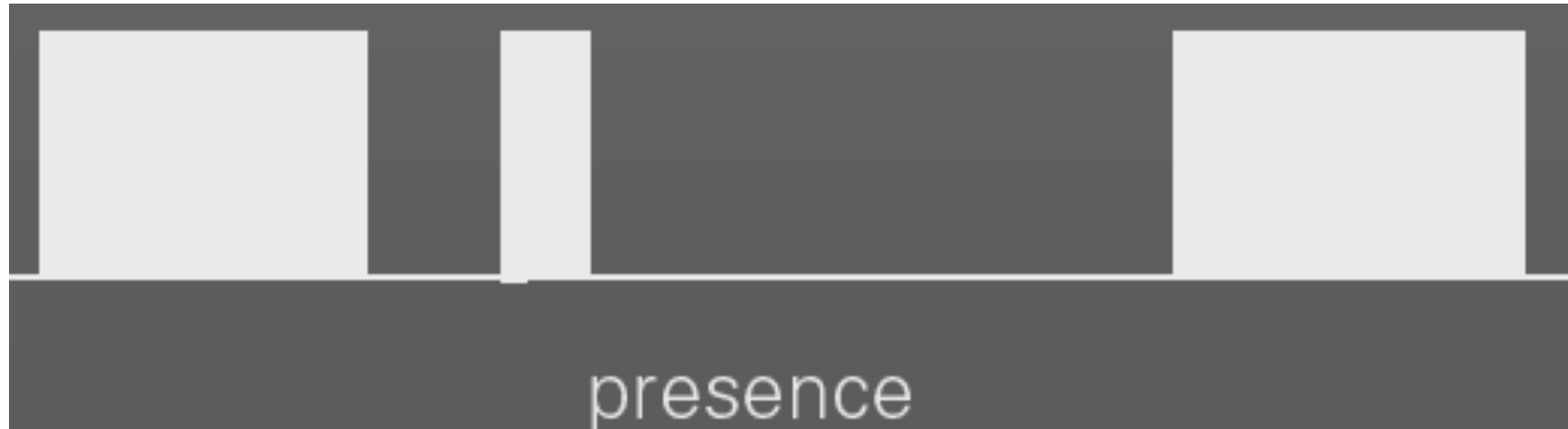
La seule technologie n'est pas miraculeuse...

- Pertes de paquets
 - Impacte les statistiques sur les temps de contact
 - Besoin de reconstruire le signal
- Nettoyer les traces en fonction des agendas réels
- Quelques trous noirs
 - Problème de dérive d'horloge
 - Problème de pile !

Un signal très bruité...



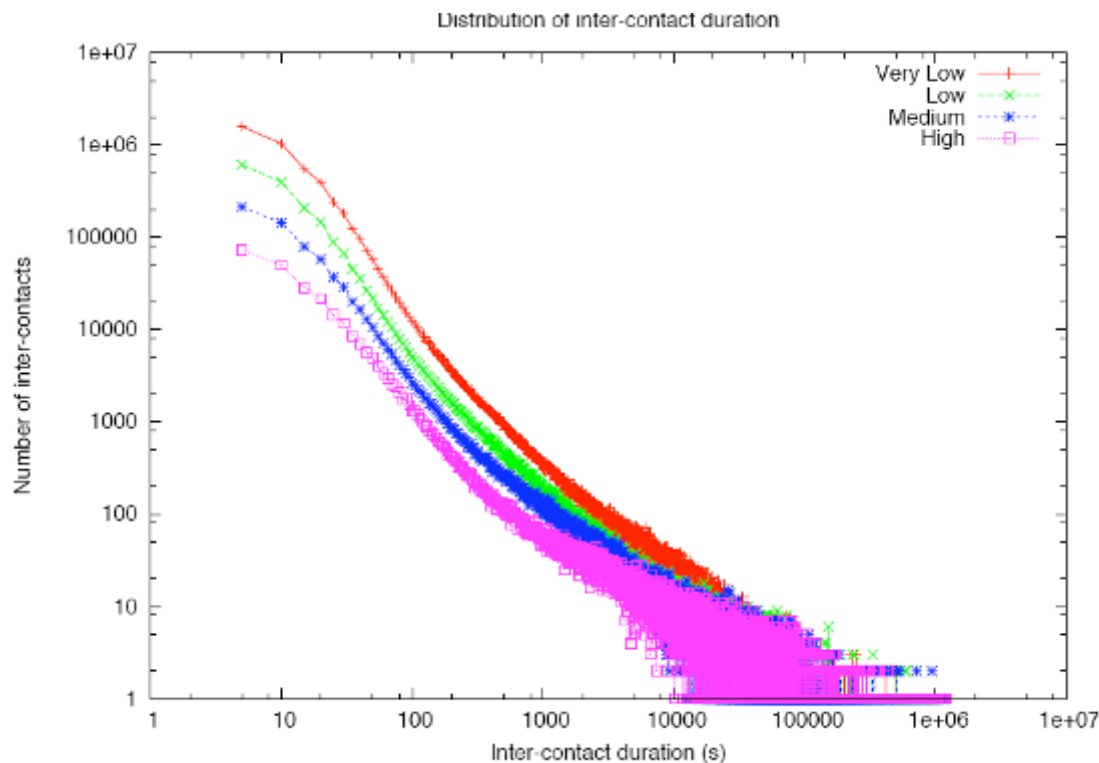
Pertes de paquets



- Restaurer les faux négatifs
- Supprimer les faux positifs

Reconstruction possible

- A partir d'audits externes
- Sémantique des contacts



Plan

- Retour sur 2 expériences de déploiement *in situ*
 - MOSAR / i-Bird
 - AFSSET / TubExpo
- Aperçu des enjeux « réseaux de capteurs »
- Outils de simulation / développement
- SensLAB : Plateforme de test très large échelle

Enabling Technology for Science

the complex

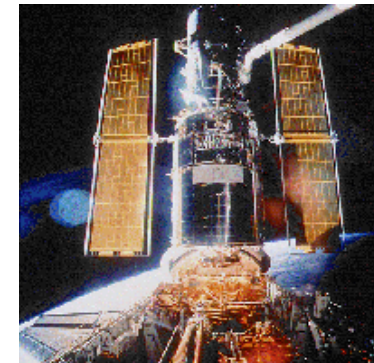
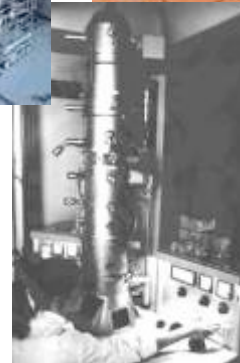
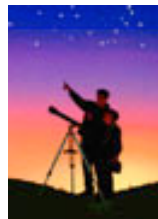
Perceive ...

the imperceptible

the atomic

the small

the far



The (A) Promise of Sensor Networks

- Dense monitoring & analysis of complex phenomena over large regions of space for long periods

- Many, small, inexpensive sensing devices
- Frequent sampling over long durations
- Non-perturbing
- Compute, communicate, and coordinate
- Many sensory modes and vantage points

- Close to the physical phenomena of interest
- Observe complex interactions

Embedded Networked Sensing

Many critical issues facing science, government:

- Public call for high fidelity and real time observations of the physical world
- Networks of smart, wireless sensors can reveal the previously unobservable
- Designing physically-coupled, robust, scalable, distributed-systems is challenging



The technology will also transform:

- business enterprise (from inventory to manufacturing),
- human interactions (from medical to social)



Sensing the world

- **Miniaturization and Moore's law has enabled us to combine:**
 - sensing, computation and wireless communication
 - integrated, low-power devices
 - **embed networks of these devices in the physical world.**
- **Placing sensing devices up close to the physical phenomena**
 - study details in space and time that were previously unobservable.
- **Observe physical processes with such high fidelity**
 - create models,
 - make predictions
 - manage our increasingly stressed physical world

ENS: Embedded Networked Sensing

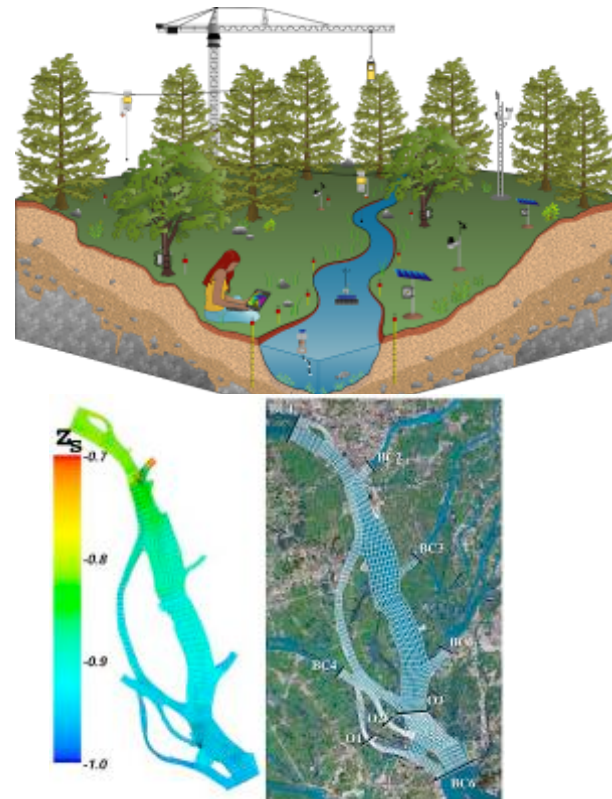
Embed numerous devices to monitor the physical world

Network to monitor, coordinate and perform higher-level identification

Sense and actuate adaptively to maximize information return

In-network and multi-scale processing algorithms to achieve:

- *Scalability* for densely deployed sensors
- *Low-latency* for interactivity, triggering, adaptation
- *Integrity* for challenging system deployments



Advantages of ENS

- The essential power of this technology derives from **EMBEDDING** measurement devices in the physical world and **NETWORKING** them to achieve intelligent coordinated **SENSING** Systems
- ENS has the perfect ingredients for **multidisciplinary research** because it offers transforming capabilities to the applications and challenging problems for the technologists.
- Most generally stated our objective is to **maximize information** return from these adaptive sensing and actuation systems, across design, deployment, and run time the design of multiscale and in network processing algorithms.

