



Les réseaux de capteurs sans fil au service des applications agri-environnementales

Séminaire Réseaux de capteurs sans fil

LabSTICC, Faculté de sciences, Brest

30 septembre 2010

JACQUOT Aurélien, CHANET Jean-Pierre, DE SOUSA Gil

Cemagref Clermont-Ferrand

UR TSCF – équipe COPAIN

aurelien.jacquot@cemagref.fr

► Le Cemagref

► Le Cemagref : EPST

- 9 centres sur la France + 2 antennes
- 20 UR, 5 UMR, 1600 personnes dont 200 doctorants

► 3 départements scientifiques

- Eaux
 - › *Ressources, milieux, usages et risques*
- Écotechnologies
 - › *Réseaux, épuration, déchets*
- Territoires
 - › *Développement territorial, biodiversité, risques et vulnérabilités*

► Travaux entrepris

- Systèmes d'information et de collecte géographique
- Robotique mobile
- Économie
- Pratiques d'élevage
- Machinisme agricole



► Centre de Clermont-Ferrand (63)

► UR TSCF

- Technologies et système d'information pour les agrosystèmes (*Clermont-Ferrand(63), Montoldre(03)*)
- 3 équipes de recherche :
 - › *TEAM : Technologies épandage, agroéquipements, mobilité*
 - › *CARAC'TERRE : Matériaux et milieux*
 - › *COPAIN : Systèmes d'information communicants et agri-environnementaux*

► Equipe COPAIN

- Equipe de 15 personnes (*12 permanents, 1 post-doc, 2 doctorants*)
- Thématiques de recherche
 - › *Réseaux de capteurs sans fil*
 - › *Entrepôts de données*
 - › *Systèmes d'Information Géographiques*

► Sites Internet

- <http://www.cemagref.fr>
- <http://www.cemagref.fr/tscf/copain>

► Plan de la présentation

- 1. Introduction**
- 2. Etat de l'art des applications des RCSFs**
- 3. Plateformes matérielles couramment utilisées dans les RCSFs**
- 4. Présentation des aspects logiciels pour les RCSFs**
- 5. Quelques exemples d'applications concrètes dans l'agriculture**
- 6. Retour d'expérience avec les contraintes rencontrées et les résultats obtenus**
- 7. Conclusion et perspectives**

► Histoire des réseaux de capteurs sans fil

► Développement années 90-2000

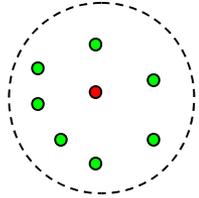
- Premier pas avec l'armée
 - › *Surveillance de zones de combat*
 - › *Support technique aux soldats*
- Démocratisation via les universités américaines en lien avec l'armée
 - › *Massachusetts Institute of Technology*
 - › *Berkeley*
 - › *Stanford*
- Technologies étudiées dans des grandes universités
 - › *Chine : Harbin Institute Technology*
 - › *Chine : Wuhan University*
 - › *France : Laboratoire de l'Informatique du Parallélisme, ENS Lyon*
 - › *France : Université de Technologie de Troyes*
 - › *Allemagne : Institute of Operating Systems and Computer Networks*
 - › *Braunschweig Institute of Technology*
 - › ...

► Vaste domaine d'applications

- Urbaines
- Agricoles
- Domotique

► Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs)

► **RCSF : Ensemble de nœuds communicants sans fil capable de récolter et transmettre des données environnementales**



► **Nœud : plateforme matérielle utilisée**

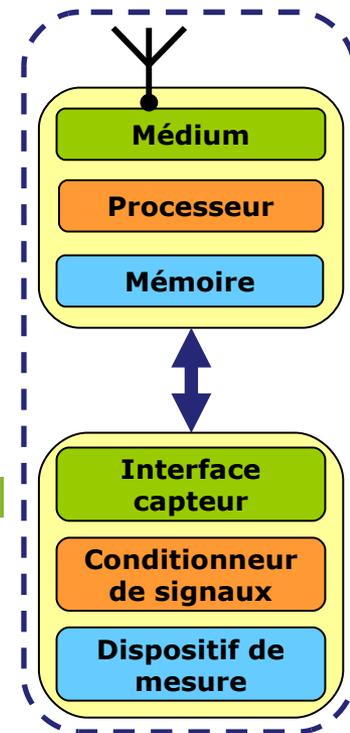
- Ressources processeur et mémoire
- Médium de communication sans fil

► **Capteur : dispositif réalisant la mesure**

- Interface de communication
- Conditionneur de signaux
- Dispositif de mesure

► **OIC : Objet intelligent communicant sans fil**

- Nœud
- Capteur



2 grandes catégories de nœuds

► Nœud « poussière » (« smart dust »)

- Miniaturisation extrême
 - › Nanotechnologie
- Fonctionnalités limitées
- Nombre et type de capteurs fixés
- Non réutilisable
- Biodégradable



► Nœud évolué

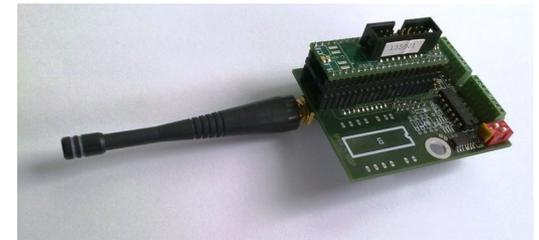
- Nouvelle génération de « systèmes embarqués »
- Fonctionnalités complexes
- Stockage des données
- Interfaçage de différents capteurs



Mica2



Tmote Sky



LiveNode

- 1. Introduction**
- 2. Etat de l'art des applications des RCSFs**
- 3. Plateformes matérielles couramment utilisées dans les RCSFs**
- 4. Présentation des aspects logiciels pour les RCSFs**
- 5. Quelques exemples d'applications concrètes dans l'agriculture**
- 6. Retour d'expérience avec les contraintes rencontrées et les résultats obtenus**
- 7. Conclusion et perspectives**

► Classement par mode de fonctionnement

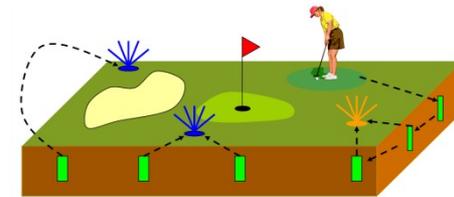
► Flux de données

- Surveillance de phénomènes environnementaux
 - » *Eruptions volcaniques, crues, tsunamis , etc.*



► A la demande

- Acquisition ponctuelle de données environnementales
 - » *Température, humidité, pression, pollution, etc.*

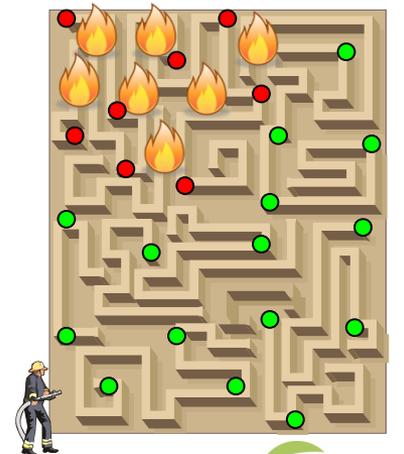


► Discontinu

- Echange d'informations entre mobiles
 - » *Transports et véhicules intelligents*

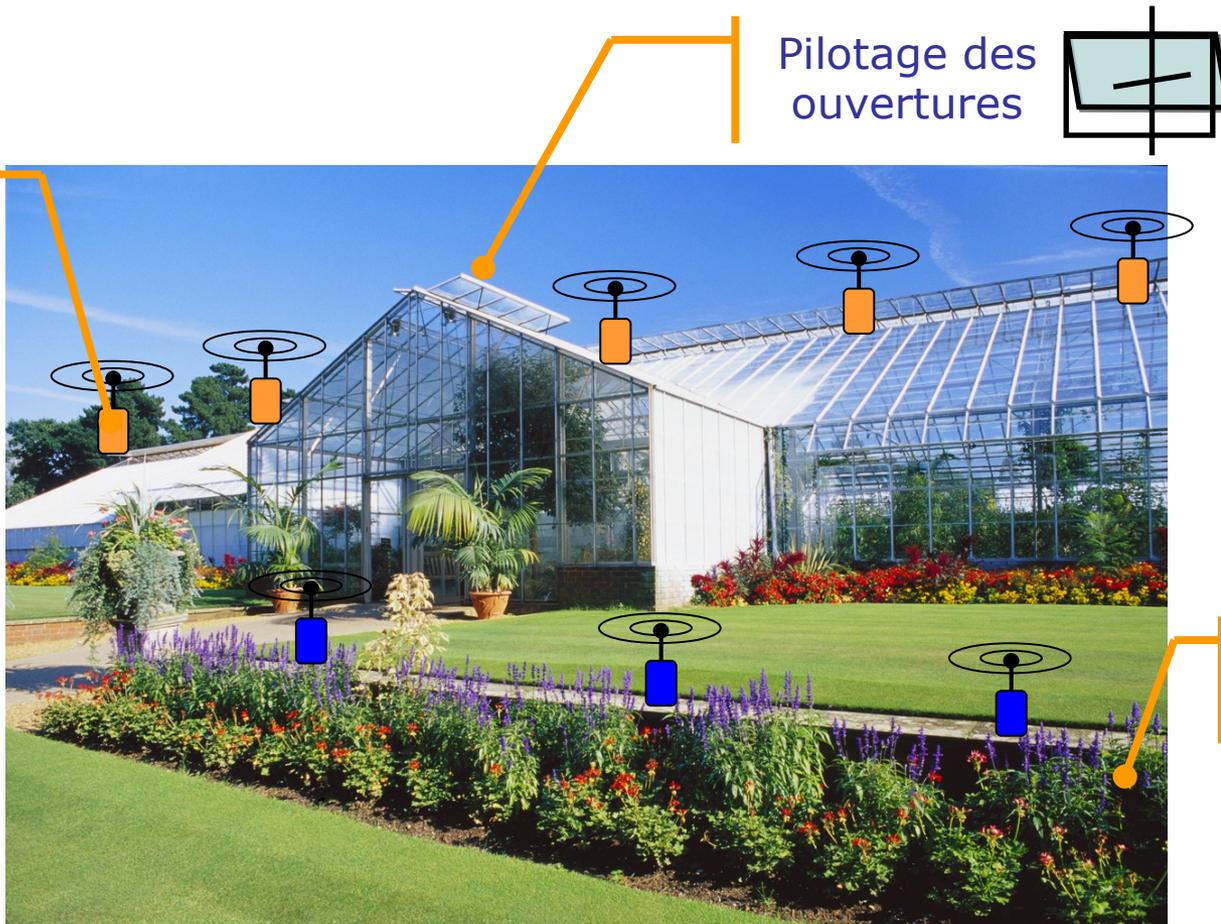
► Événementiel

- Surveillance de personnes
 - » *Zones militaires, habitats intelligents, télémédecine, etc.*

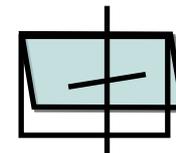


► Surveillance de serres de culture

- **Pilotage des différents équipements**
- **Relevés de données climatiques ou agronomiques**
 - » *Hydrométrie, température, ventilation, ensoleillement*
 - » *Croissance des plantes, évolution du feuillage, diamètres des fruits, etc.*



Pilotage des ouvertures



Pilotage de l'irrigation



► Coopération de robots mobiles



► Flotte de véhicules

- Un seul pilote pour plusieurs machines
- Communication inter-véhicule

► Diminution des coûts

- Une machine leader
- Robots suiveurs

► Optimisation des passages

- Trajet le plus court
- Trajet le moins consommateur
- Trajet le plus rapide

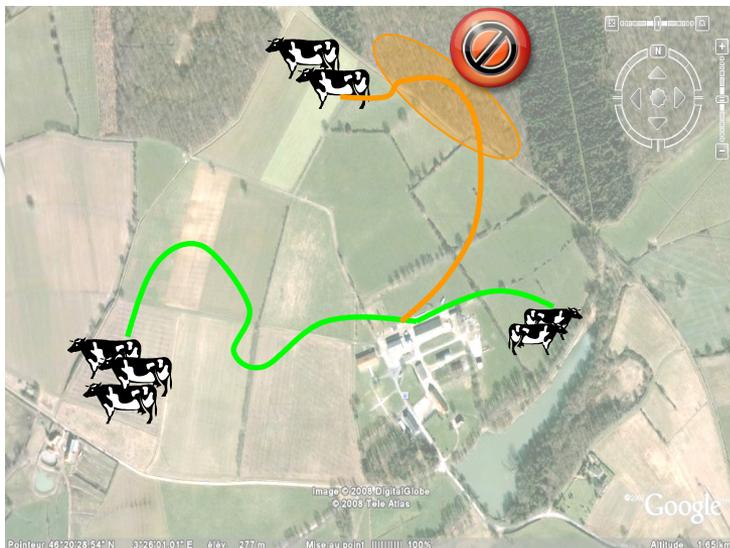
► Impact sur le sol

- Travail du sol

► Comportement des animaux

► Suivi d'animaux à distance

- Prédiction des maladies
- Clôture virtuelle via le collier des bêtes
 - › *Prévention puis punition de l'animal s'il va dans une zone interdite*
- Labellisation des produits
- Suivi de la population
 - › *Habitude*
 - › *Reproduction*
 - › *Alimentation*



► Surveillance de parcelles agricoles

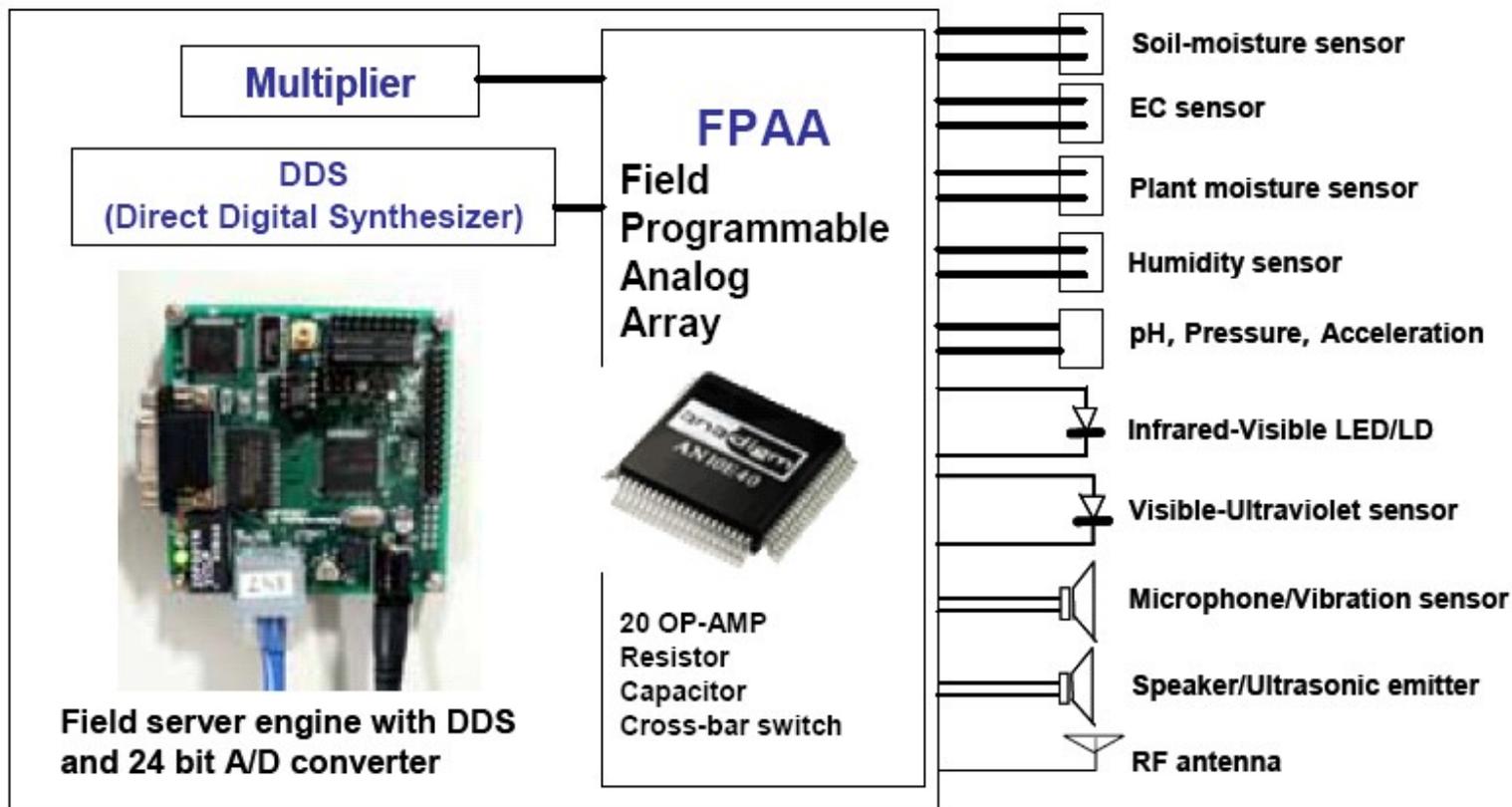


Fig. 1 The field server engine driving various sensors used in the developed environmental measurement system.

Masayuki Hirafuji et al., National Agricultural Research Center, Tsukuba, Japan

► Infrastructures routières

► Gestion des embouteillages

- Mise en place d'itinéraires de délestage
- Changement des limitations de vitesse
- Ouverture de voies supplémentaires

► Gestion des accidents

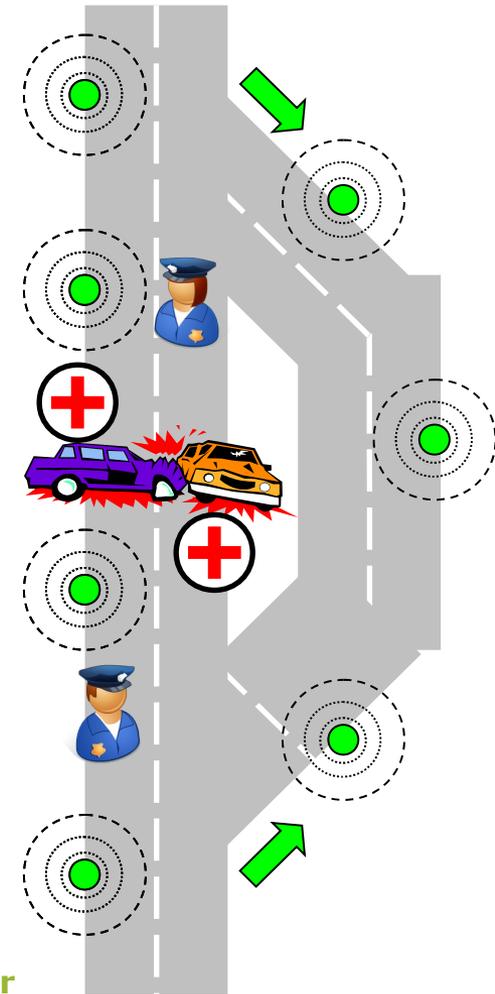
- Mise en place d'itinéraires de contournement
- Définition de l'accident
- Appui à l'intervention des secours
- Aide aux personnes

► Services aux automobilistes

- Internet (navigation, VOD, musique)
- Informations trafic

► Vidéo de synthèse présentant le cas d'un feu dans un tunnel routier

- Youtube : Road tunnel fire rescue with the Internet of Things
» http://www.youtube.com/watch?v=RU21YO6XF_o



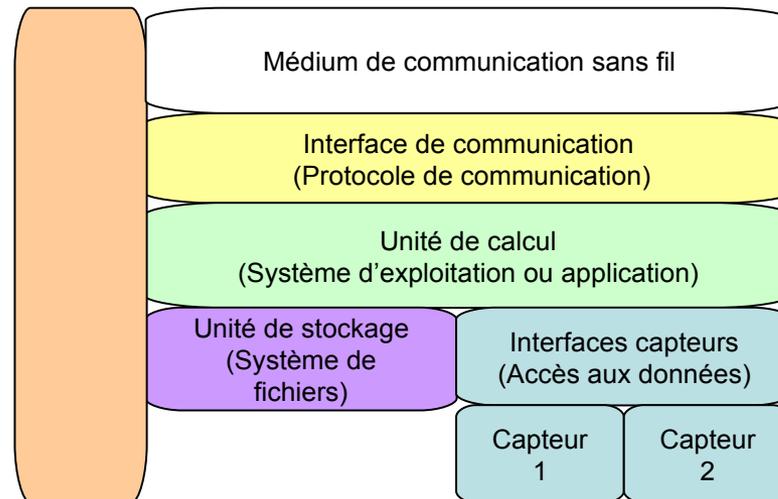
- 1. Introduction**
- 2. Etat de l'art des applications des RCSFs**
- 3. Plateformes matérielles couramment utilisées dans les RCSFs**
- 4. Présentation des aspects logiciels pour les RCSFs**
- 5. Quelques exemples d'applications concrètes dans l'agriculture**
- 6. Retour d'expérience avec les contraintes rencontrées et les résultats obtenus**
- 7. Conclusion et perspectives**

► Plateformes utilisées (OIC) dans les RCSFs

► Modélisation d'un OIC

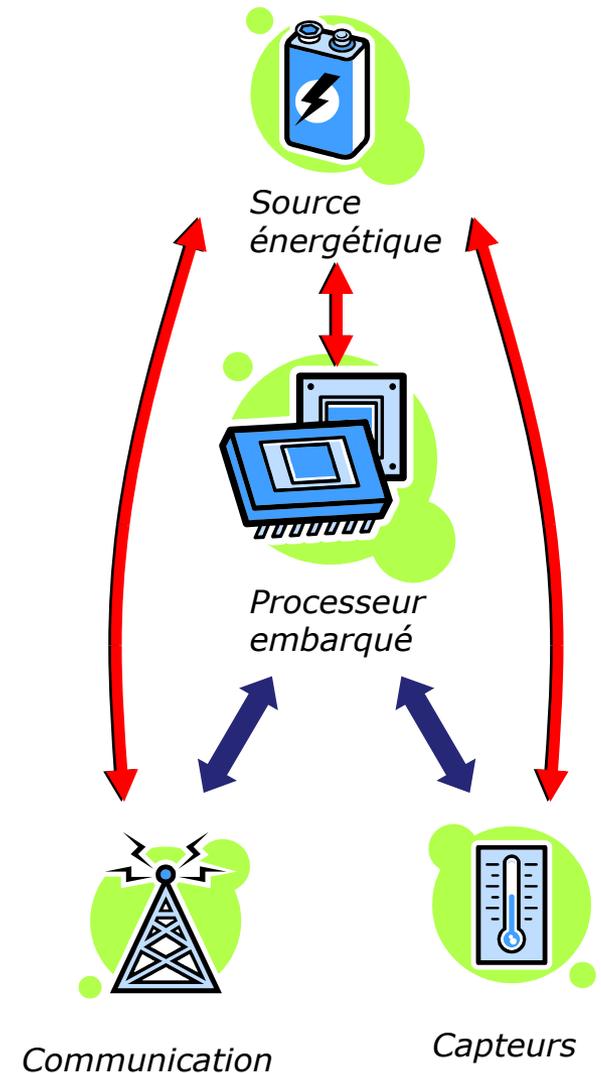
- Unité de calcul (processeur)
- Interfaces génériques vers les capteurs
- Unité de stockage (mémoires internes et externes)
- Interface de communication
- Médium de communication sans fil