Wireless sensor networks

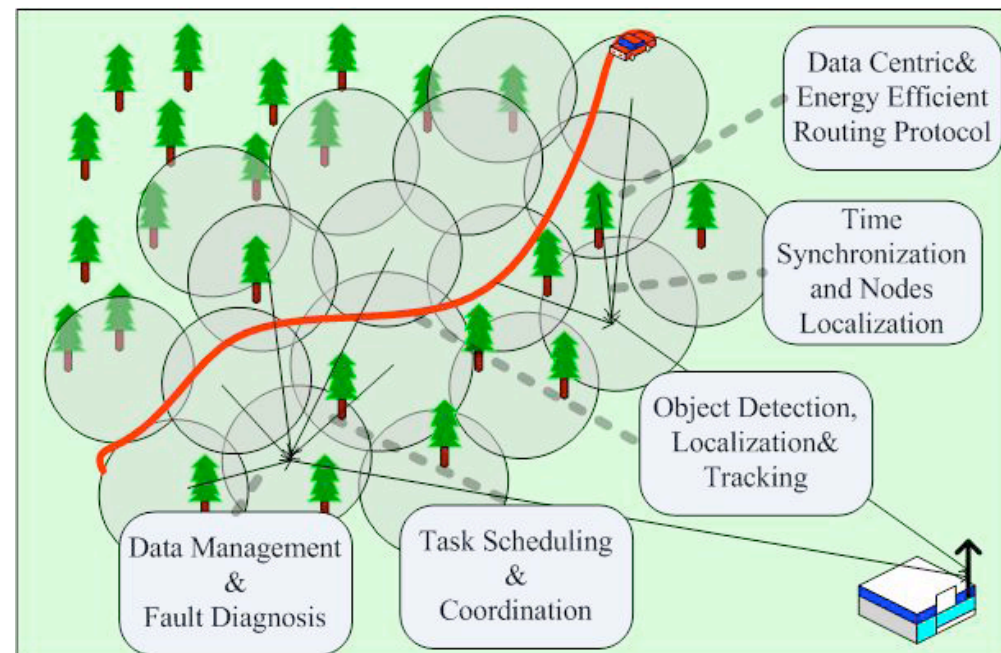
- A great recent technological successes
- Many applications
 - Environmental
 - Security
 - Automotive
 - Healthy
 - And many more
- Still a hot topic in both the academic and industrial worlds

Plan

- Retour sur 2 expériences de déploiement *in situ*
 - MOSAR / i-Bird
 - AFSSET / TubExpo
- Aperçu des enjeux « réseaux de capteurs »
- Outils de simulation / développement
- SensLAB : Plateforme de test très large échelle

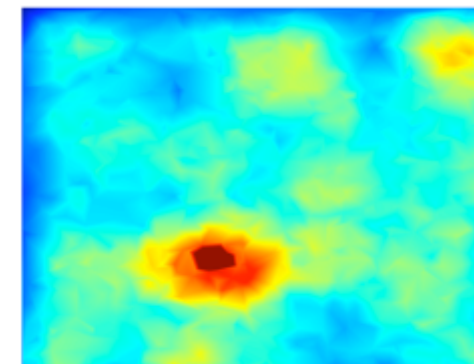
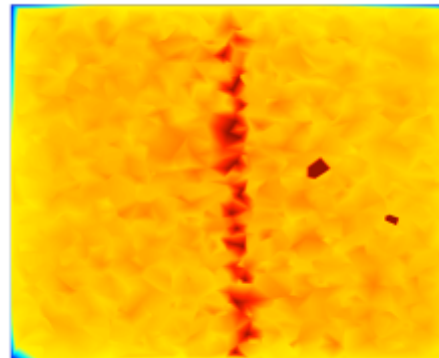
Quelques grands classiques

- MAC protocols
 - Neighbor discovery
 - 1-1, N-1, 1-N routing
 - Leader election protocols
 - clustering protocols
 - time synchronization protocols
 - activity scheduling
 - etc.
- Constraints:
 - energy efficiency
 - real-time
 - QoS
 - etc.



Métriques

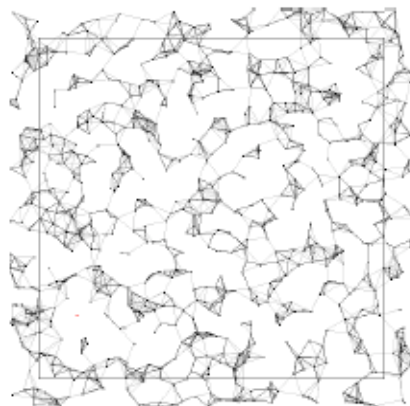
- Classical metrics:
 - Bandwith
 - Latency
- Energy
 - Global energy consumption
 - Max energy consumption
 - Network lifetime
- Network lifetime
 - First node to die
 - x% of nodes dead
 - Based on coverage / connectivity properties
 - Given by the application operation



Evaluation

■ Analyse

- Stochastic geometry
- Percolation
- Process algebra
- Markov chains

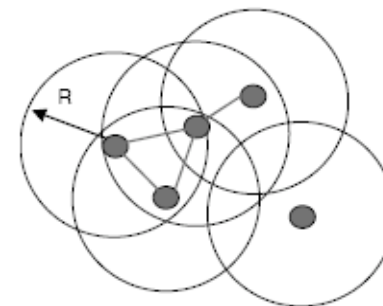


■ What to analyse

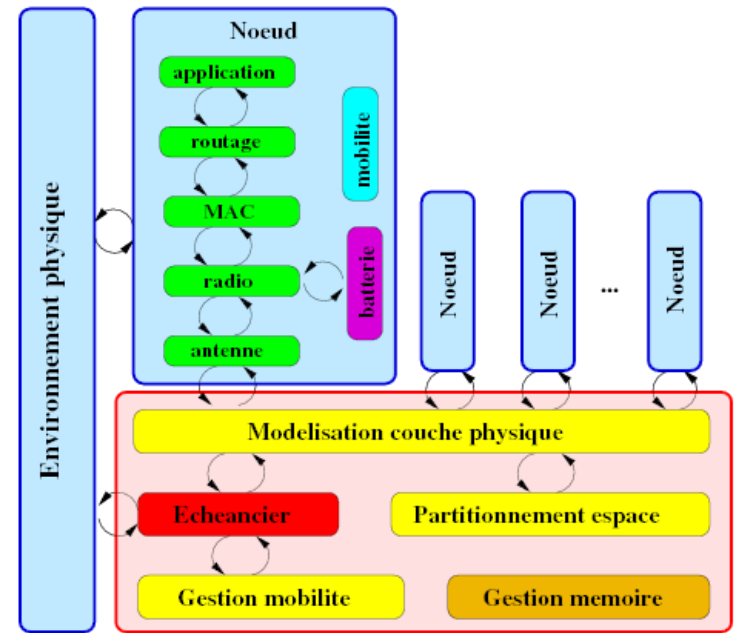
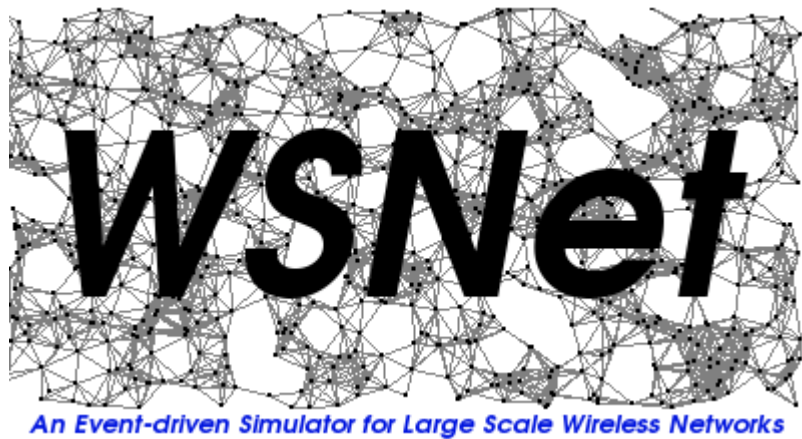
- Which radio model ?
- Which network models ?
- Which modeling precision ?
- Which protocol parameters ?

■ Simulation

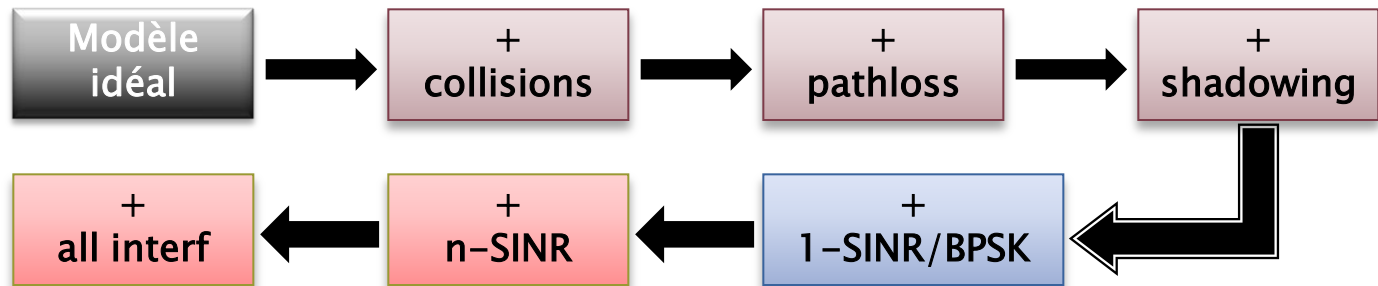
- Network simulator
- SHAWN
- SENSE
- QualNet
- COOJA
- Bonnmotion
- OMNeT++
- **WSNet / WSim**
- TOSSIM
- OPNET