► Gestionnaire de l'énergie



▶ Contraintes subies par les OICs

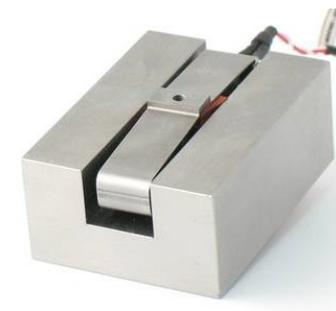
- ▶ **Autonomie énergétique**
 - Source énergétique limitée
- ▶ **Ressources embarquées**
 - Processeur et mémoire limités
- ▶ **Communication**
 - Interférences, obstacles
- ▶ **Capteurs**
 - Calibration, interfaçage
- ▶ **Taille du système**
 - Faible encombrement



► Sources d'énergie utilisées

► Renouvelables

- Solaire
- Eolien
- Hydraulique
- Vibrations



► Non renouvelables

- Piles alcalines standard
- Piles rechargeables NiMh/NiCd
- Piles lithium Li-Po
- Super capacité
- Réseau électrique

► Mica2 de Crossbow Technology

► Remplacement de la plateforme MICA

- Développée à l'université de Berkeley, USA
- Commercialisée par la société Crossbow Technology

► Conçue pour les RCSFs à faible source d'énergie

- Processeur ATMEL ATmega128L
- Autonomie supérieure à 1 an avec 2*AA avec le mode veille
- Capteurs embarqués (*température, luminosité, humidité*)
- Extensions possibles
 - » *Température, accéléromètre, PH, etc.*

Plateforme Mica 2		
Processeur	ATmega128L (8bits)	
Fréquence	Jusqu'à 16MHz	
Mémoire	128 ko (Flash), 4 ko (RAM)	
Communication	ISM 868/916MHz, 4.8 ko/s	
Portée	Intérieure: /	Extérieure : 150m
Consommation	Tx : 27mA	Rx : 10mA
	Veille : < 0.1µA	
Alimentation	2 * 1.5V AA	
Taille (mm)	58 x 32 x 7	



► TMote Sky de moteiv

► Nœud polyvalent : passerelle ou nœud de collecte

- Développé à l'université de Berkeley, USA
- Commercialisé par la société moteiv

► Caractéristiques principales

- Processeur Texas Instruments MSP430
- Capteurs embarqués
 - » *Température, humidité, luminosité*
- Interface USB pour la programmation et la communication

Plateforme TMote Sky		
Processeur	TI MSP430 (16bits)	
Fréquence	Jusqu'à 8MHz	
Mémoire	48 ko (Flash), 10 ko (RAM)	
Communication	IEEE802.15.4, 2.4GHz, 32 ko/s	
Portée	Intérieure: 50m	Extérieure : 125m
Consommation	Tx : 21mA	Rx : 23mA
	Veille : ~ 5µA	
Alimentation	2 * 1.5V AA ou port USB	
Taille (mm)	65.5 x 32 x 6.6	



► Fleck 3 du CSIRO

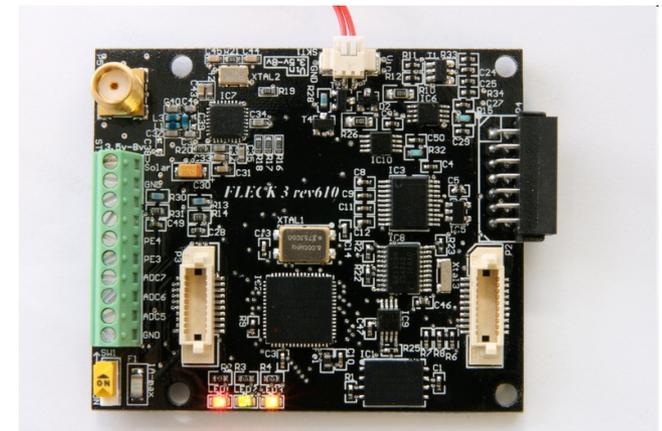
► Famille Fleck (3 versions)

- Développé à Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australie
- Commercialisé

► Caractéristiques principales

- Processeur Atmel ATmega128 commun aux 3 versions
- Nombreuses extensions possibles
 - » *DSP, GPS, humidité, température, caméra, etc.*

Plateforme Fleck 3		
Processeur	ATmega128 (8bits)	
Fréquence	Jusqu'à 16MHz	
Mémoire	128 ko (Flash), 4 ko (RAM)	
Communication	ISM 433/868/915MHz, 6.3 ko/s	
Portée	Intérieure: /	Extérieure : 1300m
Consommation	Tx : ~30mA	Rx : ~20mA
	Veille : ~ 30µA	
Alimentation	NiMH, supercapacité, solaire	
Taille (mm)	60 x 50	



► LiveNode du laboratoire LIMOS

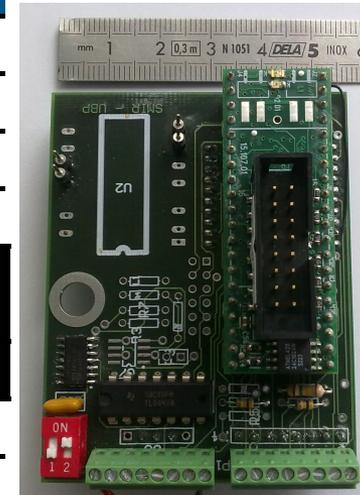
► Plateforme simple et robuste

- Développée à l'université Blaise Pascal, France
- Non commercialisée

► Caractéristiques principales

- Processeur ATMEL AT91SAM7S
- Plateforme de prototypage
- Composants standard bas coût et basse consommation

Plateforme LiveNode		
Processeur	AT91SAM7S256 (32bits)	
Fréquence	Jusqu'à 50MHz	
Mémoire	256 ko (Flash), 64 ko (RAM)	
Communication	IEEE802.15.4, 2.4GHz, 32 ko/s	
Portée	Intérieure: 100m	Extérieure : 1600m
Consommation	Tx : 215mA	Rx : 30mA
	Veille : ~ 0.1mA	
Alimentation	1 * 9V ppp	
Taille (mm)	70 x 55 x 35	



► Principales technologies de transmission de données

► IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers (1963)

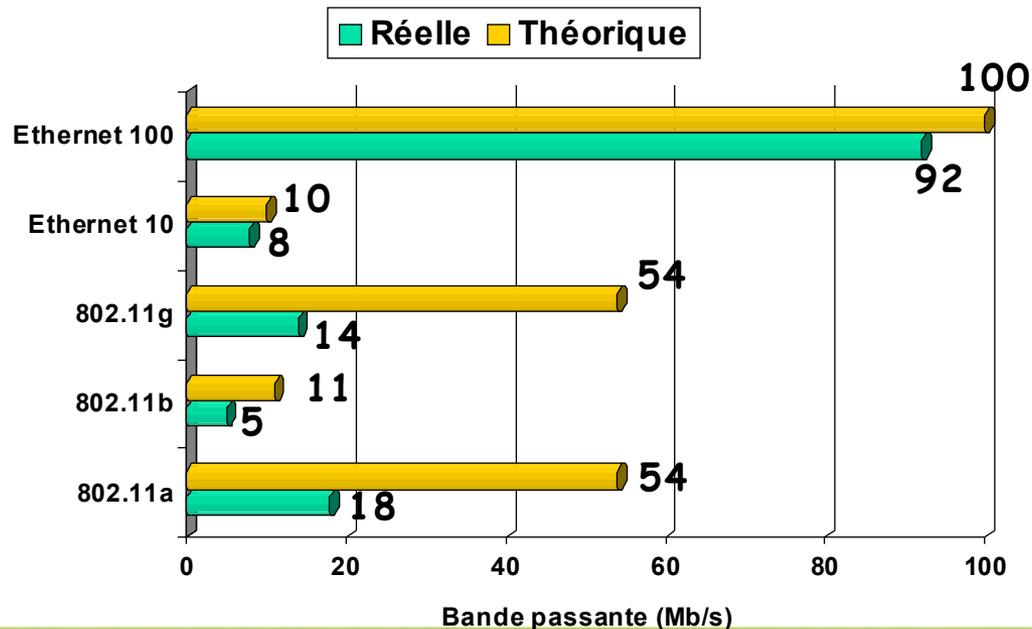
- Technologie Wi-Fi (Wireless Fidelity) : IEEE802.11 a/b/g/n
 - › Réseau domestique sans fil à haut débit
 - › 100 à 400m, ~30mW, 14 canaux (13 utilisable en France)
 - › Débit théorique : 11MB/s (b), 54MB/s (a/g), 600MB/s (n)
- Technologie Bluetooth : IEEE802.15.1
 - › Technologie sans fil de faible portée, peu coûteuse et utilisant peu de puissance
 - › 1 à 100m, de 1 à 100mW, 79 canaux
 - › Débit théorique : 125 kB/s
- Technologie ZigBee : IEEE802.15.4
 - › Communication radio à faible consommation et faible coût
 - › 100m à 1.6km, de 1 à 100mW
 - › Débit théorique : 31.25 kB/s
- Technologie UWB : IEEE802.15.3
 - › Consommation minimale
 - › Peu de développement car peu de travaux sur la norme

► Bande ISM (Industrie Scientifique, Médicale)

- 433MHz, 868MHz, 915MHz

Technologies Wi-Fi

Technologie	Date de normalisation	Fréquence	Débit maximal	Portée
IEEE 802.11	1997	2.4GHz	2Mb/s	NS
IEEE 802.11a	1999	5GHz	54Mb/s	Intérieure : ~25 m Extérieure : ~75m
IEEE 802.11b	1999	2.4GHz	11Mb/s	Intérieure : ~35 m Extérieure : ~100m
IEEE 802.11g	2003	2.4GHz	54Mb/s	Intérieure : ~25 m Extérieure : ~75m
IEEE 802.11n	2009	2.4GHz ou 5GHz	540Mb/s	Intérieure : ~50 m Extérieure : ~125m



► Antennes radio

► Caractéristiques d'une antenne

- Alimentation
 - › Antenne passive ou active
- Portée
 - › Antenne directionnelle ou omnidirectionnelle
- Forme
 - › Parabole, patch, yagi



Omnidirectionnelle



Parabole (grille)



Patch



Yagi

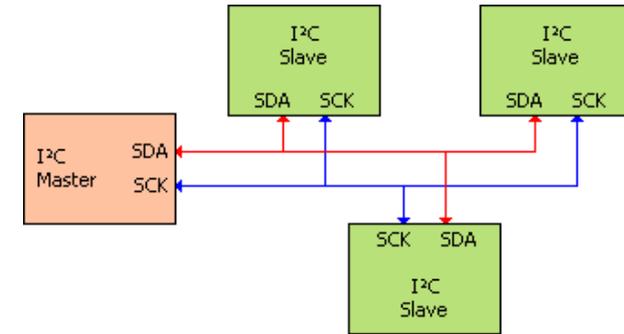
► Atténuations des ondes

Matériaux	Affaiblissement	Exemples
Air	Aucun	Espace ouvert, intérieur
Bois	Faible	Porte, plancher, cloison
Plastique	Faible	Cloison, vitre
Verre	Faible	Vitres non teintées
Verre teinté	Moyen	Vitres teintées
Eau	Moyen	Aquarium, fontaine, piscine
Êtres vivants	Moyen	Foule, animaux, humains, végétation
Briques	Moyen	Murs
Plâtre	Moyen	Cloisons
Céramique	Elevé	Carrelages
Papier	Elevé	Papier, carton
Béton	Elevé	Murs porteurs, étages, piliers
Verre blindé	Elevé	Vitres pare-balle, vitrage de sécurité
Métal	Très élevé	Miroirs, armoires métalliques, structures métalliques

Interfaces de communication internes utilisées

I²C : Inter Integrated Communication

- Maître/esclaves, 1 à 127 esclaves
- Débit de données faible (400 kb/s)
 - › Capteur, mémoire (EEPROM), horloge



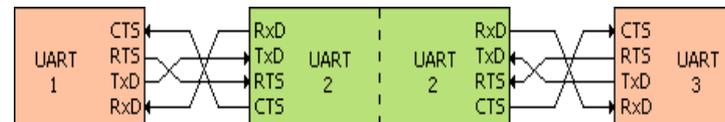
SPI : Serial Peripheral Interface

- Maître/esclaves, 1 à 3 esclaves pilotés
- Débit de données élevé (10 Mb/s)
 - › Mémoire (EEPROM, SD card), communication entre processeurs



UART : Universal Asynchronous Receiver Transmitter

- Point à point, communication bidirectionnelle entre 2 éléments
- Débit de données moyen (3 Mb/s)
 - › Communication série (RS232), GPS, médium de communication



► Types de capteurs employés

► Catégories de capteurs

- Actif / Passif
- Intelligent
- Analogique / Numérique / Logique

► Capteurs classiques

- Météorologique
 - › *température, humidité ambiante et/ou du sol, pression, pluviomètre*
- Débit d'un fluide
- Luminosité
- Positionnement (présence, GPS), accéléromètre
- ...

► Capteurs exotiques

- Croissance des fruits
- Compteur d'insectes
- Débit de sève
- Gaz CO₂, NO₂, ...
- Caméra, webcam
- ...

- 1. Introduction**
- 2. Etat de l'art des applications des RCSFs**
- 3. Plateformes matérielles couramment utilisées dans les RCSFs**
- 4. Présentation des aspects logiciels pour les RCSFs**
- 5. Quelques exemples d'applications concrètes dans l'agriculture**
- 6. Retour d'expérience avec les contraintes rencontrées et les résultats obtenus**
- 7. Conclusion et perspectives**

► Systèmes d'exploitation

► Systèmes multitâches

- Présence de plusieurs processus disposant chacun d'une pile d'exécution propre
- Concurrence entre les processus pour l'accès aux ressources partagées
- Processus préemptibles et interruptibles
 - › *Existence de niveaux de priorité*

► Systèmes basés sur les événements

- Définition des événements gérés par le système
 - › *Réponse à un événement : suite d'actions pré-définies*
- Événements non préemptibles mais interruptibles
 - › *Exécution complète d'un événement en une seule fois*
 - › *Existence de niveaux de priorité*
- Déclenchement d'un événement par un autre événement

► Systèmes d'exploitation dédiés aux RCSF

► Systèmes multitâches

- MANTIS
 - › « *MultimodAI system for NeTworks of In-situ wireless Sensor* »
- AmbientRT

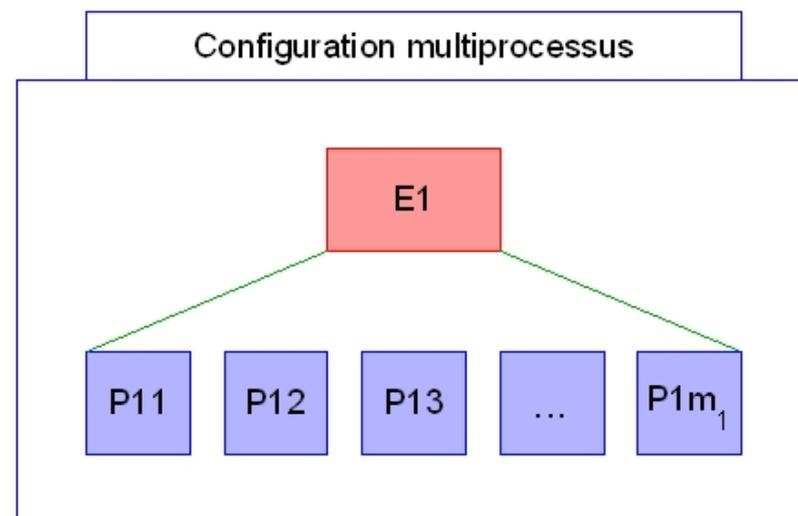
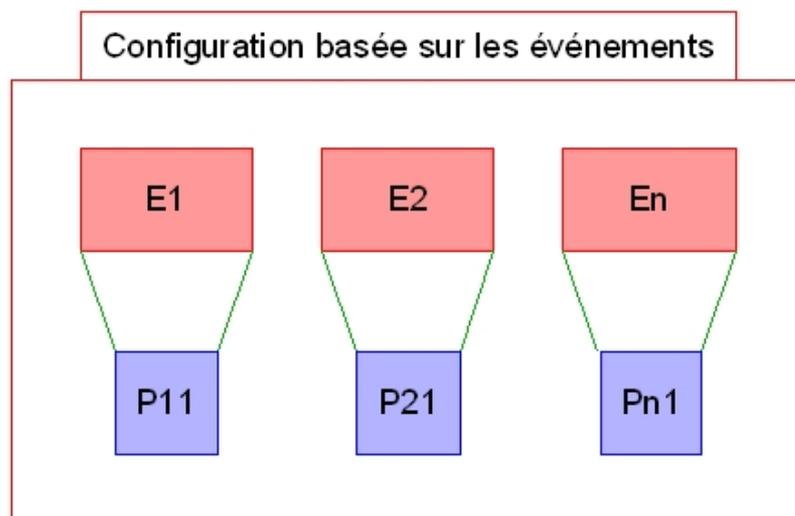
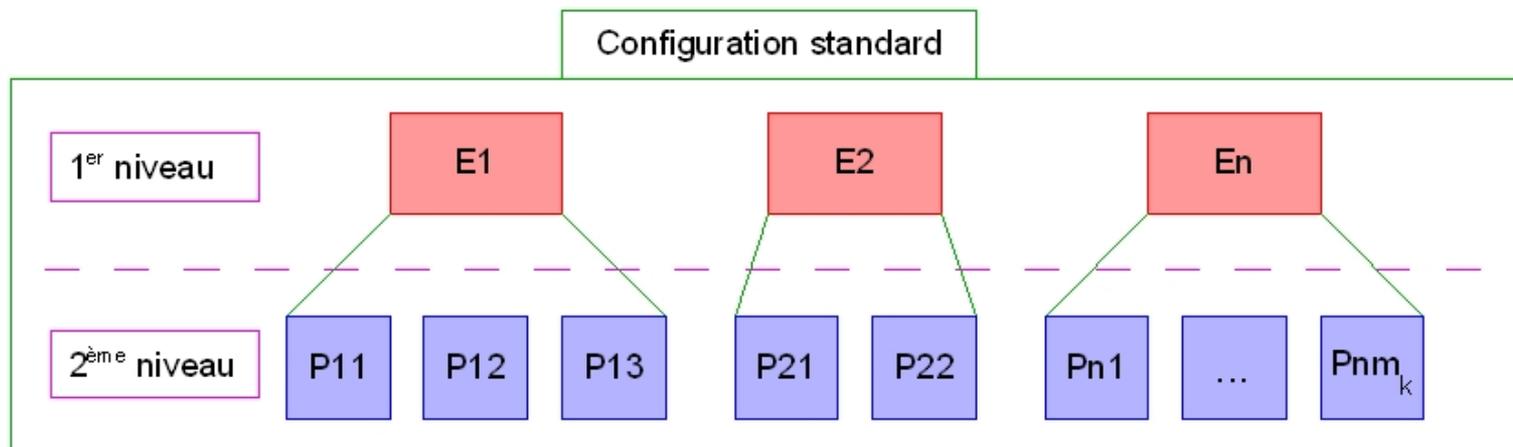
► Systèmes basés sur les événements

- TinyOS

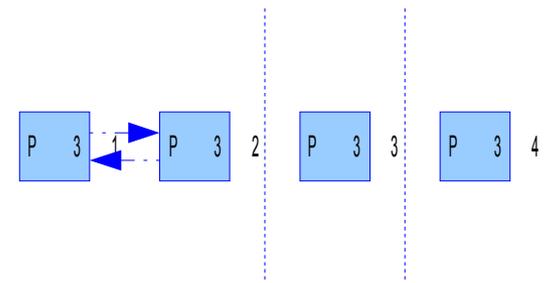
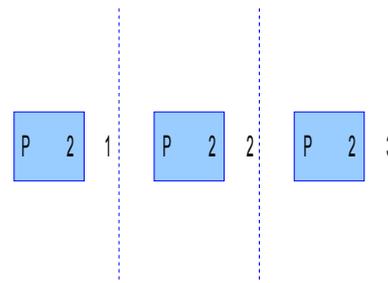
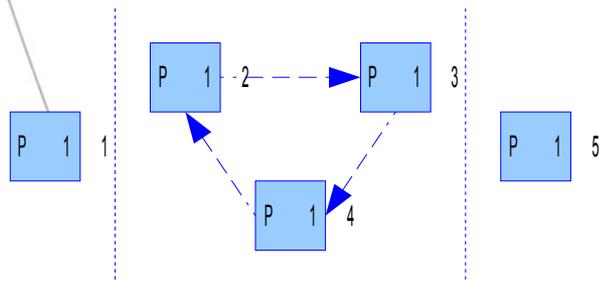
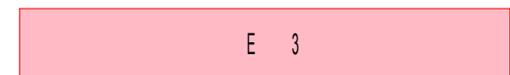
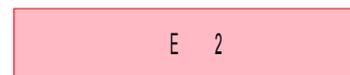
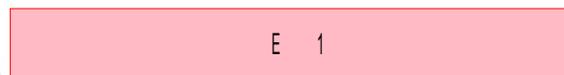
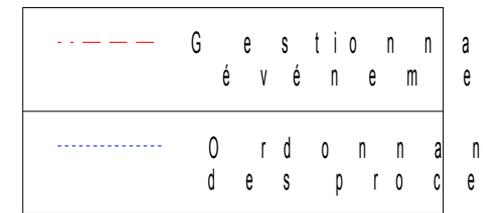
► Systèmes hybrides

- Contiki
- LIMOS
 - › « *LighTweight Multithreading Operating System* »

Différentes configurations du système LIMOS



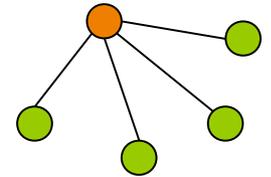
► Fonctionnement du système LIMOS



► Organisation du réseau

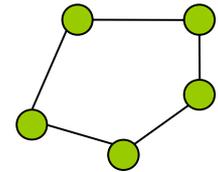
► Etoile

- Point central visible par tous
- Résiste à la défaillance d'un nœud



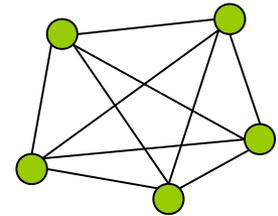
► Anneau

- Nœuds en « série »
- Réseau hors d'usage si défaillance d'un nœud



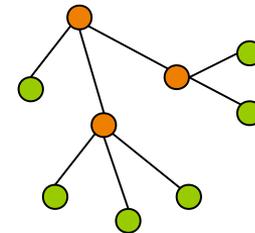
► Maillage, Point à Point, Peer To Peer P2P