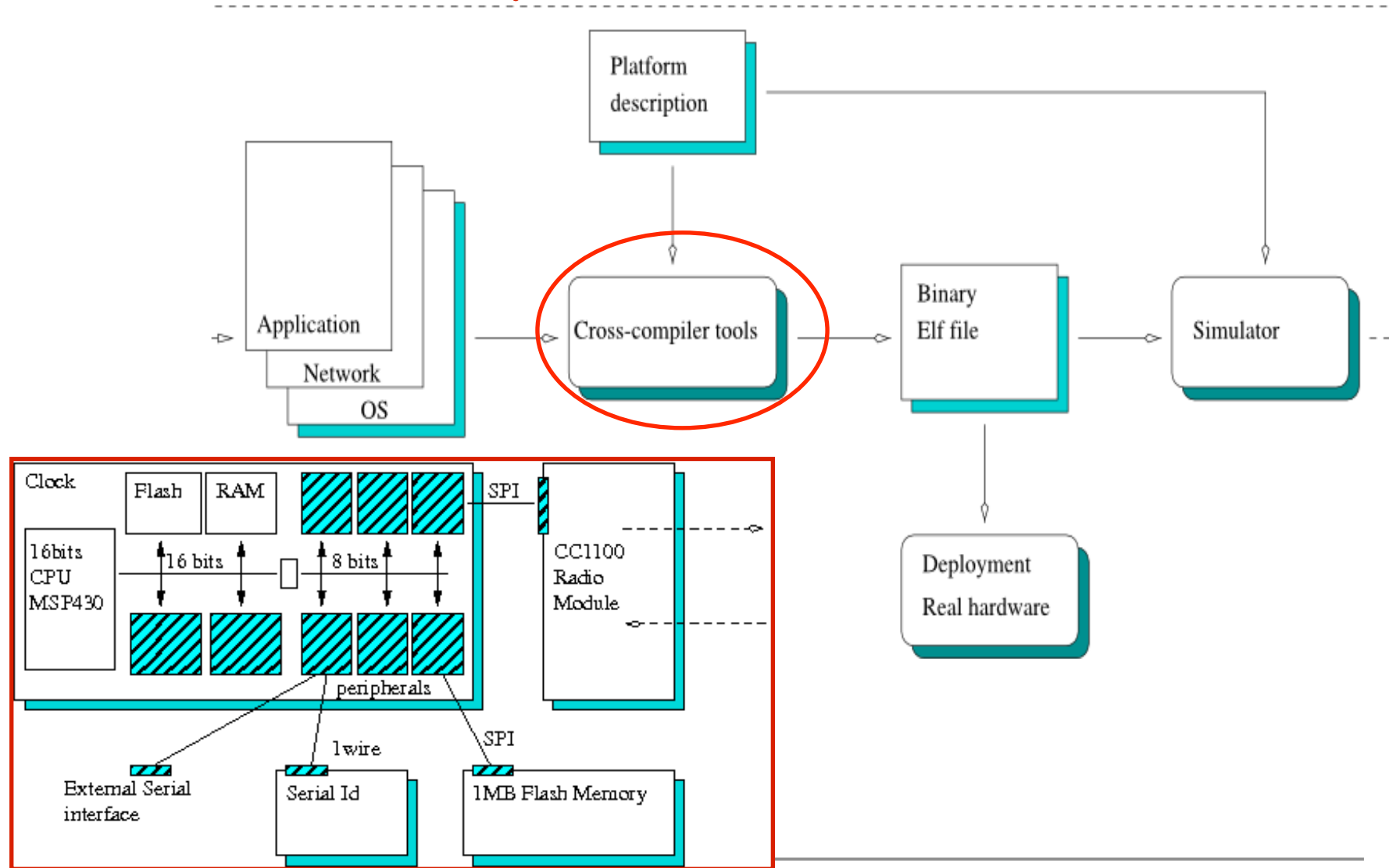
Suite logicielle complète / précise



**Modélisation
couche PHY**



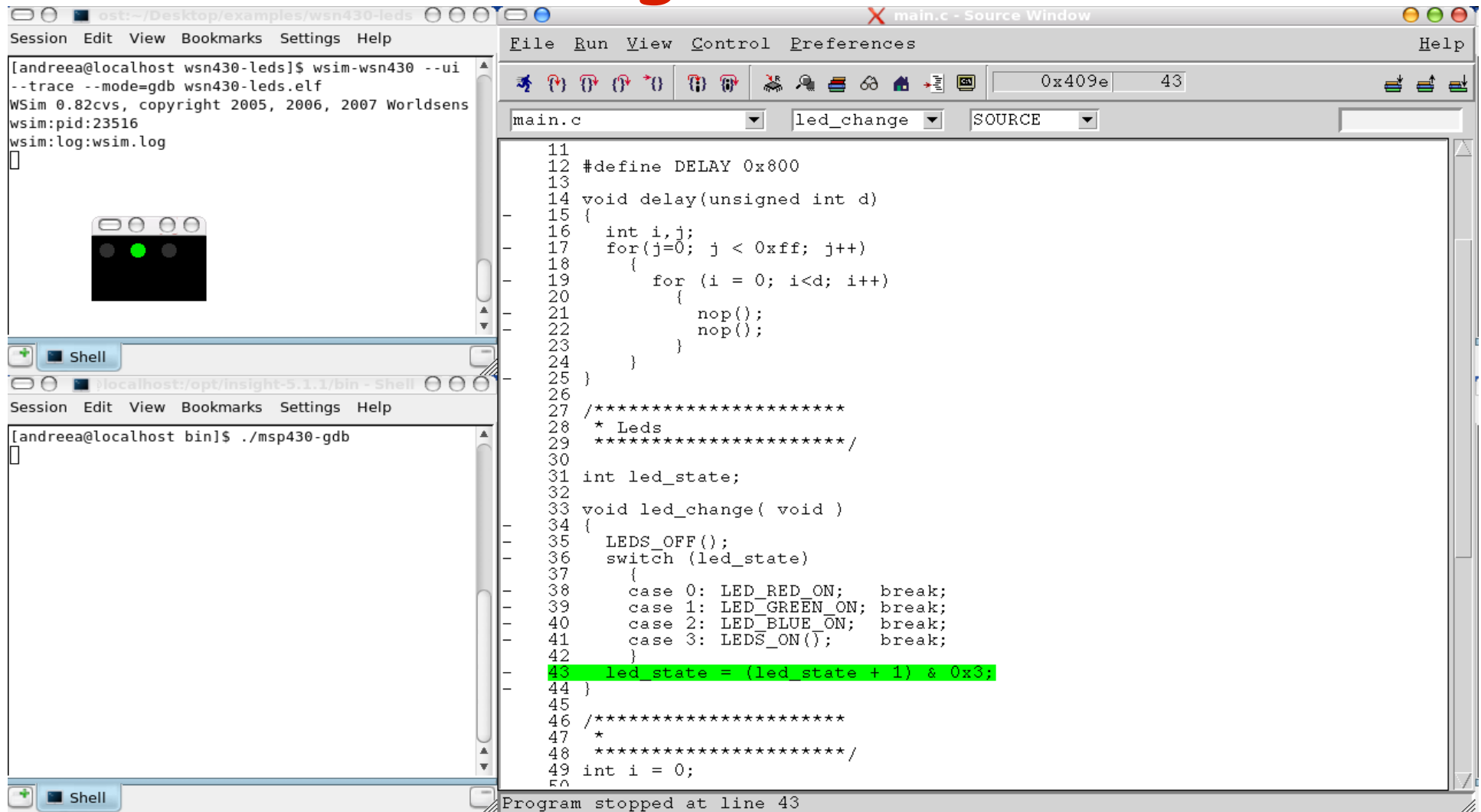
WSIM : Full platform simulator



WSIM

- Full instruction set support for the target microcontroller
- Cycle-accurate simulation
- Simulation of peripherals such as timers
- Interrupts
- Cycle-accurate simulation of other peripherals (e.g. UART)
- External peripherals (radio modules, LCD display)
- A full system debug and performance analysis framework

WSIM : debug

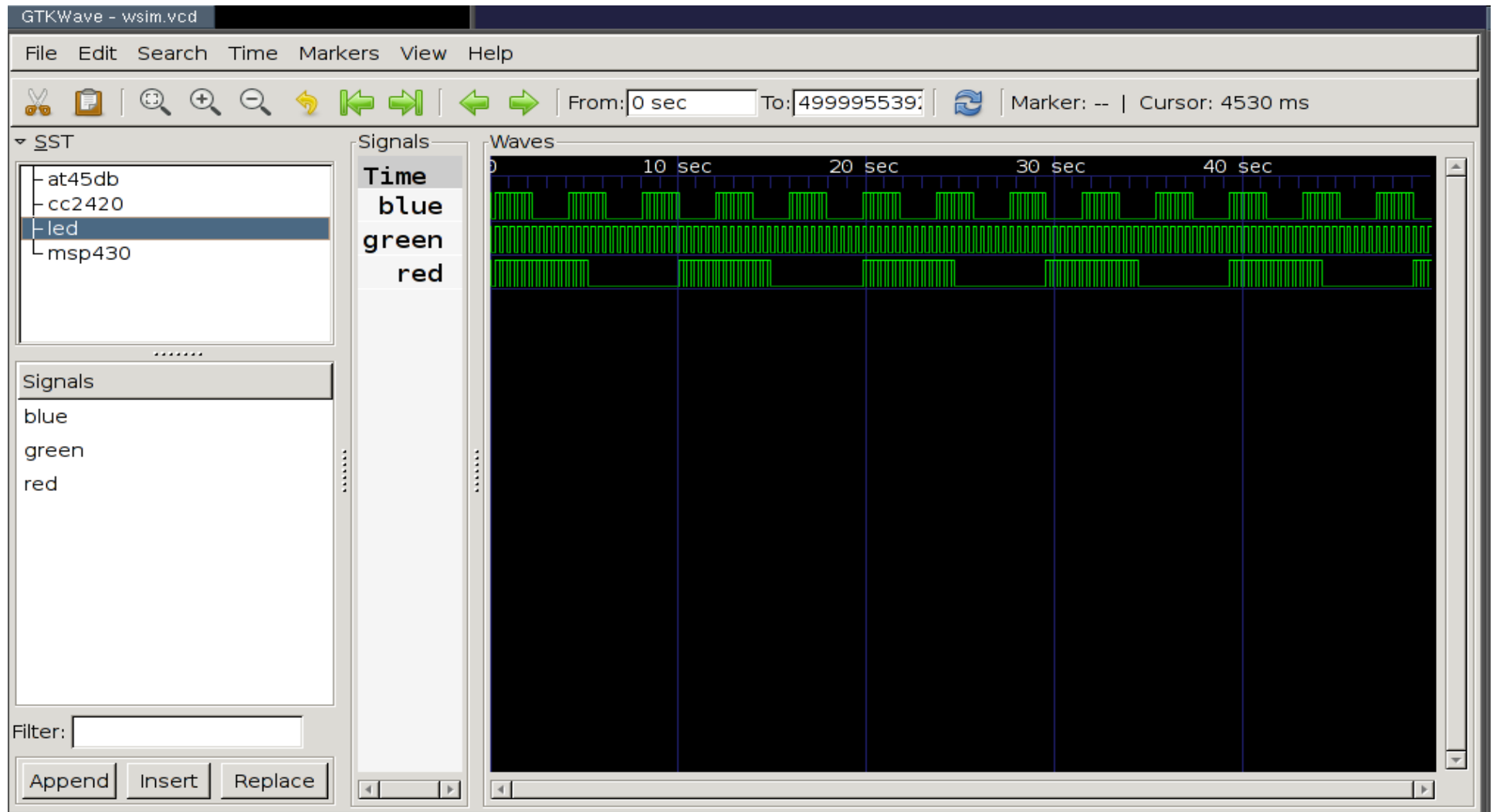


The screenshot displays the WSIM (Worldsims) debugging environment. It consists of several windows:

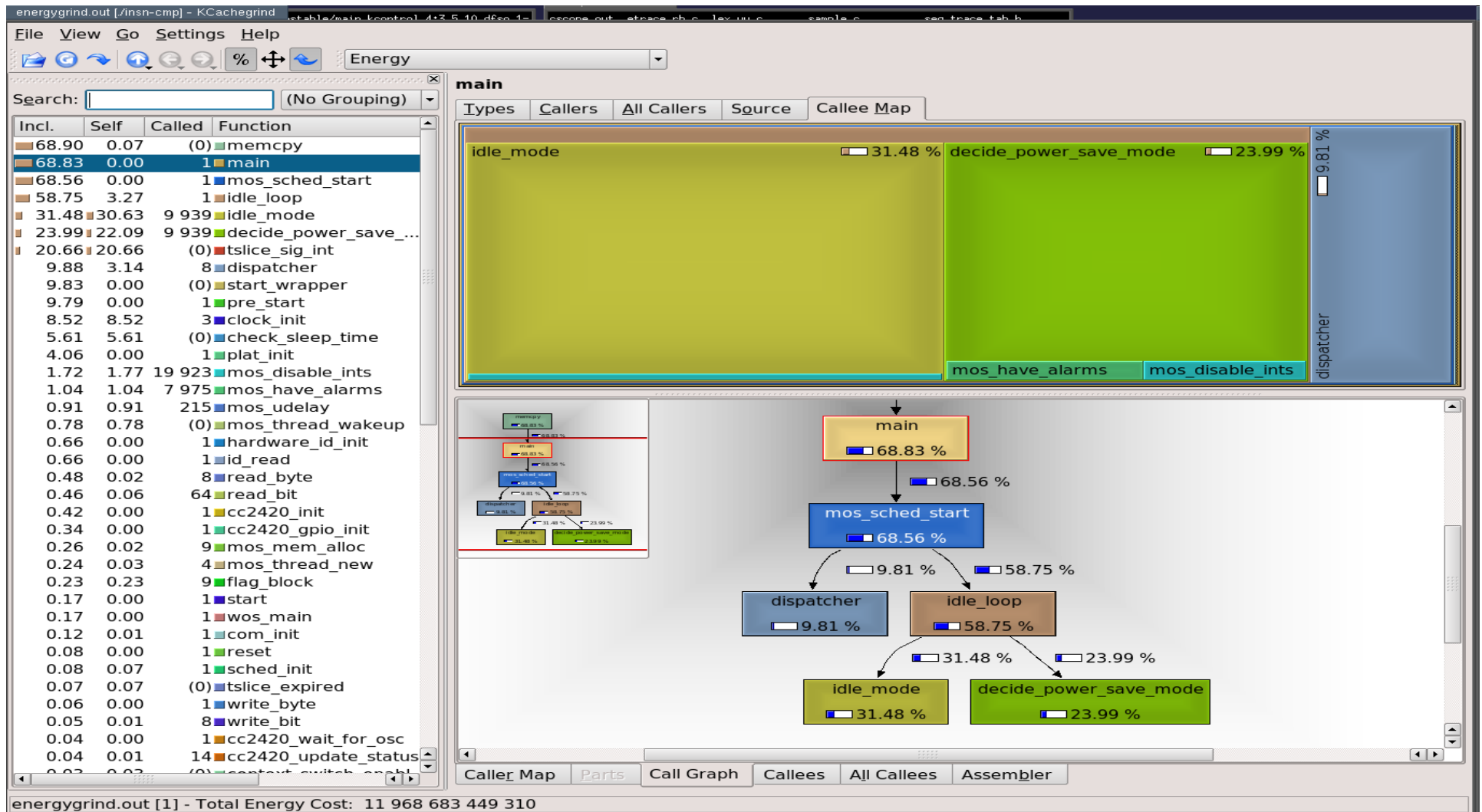
- Terminal Window (Top Left):** Shows the command prompt where the user has executed `wsim-wsn430 --ui --trace --mode=gdb wsn430-leds.elf`. The output indicates the simulation is running with PID 23516 and logging to `wsim.log`. Below the text is a small window with three LEDs, where the middle one is lit green.
- Shell Window (Bottom Left):** Shows the user running `./msp430-gdb` in the `bin` directory.
- Source Window (Right):** Displays the source code for `main.c`. The code includes a `delay` function and a `led_change` function. A breakpoint is set at line 43, which is highlighted in green: `led_state = (led_state + 1) & 0x3;`. The status bar at the bottom of the source window indicates "Program stopped at line 43".

```
11
12 #define DELAY 0x800
13
14 void delay(unsigned int d)
15 {
16     int i,j;
17     for(j=0; j < 0xff; j++)
18     {
19         for (i = 0; i<d; i++)
20         {
21             nop();
22             nop();
23         }
24     }
25 }
26
27 /*****
28  * Leds
29  *****/
30
31 int led_state;
32
33 void led_change( void )
34 {
35     LEDS_OFF();
36     switch (led_state)
37     {
38         case 0: LED_RED_ON;   break;
39         case 1: LED_GREEN_ON; break;
40         case 2: LED_BLUE_ON;  break;
41         case 3: LEDS_ON();    break;
42     }
43     led_state = (led_state + 1) & 0x3;
44 }
45
46 /*****
47  *
48  *****/
49 int i = 0;
50
```

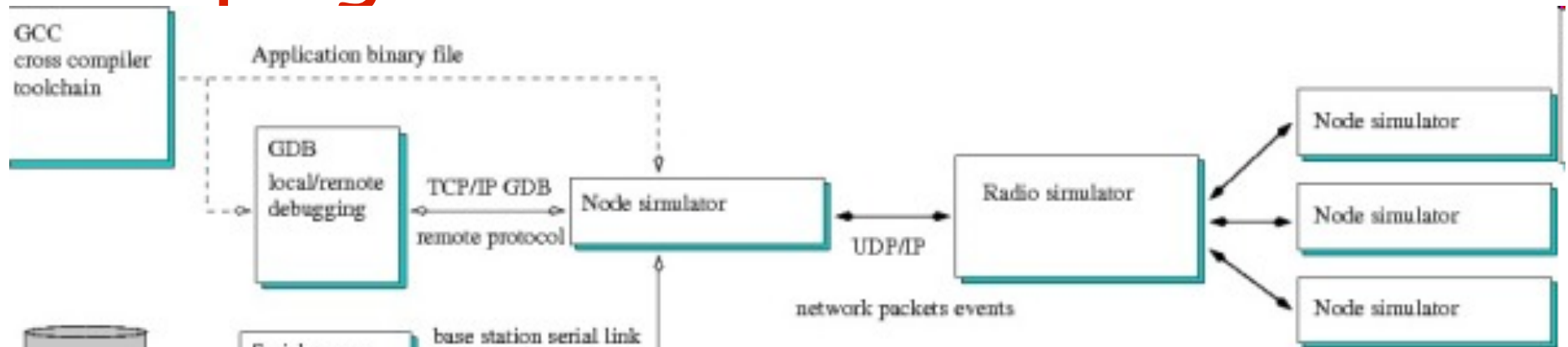
WSIM : GTKWave



WSIM : Cachegrind



Couplage WSIM + WSNET



The screenshot shows a terminal window with several panes:

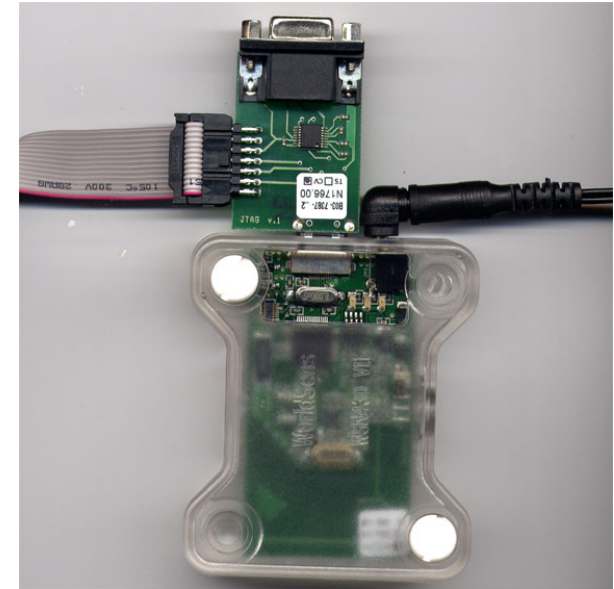
- Serial comm software**: Shows GDB communication logs, including "Sending token to pan id 22101 and addr 11:01" and "Acknowledgment received".
- WSim 0**: Displays network logs for a node with IP 192.168.1.100, showing SYN and ACK packets and timestamps.
- WSim 1**: Displays network logs for a node with IP 192.168.1.101.
- WSim 2**: Displays network logs for a node with IP 192.168.1.102.
- WSim 3**: Displays network logs for a node with IP 192.168.1.103.

Plan

- Retour sur 2 expériences de déploiement *in situ*
 - MOSAR / i-Bird
 - AFSSET / TubExpo
- Aperçu des enjeux « réseaux de capteurs »
- Outils de simulation / développement
- **SensLAB : Plateforme de test très large échelle**

Déploiement d'applications réelles

- Créer de nouveaux protocoles
 - spécification, conception
 - simulation
 - **Expérimentation**
- Problème d'expérimenter à large échelle
 - Extrêmement fastidieux dès 10 capteurs
 - **procédure manuelle, longue, contraignante, peu gratifiante**



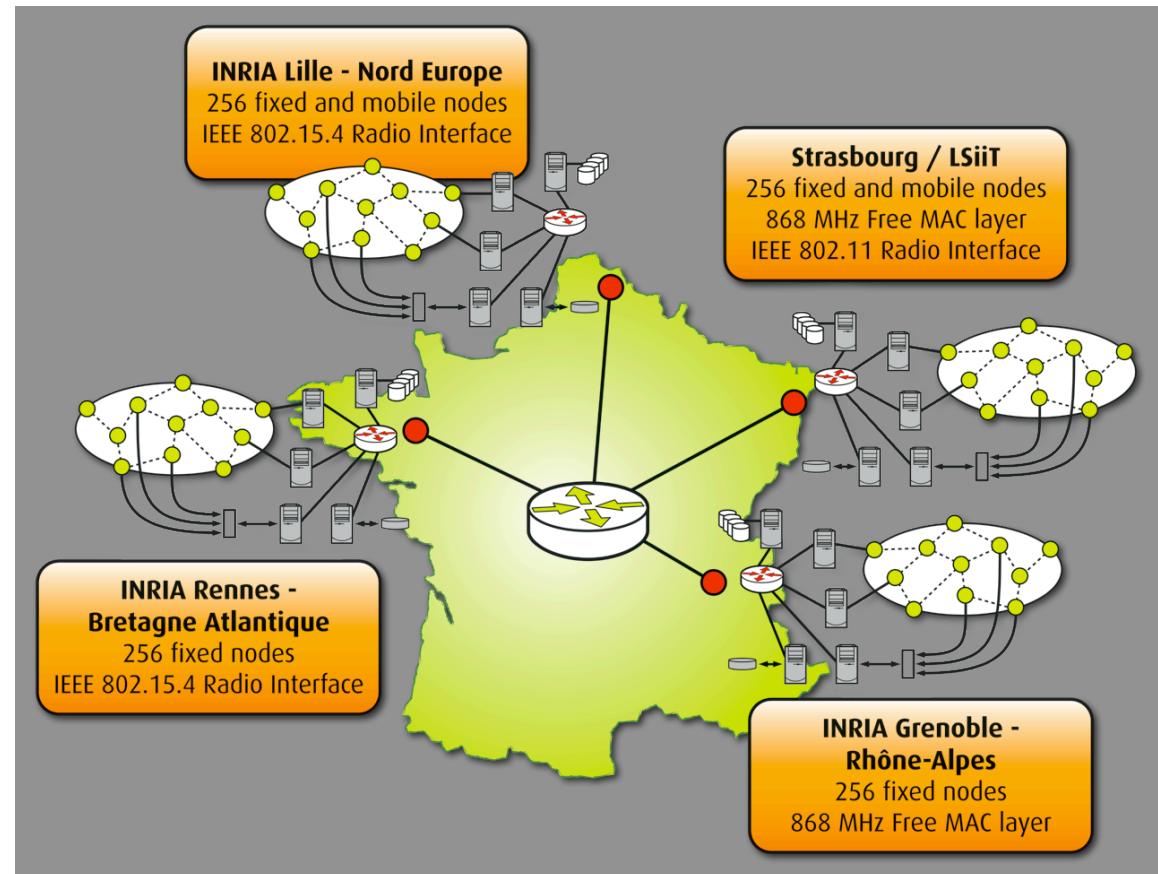
- **Nécessité de créer un outil scientifique spécifique**
- **Notion d'expérience scientifique / reproductibilité**