- Liaison vers tout nœud du réseau
- Multi route



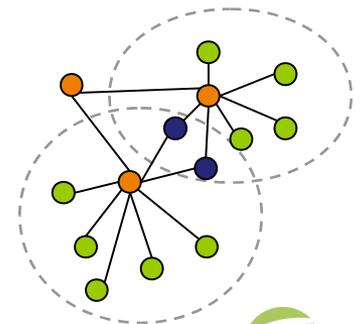
► Arbre

- Un seul nœud parent
- Perte d'une branche sur défaillance



► Cluster

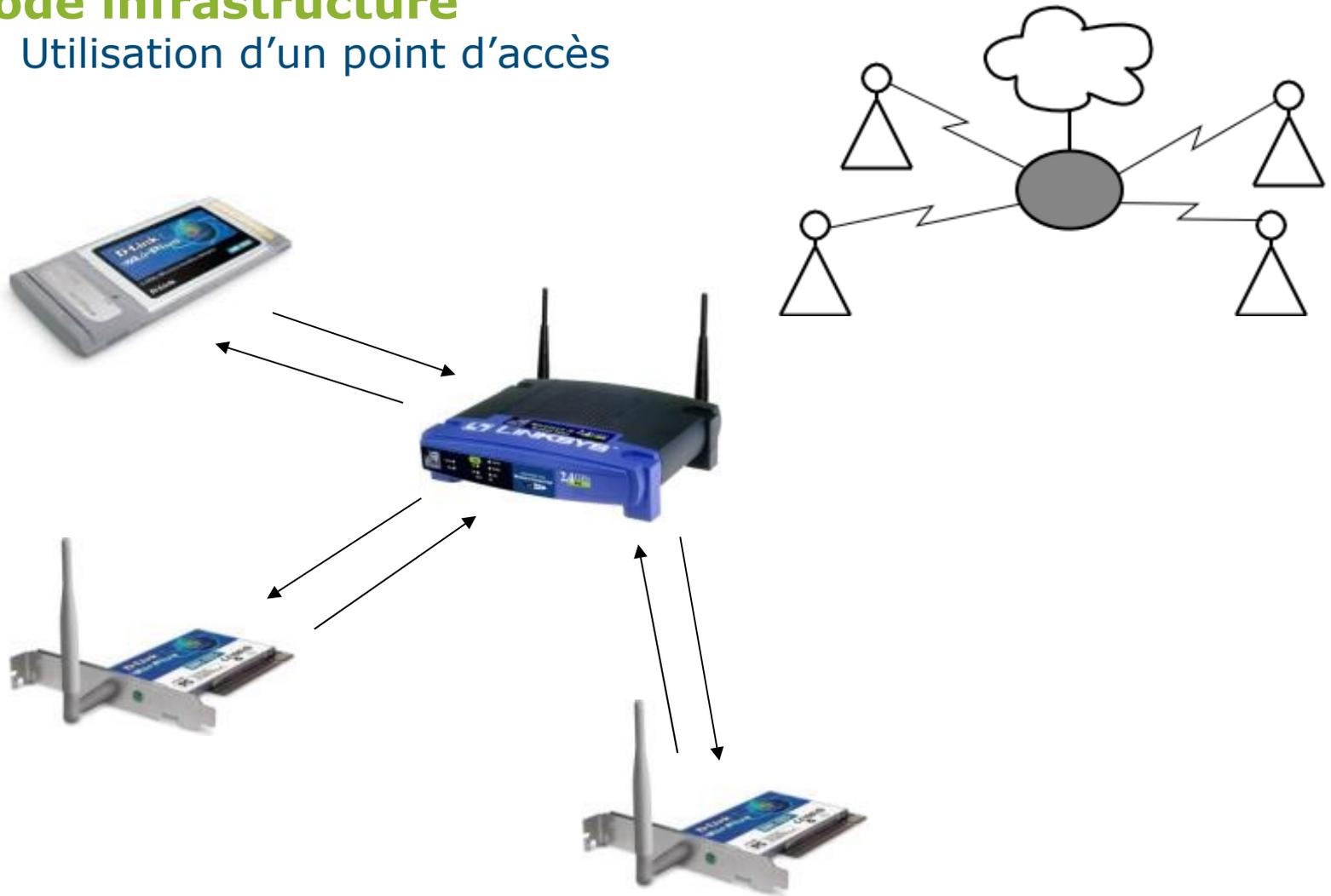
- Ensemble de nœuds
- Election d'un nœud maître par groupe



► Modes de communication (1)

► Mode infrastructure

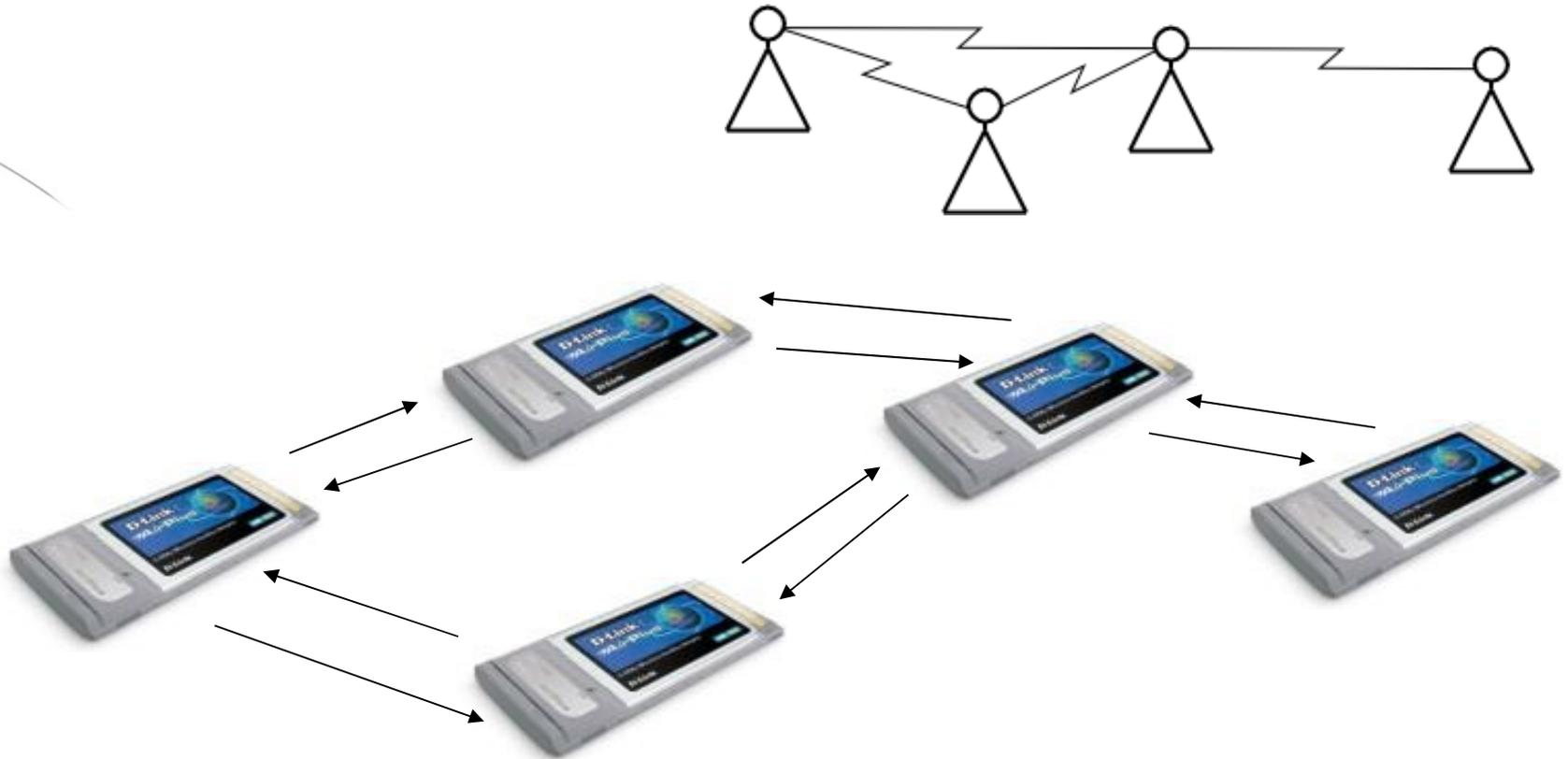
- Utilisation d'un point d'accès



► Modes de communication (2)

► Mode Ad Hoc

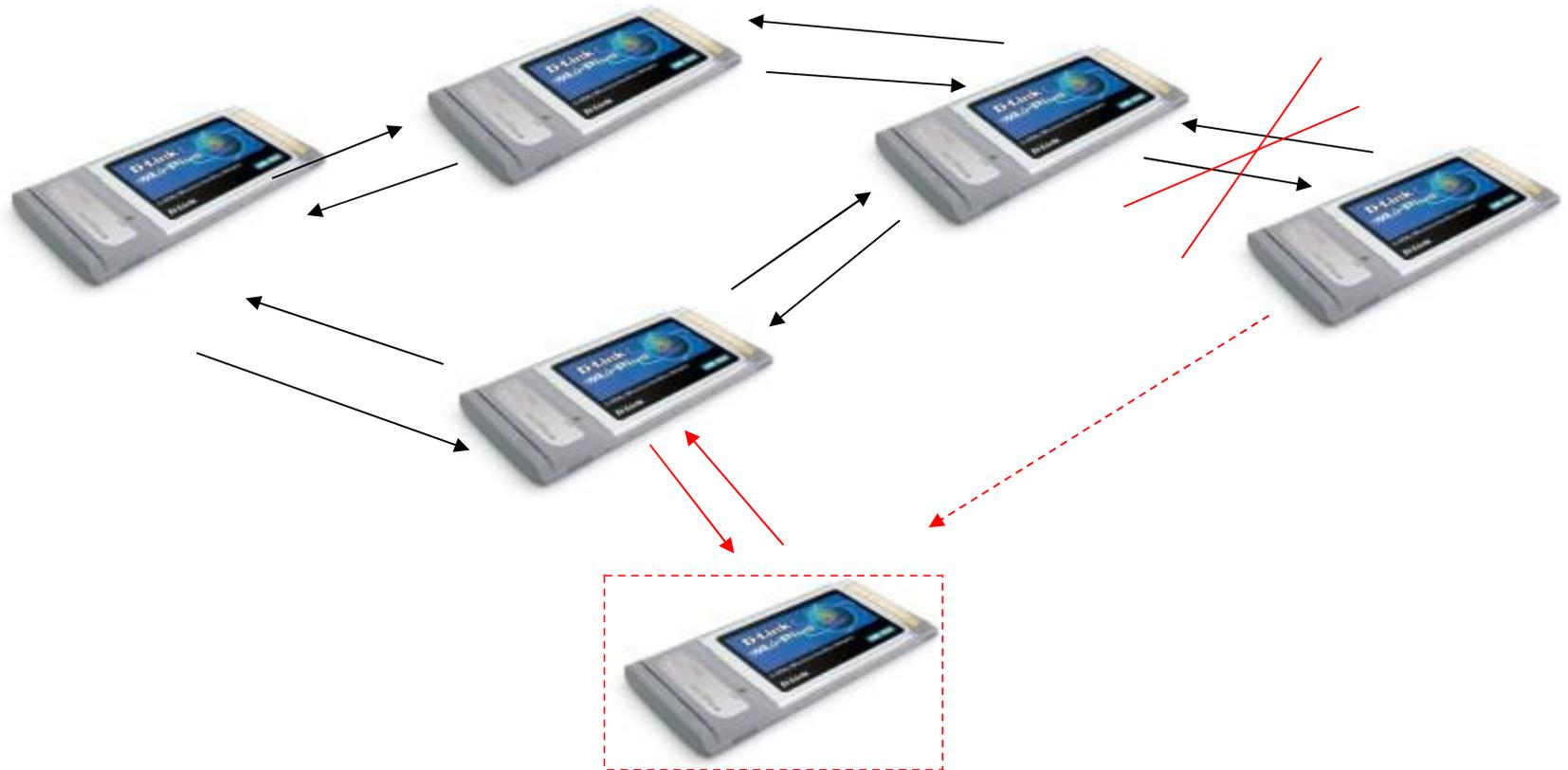
- Fonctionnement de toutes les entités (nœuds) du réseau sur le mode Client/Serveur pour établir les communications