Plate-forme expérimentale

- But de SensLAB
 - Plate-forme d'expérimentation de réseau de capteurs
 - Outils large échelle pour la communauté scientifique
 - Projet ANR
 - Kickoff février 2008
 - durée 36 mois
- Spécificités
 - Distribuée sur 4 sites distants
 - Grande échelle avec 256 capteurs par site
 - Automatisée / Ouverte
 - Accessible à distance

Plate-forme expérimentale

- 6 partenaires du projet SensLAB
 - Académiques
 - INRIA
 - ASAP
 - D-NET
 - POPS
 - UPMC / LIP6
 - LSIIT
 - Industriels
 - Thalès



Cahier des charges

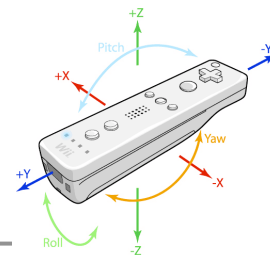
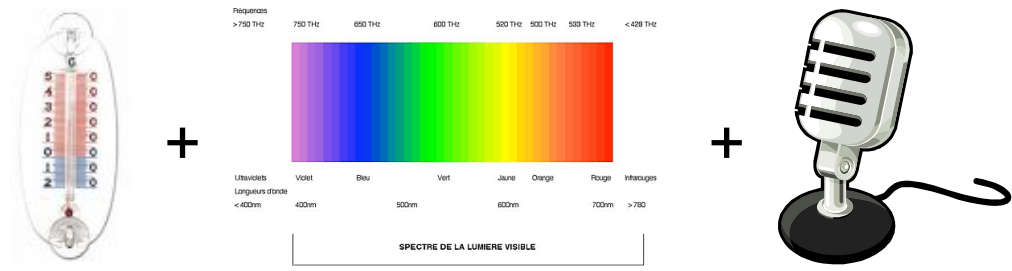
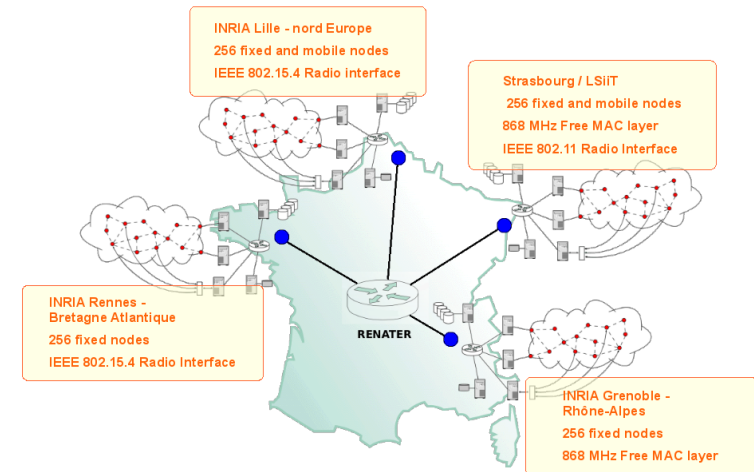
- Outil scientifique national
 - Large échelle → 1000 nœuds
 - Générique / Ouverte
 - Automatisée
 - Hétérogène
 - Accessible à distance
- Fonctionnalités
 - Monitoring non intrusif des applications
 - Énergie,
 - Radio
 - Activité
- Outils de validation
 - A posteriori
 - Prototypage, debug,
 - Evaluation de performance
- Expériences reproductibles
 - *Versioning* des expérimentations
 - *Log / replay* des stimuli

Cahier des charges

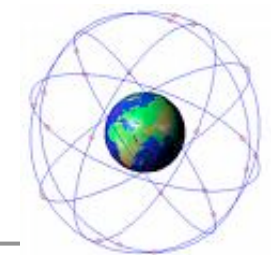
- Hardware
 - Accès temps réel / robuste / fiable à la plate forme distribué
 - Canal retour fiable / filaire pour la gestion et les logs
- Software
 - Support de plusieurs applications simultanément
 - Garanti de la sécurité et de l'intégrité des données générées durant une expérience
 - Offrir un accès au données en temps réel durant une expérience

Caractéristiques très générales

- 4 sites complémentaires :
 - Technologies radio
 - Zigbee IEEE 802.15.4 2,4GHz (TI CC2420)
 - Open MAC 868MHz (TI CC1101)
 - Wi-Fi IEEE 802.11b
 - Senseurs standards
 - température
 - luminosité
 - acoustique
 - Senseurs optionnels
 - Accéléromètre / gyroscope
 - accéléromètre + GPS

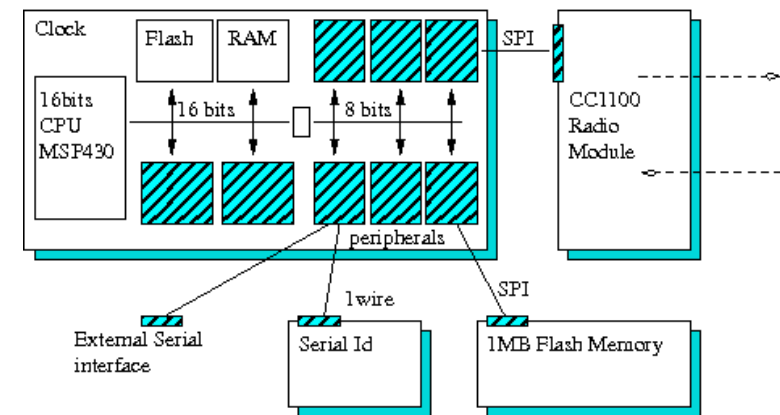
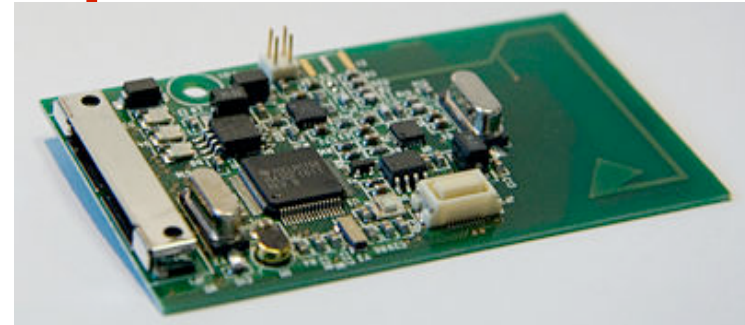


et / ou

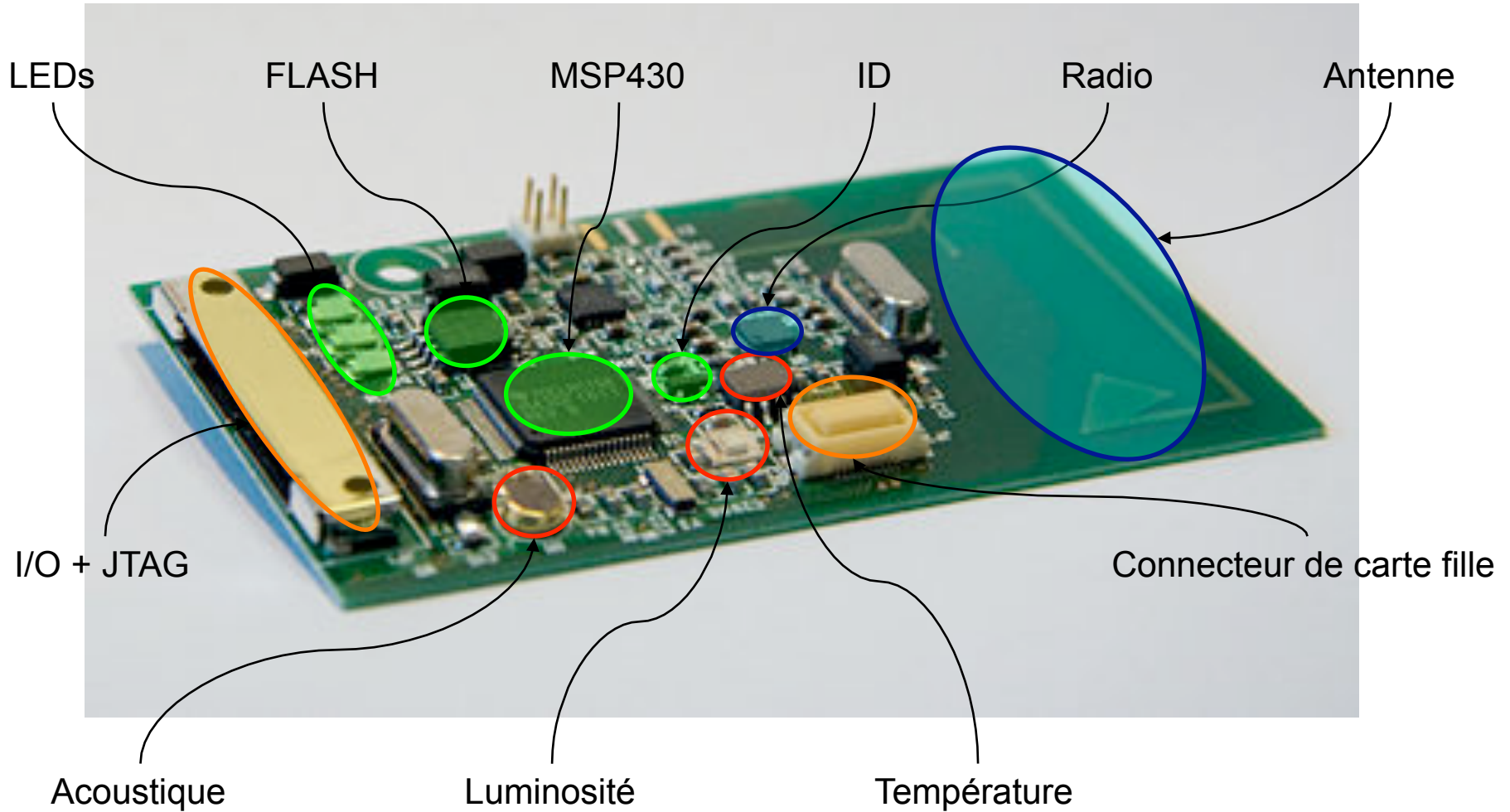


Architecture d'un capteur

- Redéveloppé en interne
- Caractéristiques techniques
 - Micro-contrôleur TI MSP430-1611
 - 8Mhz@16bit
 - 48Ko ROM
 - 10Ko RAM
 - Interface Radio TI CC1101/CC2420
 - fréquence 868Mhz/2.4Ghz
 - puissance de -30dBm à +10 dBm
 - Numéro de série unique DS2411 sur 6 octets
 - Mémoire Flash externe ST M25P80 de 1Mo
 - Batteries Varta avec contrôleur de charge MCP73861