► Réseau mobile AdHoc

► Problématiques associées

- Création des chemins entre les nœuds
- Maintenance et modification des chemins pour prendre en compte les déplacements des nœuds du réseau



► 3 grandes familles de protocoles de routage

► Protocoles proactifs

- Maintien périodique des routes
- Envoi rapide

► Protocoles réactifs

- Demande de la route à prendre lors de l'envoi
- Envoi plus lent

► Protocoles hybrides

- Maintien périodique des routes principales ou d'une zone
- Demande du chemin lors de l'envoi vers des nœuds secondaires

► Autres familles de protocoles de routage

► Protocoles géographiques

- Considérés parfois comme des protocoles hybrides
- Envoi directionnel en fonction de la position du nœud destinataire

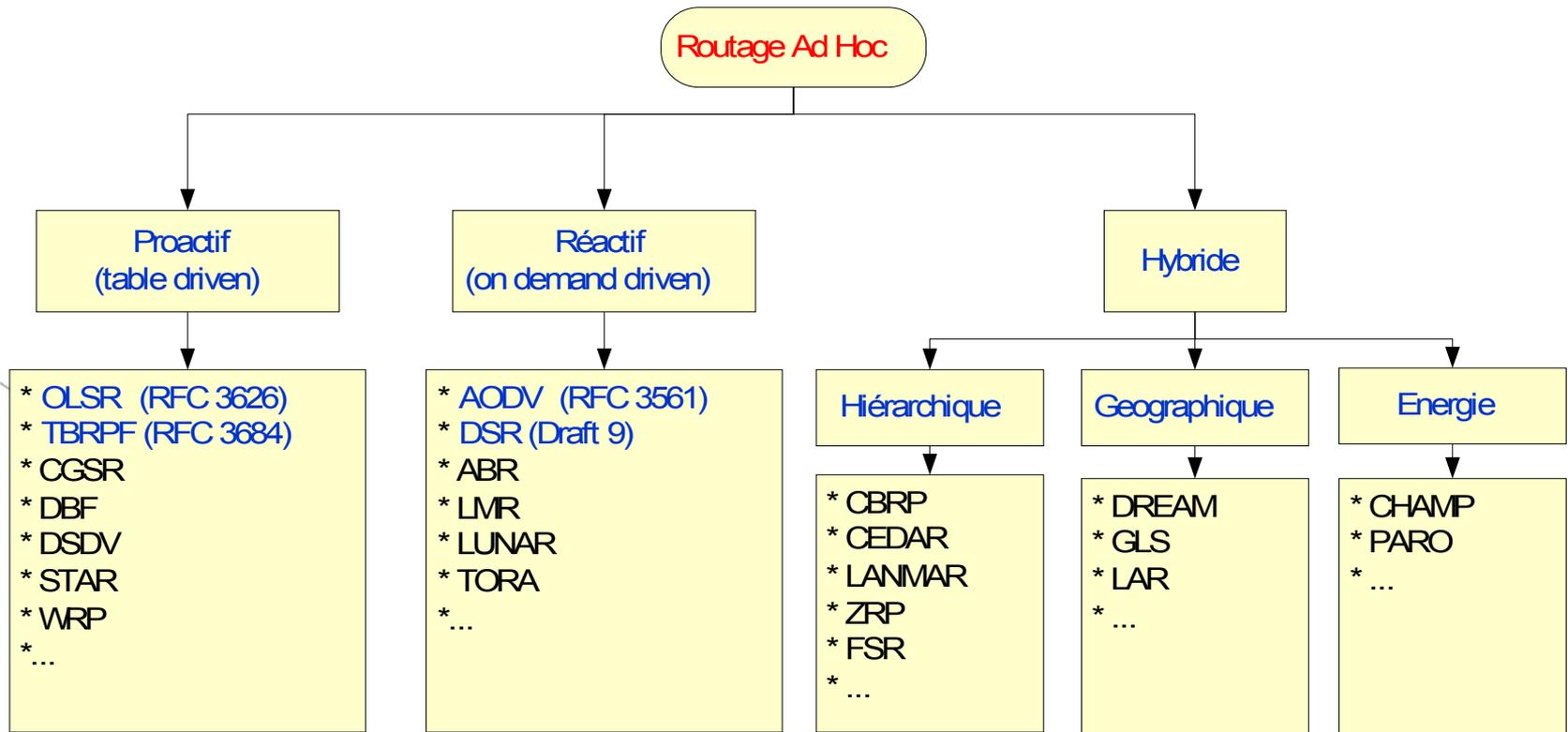
► Protocoles multicast

- Une source et plusieurs destinataires
- Nombre de connexions inférieur au nombre de récepteurs
- Envoi vers les nœuds abonnés

► Protocoles geocast

- Envoi vers l'ensemble des nœuds d'une zone géographique
- Nœuds présents dans la zone

Synthèse sur les protocoles de routage



D'après Royer, E. M. and C. K. Toh (1999) et Abolhasan, M. et al. (2003)

► Objectifs d'un outil d'administration

Gérer les nœuds et le réseau afin d'assurer un bon fonctionnement du système et de pouvoir en assurer la supervision

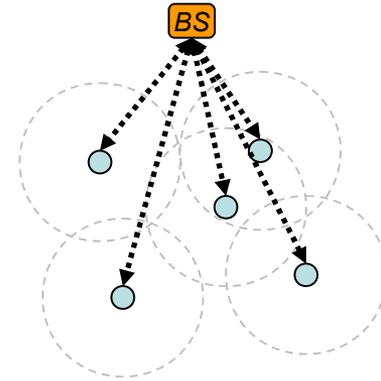
► Objectifs propres aux RCSFs

- Réduire les volumes de données échangées
- Définir une politique énergétique de gestion des nœuds
- Faciliter l'accès aux données
- Reconfigurer l'application embarquée à distance
- Intégrer les RCSFs dans un réseau plus large

► Architectures d'administration existantes

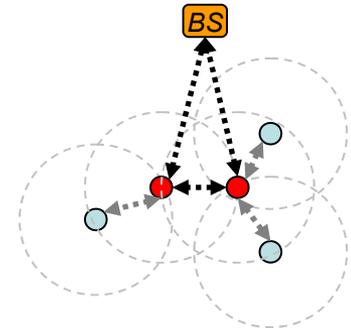
► Centralisée

- Connaissance de l'état de tous les nœuds
- Vision globale du réseau
 - ☑ *Prise de décision simplifiée*
 - ☒ *Goulot d'étranglement, collisions*



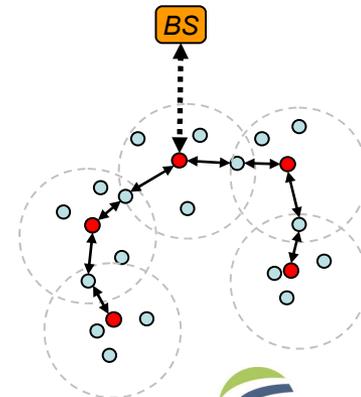
► Décentralisée

- Découpage du réseau en sous réseaux administrables
- Collaboration des maîtres
 - ☑ *Amélioration des performances du réseau*
 - ☒ *Nécessite des nœuds plus performants*



► Hiérarchique

- Découpage en cluster
- Un nœud maître par cluster
 - ☑ *Limitation du coût énergétique de la collecte*
 - ☒ *Nécessite une redéfinition des rôles*



► Protocoles d'administration

► Réseau filaire → **SNMP Simple Network Management Protocol**

- Requêtes simples Get-Set
- Maintien d'une table locale des informations administrées
- Accessible à distance via les réseaux LAN ou WAN

► Réseaux sans fil → **plusieurs solutions**

- Basées sur SNMP
 - › *LiveNCM, SNMP Proxy, GUERRILLA, SHAMAN, ANMP, etc.*
- Basées sur des middlewares ou intergiciels
 - › *Impala, COUGAR, MATE, etc.*

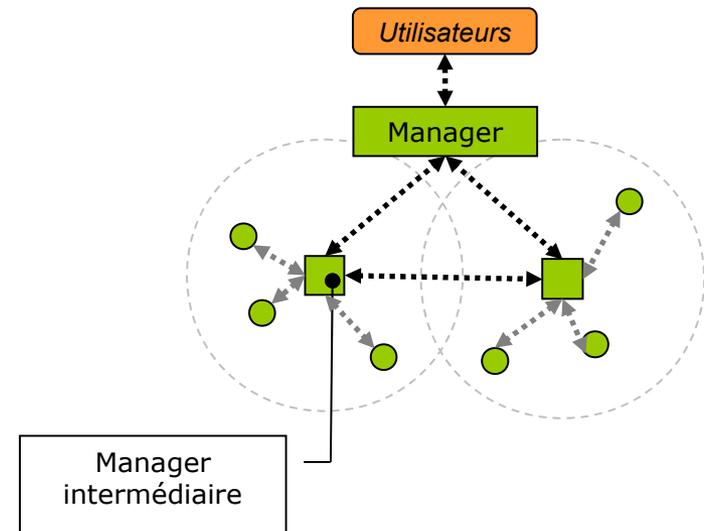
► Exemple de protocole d'administration

► Spreadsheet based Hierarchical Architecture for MANagement *SHAMAN* [Sethi 01a]

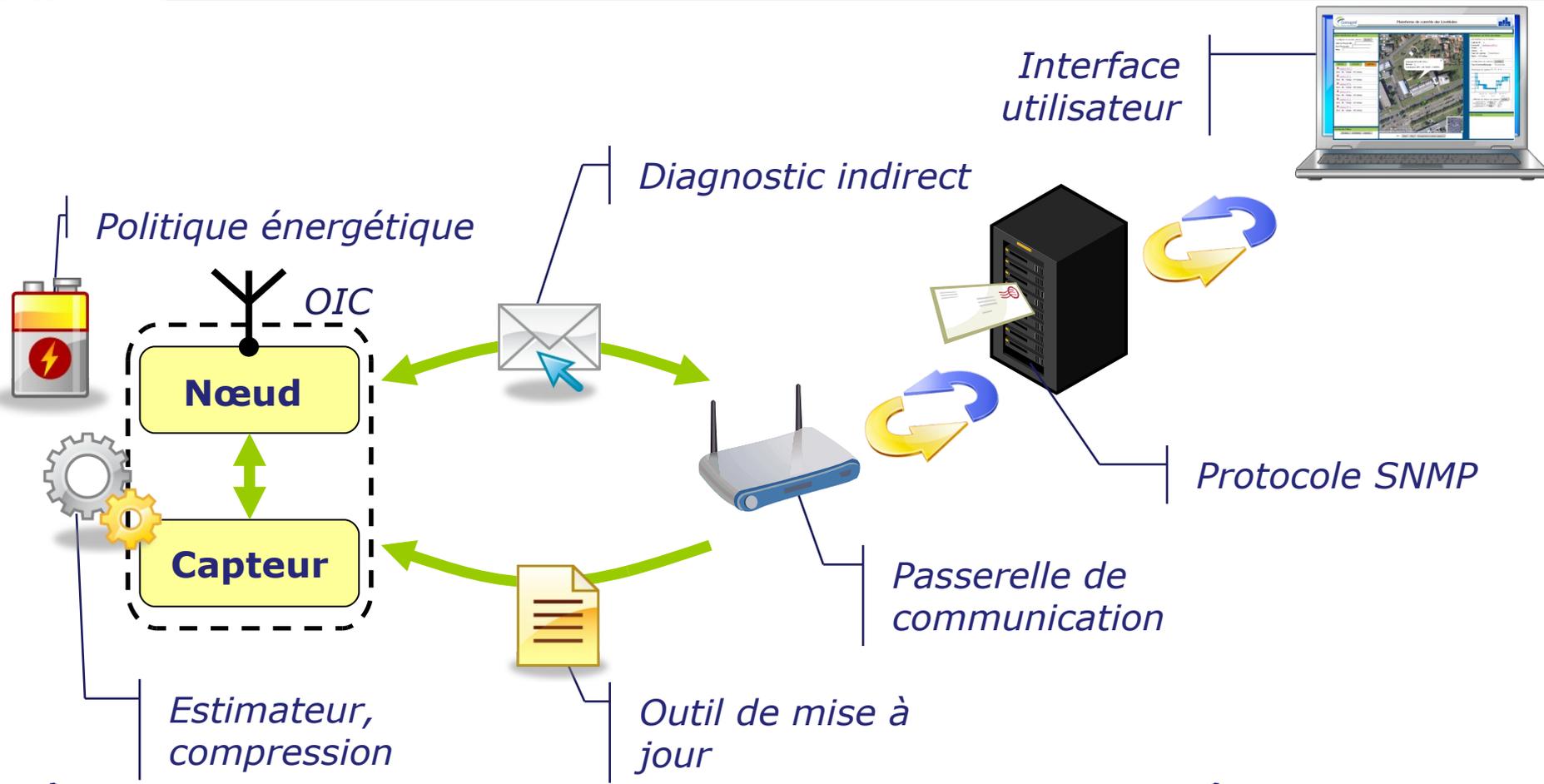
- Simulation de suivi de soldats sur le terrain
 - » *Supervision des munitions et suivi de la santé des soldats*
- Division du réseau en clusters
- Délégation de tâches d'administration
- Envoi de scripts entre les nœuds