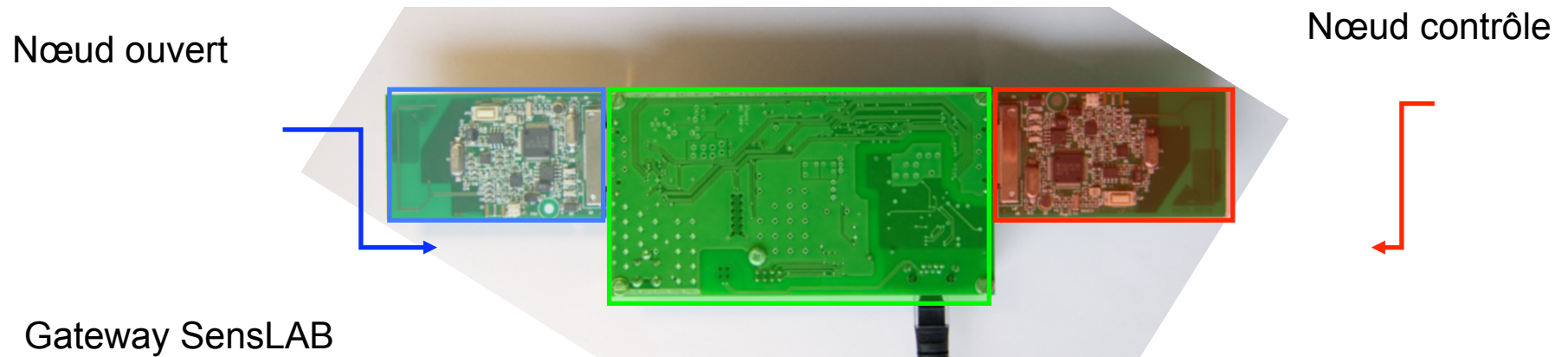


Capteurs SensLAB (D1.1a)



Nœud SensLAB (D1.1b)

- Qu'est-ce qu'un Nœud SensLAB ?
 - Ouvert, *i.e.*, pas d'hypothèse sur le soft déployé sur le capteur
 - Canal retour fiable
 - un nœud ouvert SensLAB dédié à l'utilisateur / expérience
 - un nœud de contrôle SensLAB
 - une gateway SensLAB
- = Nœud Ouvert + Gateway SensLAB + Nœud de Contrôle



Nœud SensLAB

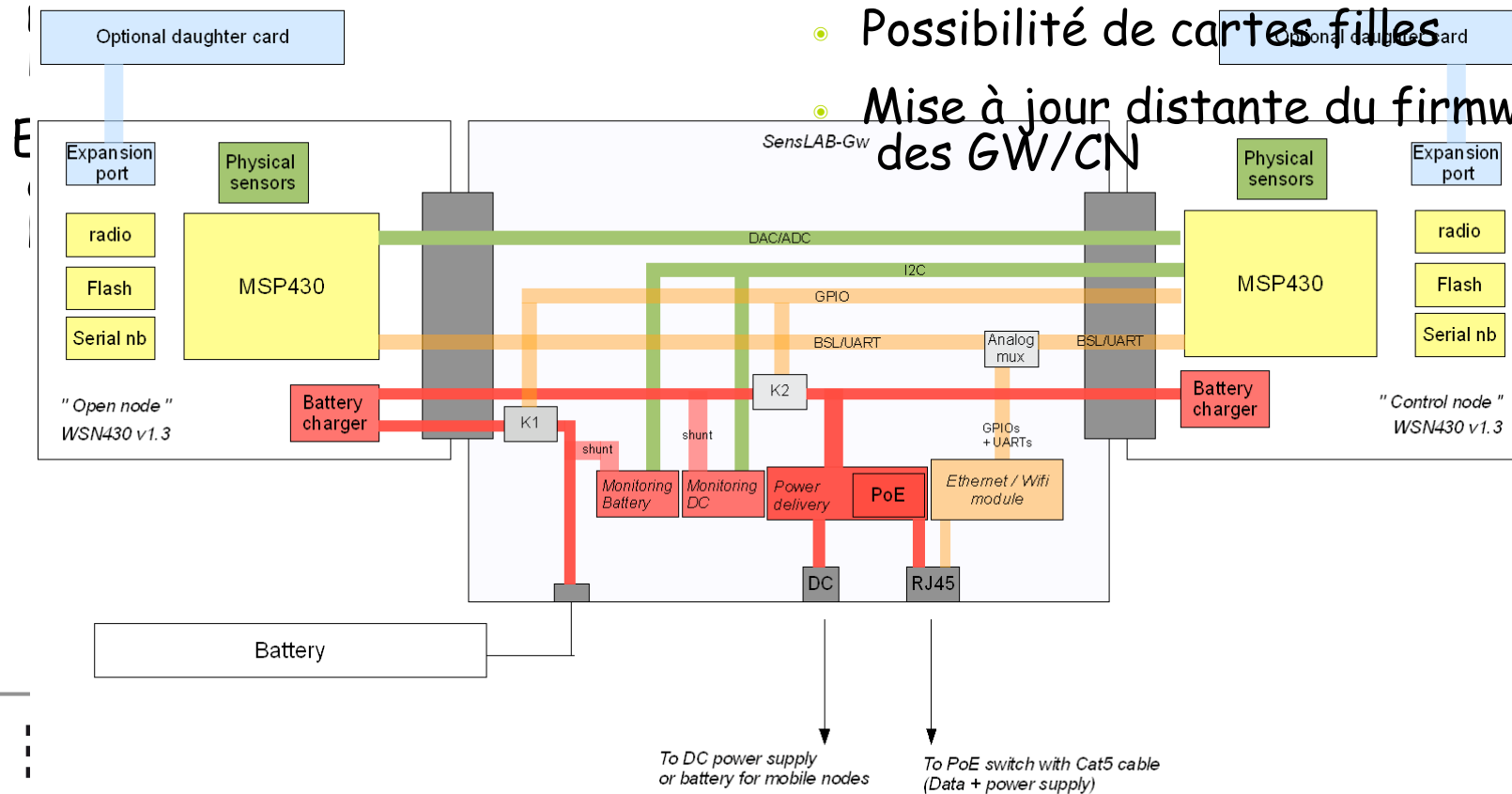
- Nœud Ouvert et Nœud de Contrôle
 - Techniquement identiques → gain/simplicité de réalisation
 - Rôles différents
- Nœud Ouvert
 - Entièrement programmable par l'utilisateur !
- Nœud de Contrôle
 - Firmware non modifiable par l'utilisateur
 - Monitorer le Nœud Ouvert
 - Générer des interférences

Nœud SensLAB

- ◉ Rôle de la Gateway SensLAB
 - Contrôler le Nœud Ouvert et le Nœud de Contrôle
 - Contrôler et mesurer l'alimentation électrique du Nœud Ouvert
 - Simuler une panne du Nœud Ouvert
 - Récupérer les mesures du Nœud de Contrôle
 - Fournir une interface de communication pour le Node Handler

Architecture du nœud SensLAB

- Déploiement automatique de firmware
- Monitoring de consommation (batterie/DC)
- Monitoring radio / injection bruit
- Configuration des capteurs en
- Power over Ethernet pour une alimentation standardisée et une gestion simple
- Configuration de chaque nœud ouvert en mode « sink » (redirection des input/output)
- Possibilité de cartes filles
- Mise à jour distante du firmware des GW/CN



Se connecter à un nœud SensLAB

- Comment se connecter au Nœud SensLAB ?
 - Par l'intermédiaire de la Gateway en IPv4
 - En Ethernet (nœud fixe)
 - En Wi-Fi (nœud mobile, nœud extérieur)

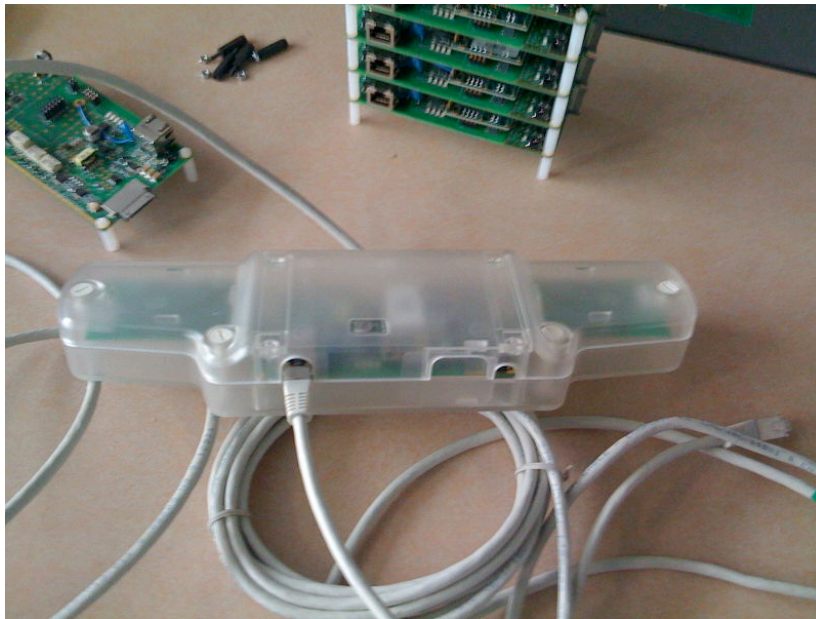


Plate-forme expérimentale

- Résumé des fonctionnalités par site :

	Grenoble	Lille	Rennes	Strasbourg
Zigbee		X	X	
OpenMAC	X			X
802.11b				X

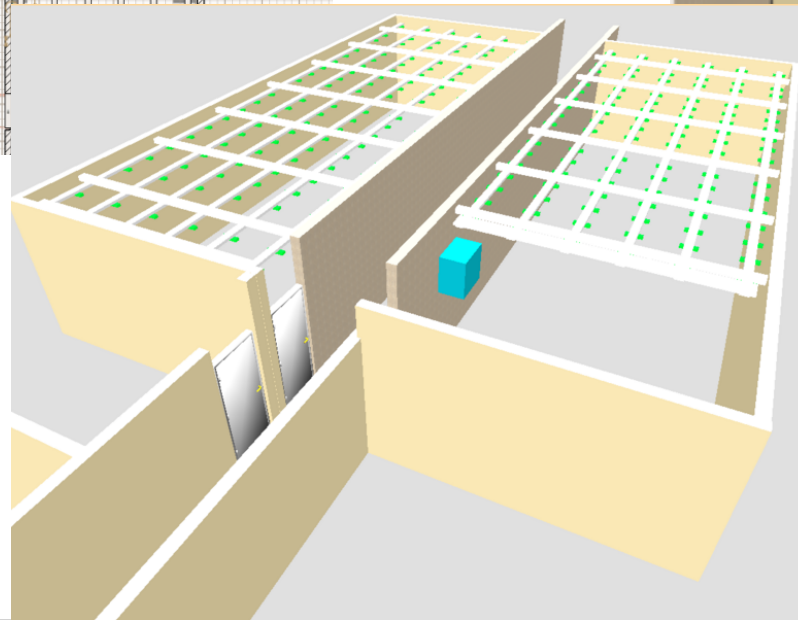
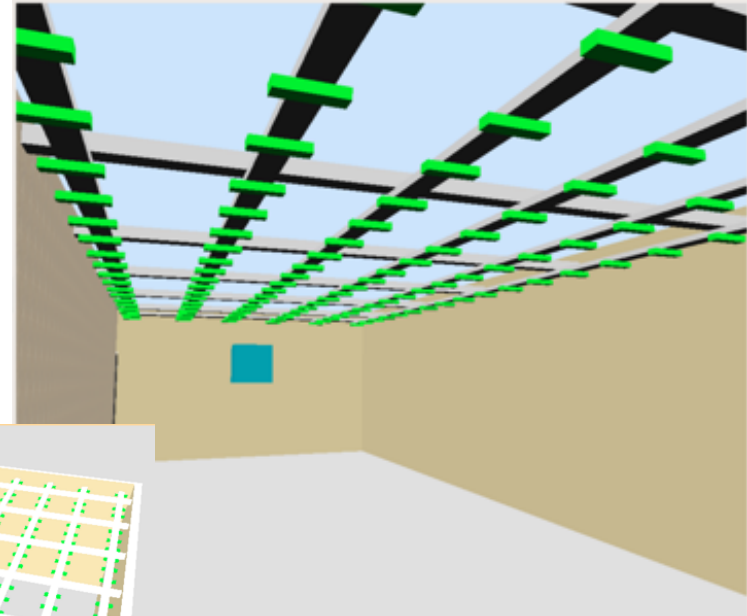
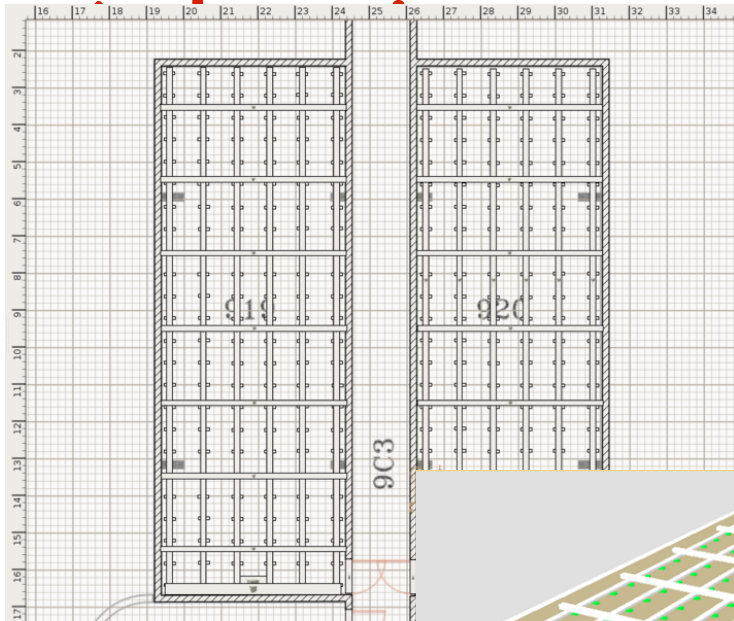
Intérieur	X	X	X	X
Mobilité		X		X
Extérieur				X

Accéléromètre		X		X
GPS				X

Site INRIA Lille - Nord Europe

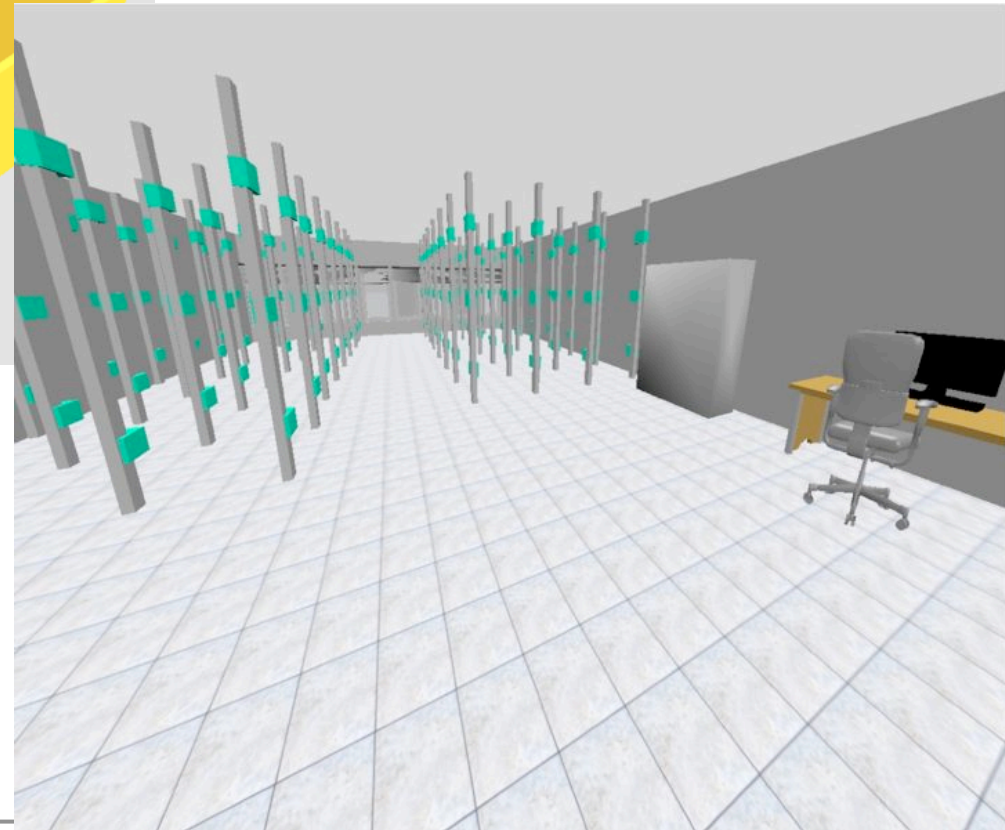
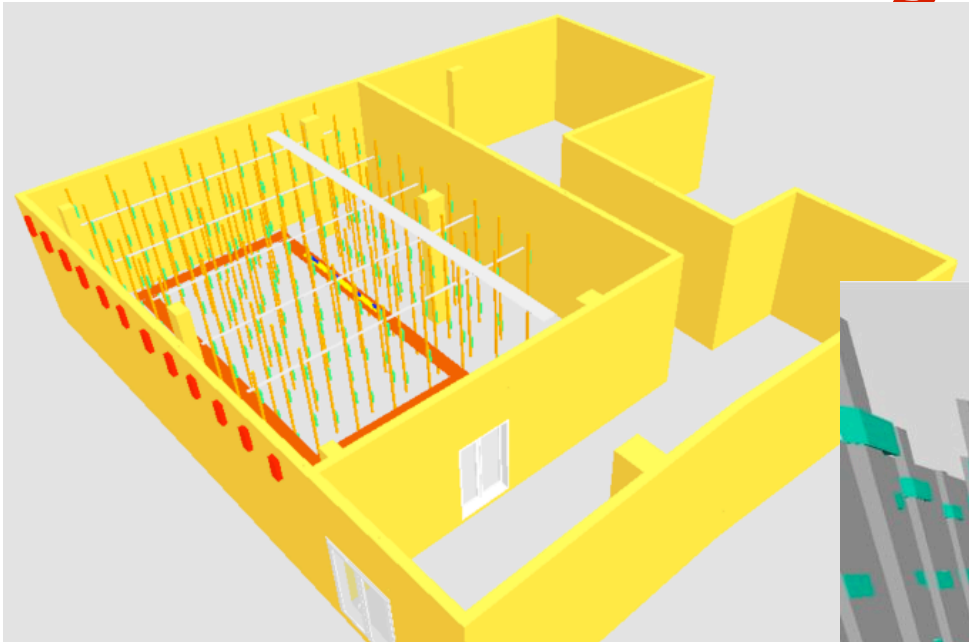