► Réponses aux contraintes d'administration

- Accessibilité aux données
- Politique énergétique
- Volume de données
- Mise à jour de l'application
- Intégration des RCSFs



► Solution d'administration: LiveNCM

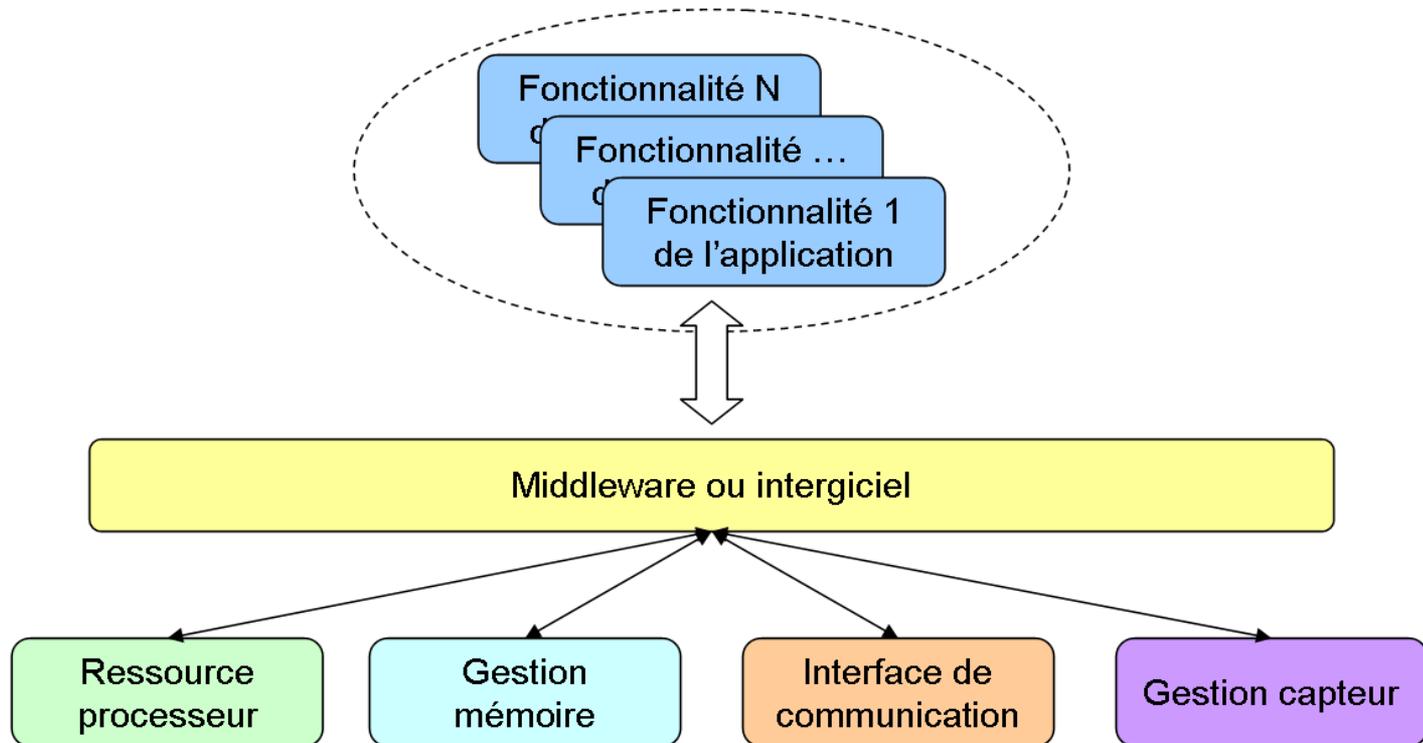


Livenode Non invasive Context-aware and Modular management (LiveNCM)

► Outils d'administration

► Middlewares ou intergiciels

- Couche applicative intermédiaire offrant un accès simplifié aux ressources matérielles et logicielles



► Types d'intergiciels

► Machine Virtuelle : Maté [Levis 02]

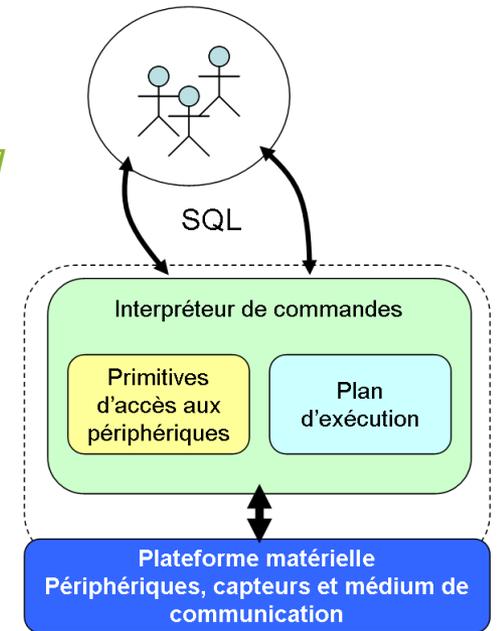
- ☑ Accessibilité aux données
- ☒ Politique énergétique
- ☑ Volume de données
- ☑ Mise à jour de l'application
- ☒ Intégration des RCSFs

► Programmation Modulaire : IMPALA [Liu 03]

- ☑ Accessibilité aux données
- ☒ Politique énergétique
- ☑ Volume de données
- ☑ Mise à jour de l'application
- ☒ Intégration des RCSFs

► Base de données : COUGAR [Yao 02]

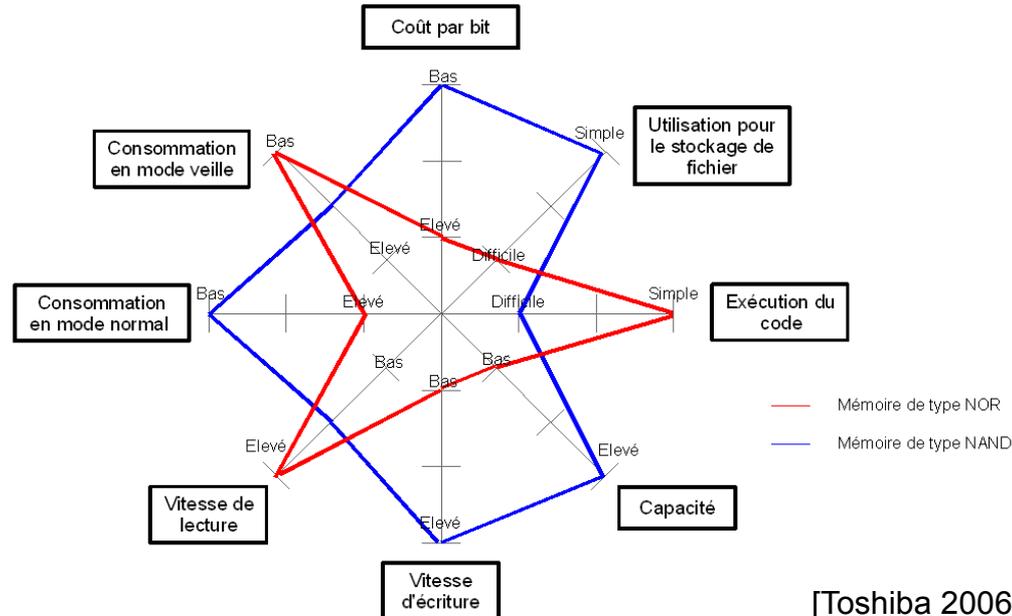
- ☑ Accessibilité aux données
- ☒ Politique énergétique
- ☑ Volume de données
- ☒ Mise à jour de l'application
- ☑ Intégration des RCSFs



► Stockage des données

► Utilisation de mémoire de type Flash

- Caractéristiques
 - › Mémoire non volatile
 - › Découpage en pages
 - › Différents types de mémoire
 - » Mémoire de type NOR ou de type NAND
- Opérations sur la mémoire
 - › Nombre d'écritures ou de programmations limité
 - » De 10.000 à 1.000.000 d'écritures
 - › Coûts énergétiques et en temps des différentes opérations



[Toshiba 2006]

► Stockage des données (2)

► Utilisation de mémoire de type EEPROM

- Caractéristiques
 - › *Mémoire non volatile effaçable électriquement*
 - › *Stockage de données essentielles*
 - › *Accès lent*
- Opérations sur la mémoire
 - › *Reprogrammable de 100 000 à 1 000 000*

► Utilisation de mémoire de type RAM

- Caractéristiques
 - › *Mémoire volatile non persistante*
 - › *Données utiles au traitement en cours*
 - › *Temps d'accès rapide (10 à 100 ns)*
 - » *Liaison par bus rapide au processeur (FSB sur nos PCs)*
 - › *Grandes capacités (quelques octets à plusieurs Go)*
- Différents types
 - › *VRAM : Video RAM*
 - › *DDRx SDRAM : Double Data Rate Synchronous Dynamic RAM*
 - › *SDRAM : Synchronous Dynamic RAM*
 - › *RAM : Random Access Memory*

► Gestion de la mémoire Flash

► Différents systèmes existants

- Capsule
- ELF
 - › « *Efficient Log-structured Flash File system* »
- MicroHash
- TFFS
 - › « *Transactional Flash File System* »
- LiveFile
 - › « *LIMOS Versatile Embedded File system* »

► Langages d'interrogation

- Modification du langage SQL (Structured Query Language)
 - › *Requêtes classiques*
 - › « *SELECT att1, att2 FROM reseau.table WHERE ...* »
 - › *Requêtes spécifiques (TinyDB)*
 - › « *SAMPLE PERIOD* » ou « *OUTPUT ACTION* »
- Langages spécifiques
 - › *Spreadsheet Scripting Language*
 - › *Protocole LiveNCM-P*