Site INRIA Rennes - Bretagne



- IRISA
 - 2 salles
 - Goulot d'étranglement

Site Strasbourg - LSIIT

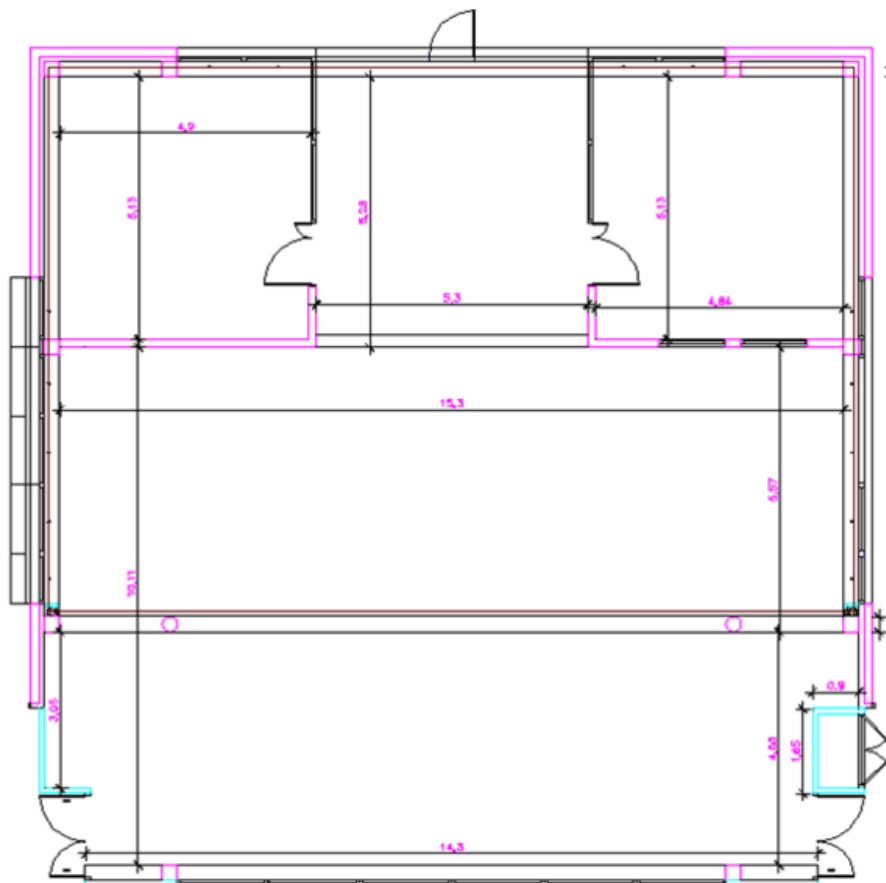


- LSIIT
 - Connexion sur l'extérieur
 - 16 Capteurs mobiles sur rail

Site Strasbourg - LSIIT



Site INRIA Grenoble - Rhône Alpes



- Halle robotique
 - 14m x 14m
 - Mur / plafond / irrégulier

Déploiement sur le site INRIA Grenoble - Rhône Alpes



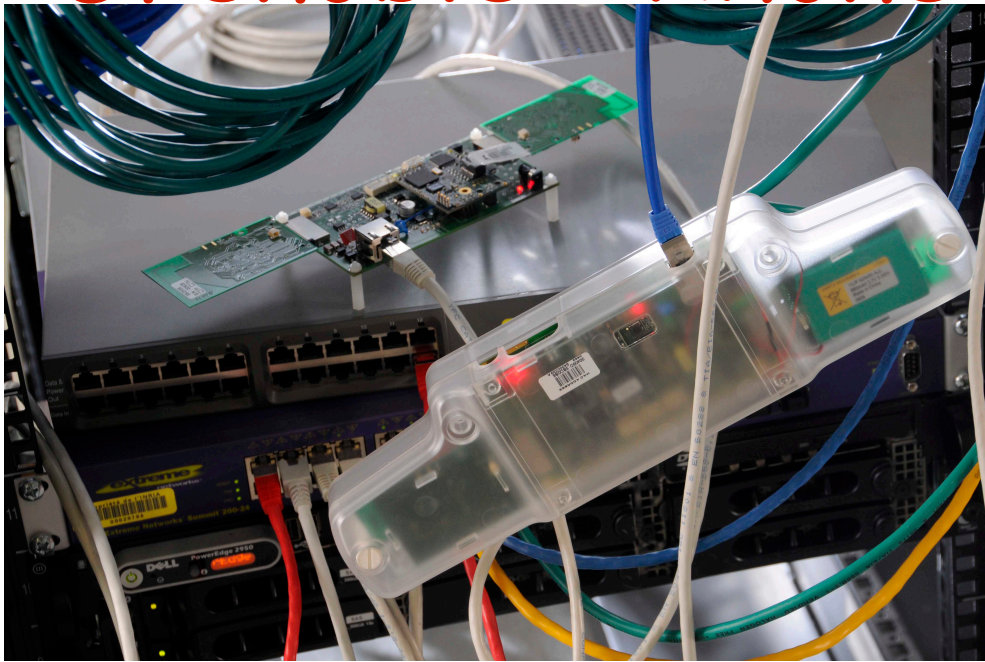
© INRIA / Photo Keksonen

Déploiement sur le site INRIA Grenoble - Rhône Alpes



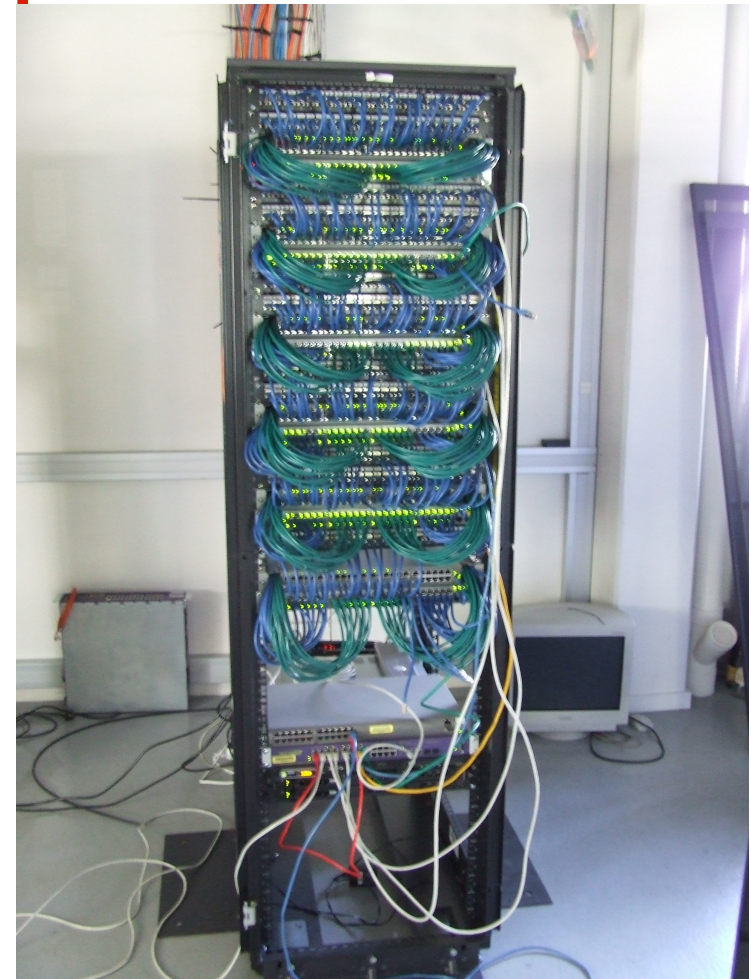
© INRIA / Photo Keksonen

Déploiement sur le site INRIA Grenoble - Rhône Alpes



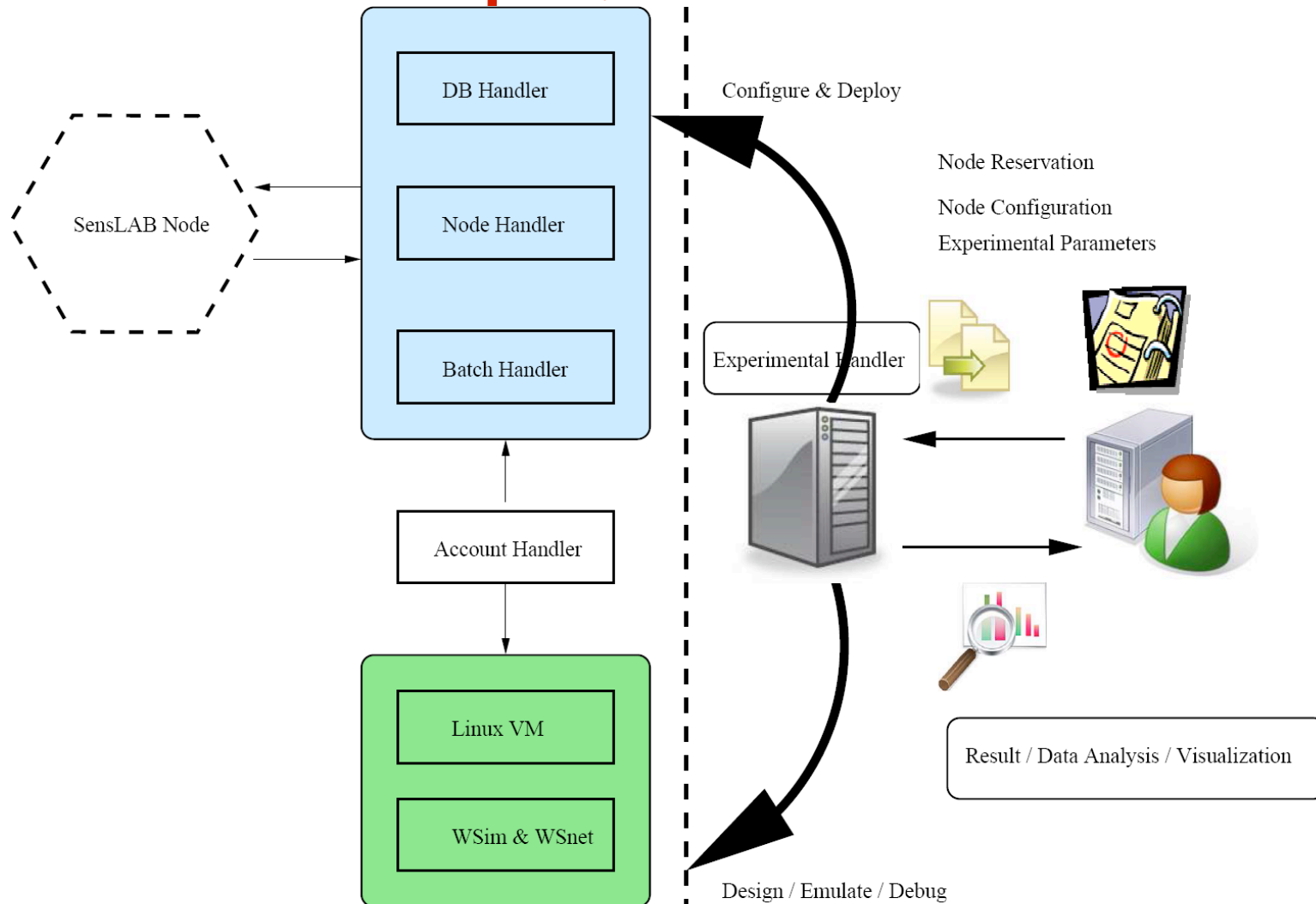
© INRIA / Photo Keksonen

Ouverture
septembre
2010



© INRIA / Photo Keksonen

Vue très simplifiée !



Merci!

Institut Pasteur/Inserm

- Pr Didier Guillemot
- Dr Jérôme Salomon
- Inga Bertucci
- Laure Petit
- Odile Le Minor
- Anne Demond
- Et le reste de l'U657/PhEMI

Hôpital de Garches – AP-HP

- Pr Jean-Louis Herrmann
- Dr Christine Lawrence
- Corinne Langlois
- Dr Estelle Ronco
- Syana Fausta
- Mathilde Padilla
- Carole Grégoire
- Sylvie Blua
- Marie-Noëlle Sculo et Jean-Pierre Menjon
- Marie-Hélène Canneson et Patricia Béal
- Anne-Laure Roux et Yassine Boutrad
- Et le reste du laboratoire de l'Hôpital de Garches

Hôpital Maritime de Berck – AP-HP

- Brigitte Martel
- Peggy Vuillin
- Dr Philippe Tronchet
- Catherine Lys
- Catherine Sacleux
- Joëlle Sabatier
- Valérie François
- Christelle Billet
- Valérie Charlier
- Christine Lebas, Marie-Cécile Colmant, et Pascal Delmotte
- Les cadres, médecins et personnel administratif
- L'équipe soignante pour leur participation
- Les patients pour leur participation

AP-HP

- Jean-Michel Péan
- Christophe Menuet
- Pr Christian Brun-Buisson
- Anouk Vandenberghe

INRIA

- Antoine Fraboulet
- Guillaume Chelius
- Adrien Friggerii

InGen Biosciences

- Camille Cyncynatus
- Damien Thomas

Inserm Transfert

- Jérôme Weinbach
- Delphine Sondaz

Inserm ADR Paris V

- Lyddie Laaland
- Laurence Parmentier
- Christine Rulliat
- Huguette Pellemeule
- Priscille Riviere

Institut Pasteur

- Marie-Pierre Landète
- Francis Décheron
- Corinne Jamma

Equipe i-Bird

- Marie-Laure Delaby
- Marie Perard
- Isabelle Mouton
- Florence Dannet
- Audrey Baraffe
- Jennifer Lassley

INRIA

- M. Bertier
- R. Pissard Gibollet
- C. Brailion
- C. Burin des Rozières
- L. Lemaître
- N. Mitton
- D. Simplot Ryl
- J. Vandaele

UMPC / LIP6

- M. Dias de amorim
- T. Claveirole

LSIIT

- A. Gallais
- T. Noel
- G. Schreiner

Thales

- Vania Conan
- J. Leguay
- V. Gay

Plus d'information

- [Film de présentation de MOSAR](#)
- [WebTV de la Cité des sciences et de l'industrie](#)
- [Film de présentation de SensLAB](#)

- www.senslab.info
 - Plate forme de test large échelle
- esimu.gforge.inria.fr :
 - Analyse de trace, annotation de code source avec information de performance et de consommation.
- wsim.gforge.inria.fr
 - Emulateur de plateforme de capteur
- wsnet.gforge.inria.fr
 - Simulateur de réseau radio