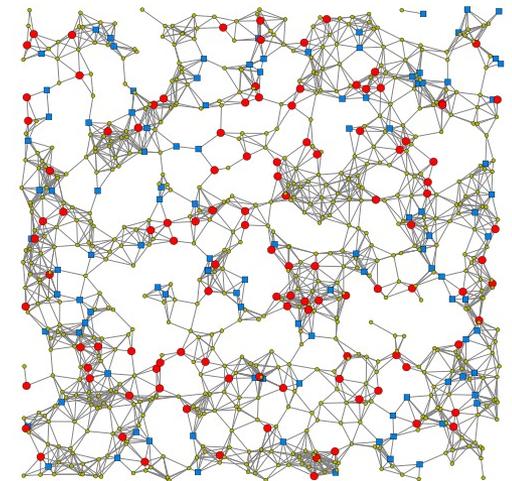
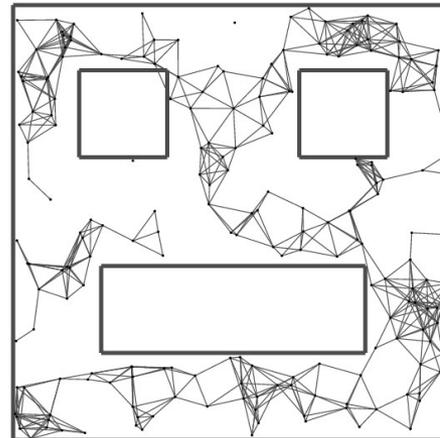
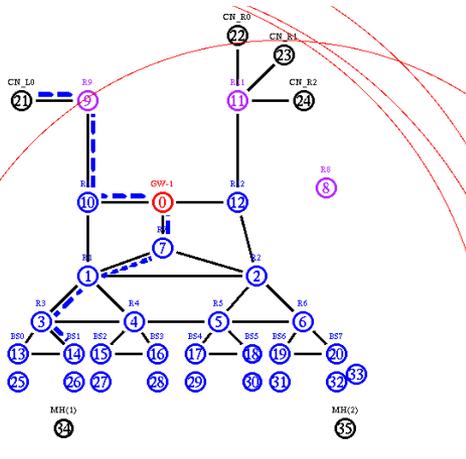
► Simulation d'un RCSF

► Objectifs

- Interface utilisateur adaptée
- Fidélité des résultats
- Adaptabilité, modularité
- Détection des erreurs
- Passage de la simulation au réel
- Optimisation de l'exécution des programmes

► Exemples d'utilisation

- Génération de réseau dense ou d'une topologie particulière
- Gestion d'obstacles



► Simulateurs de RCSFs existants

► OMNET++

- Programmation en C++

► SHAWN

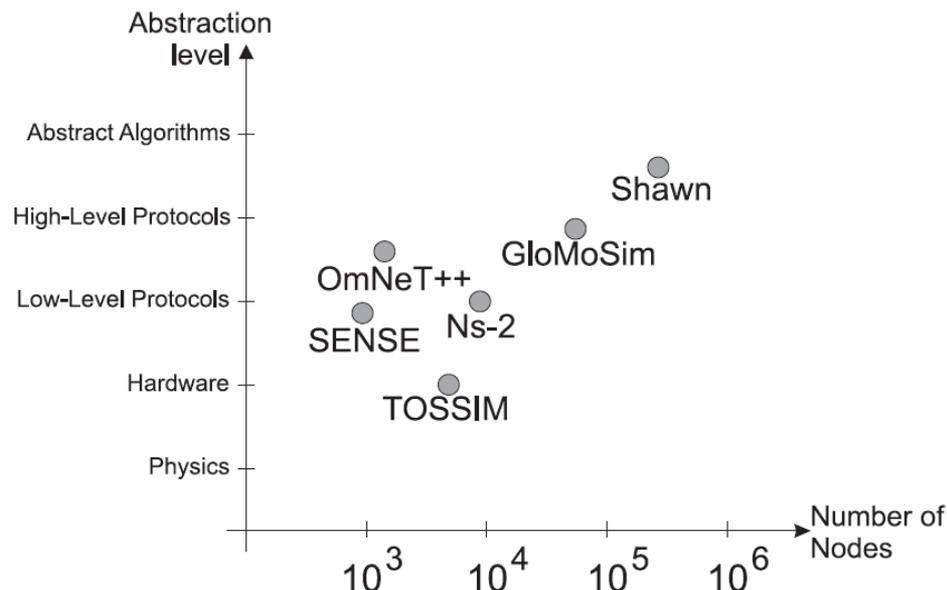
- Programmation en C++

► ns2

- Programmation en C++/ OTcl

► TOSSIM

- Programmation en NesC



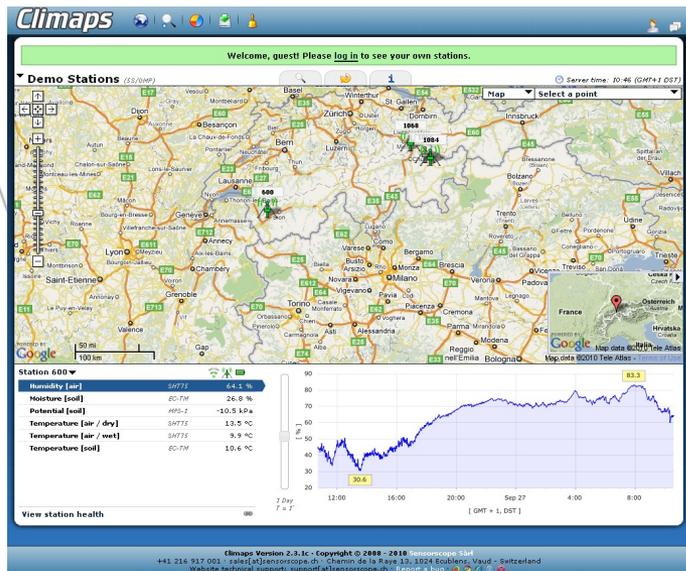
► "Shawn: A new approach to simulating wireless sensor networks"

- A. Kröller, D. Pfisterer, C. Buschmann, S. P. Fekete, S. Fischer

Visualisation des données

Interfaces Web

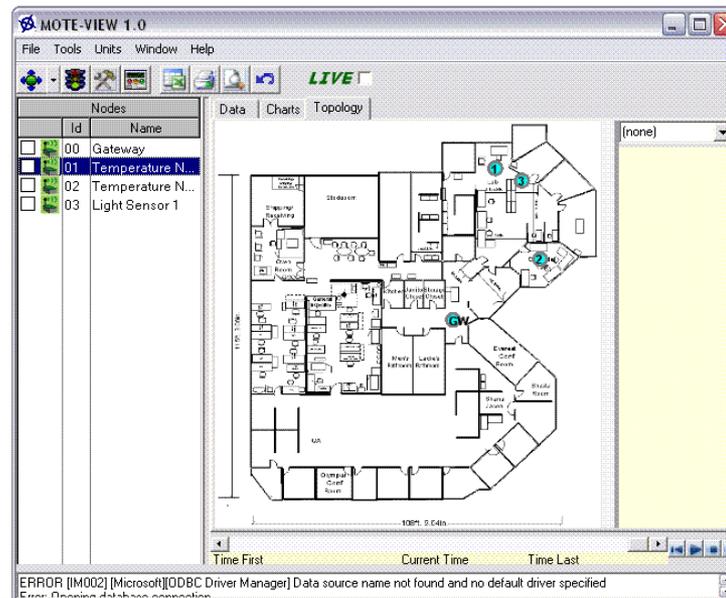
- Langages de programmation
 - › HTML, PHP, .NET, ASP, XML, Flash, etc.
- Géolocalisation des nœuds
 - › GoogleMaps, Geoportail, Bing, etc.
- Base de données
 - › MySQL, ORACLE, PostgreSQL, SQLite, etc.
- Accessibilité
 - › Local, Intranet, Internet
 - » CliMaps (<http://sensorscope.epfl.ch/climaps/>)
 - » LiveNode-Map monitor



► Visualisation des données

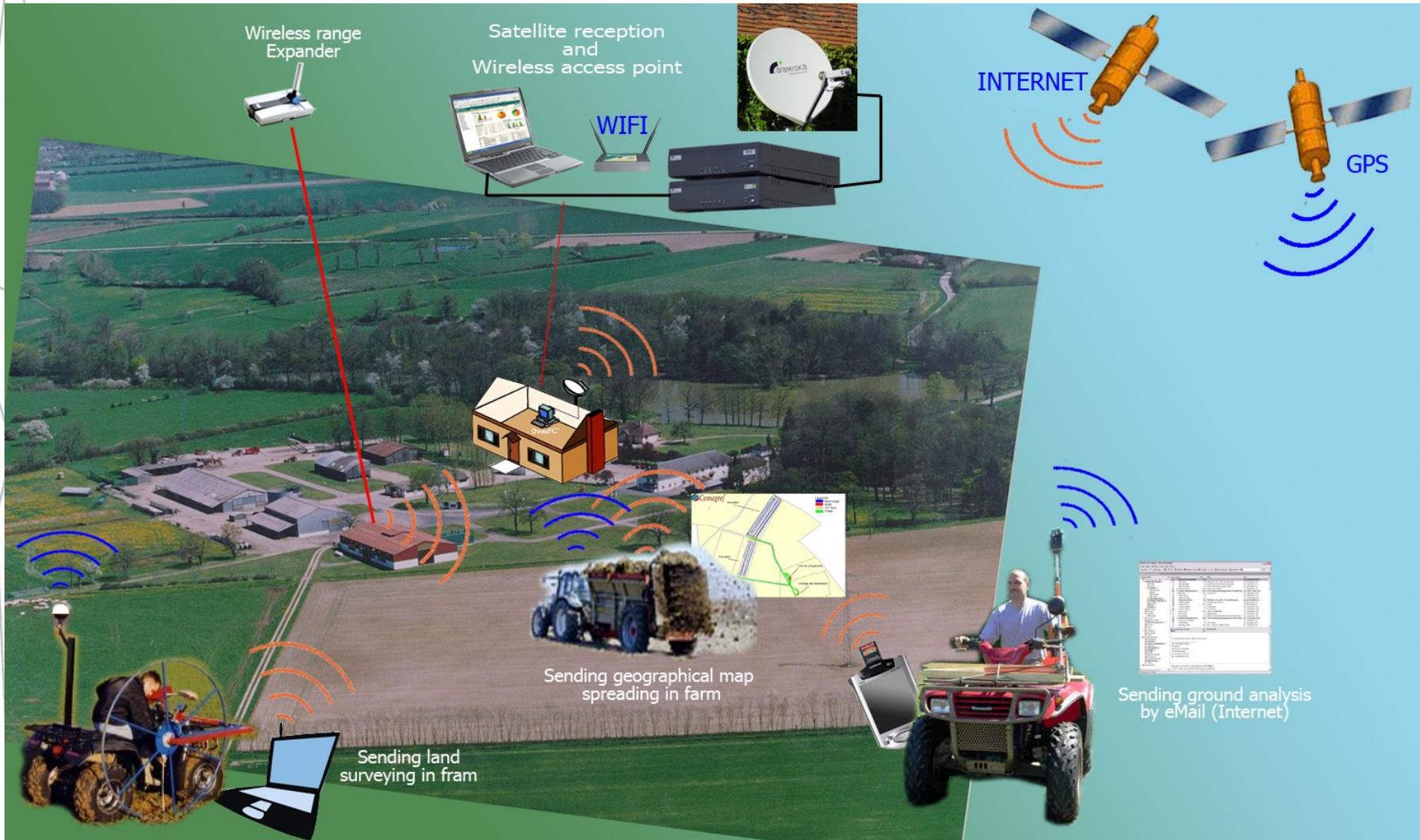
► Logiciels dédiés

- MOTE-VIEW (Crossbow)
 - › Centraliser les données (statut, batterie, etc.)
 - › 4 niveaux d'abstraction
 - » Accès aux données : Serveur de base de données
 - » Nœud : Métadonnées sur les nœuds, modification de paramètres
 - » Conversion : Interprétation des données
 - » Visualisation : Affichage textuel ou graphique des données
- XbowNet : CrossBow sensor network visualization
- SNAMP : Sensor Network Analysis and Management Platform



- 1. Introduction**
- 2. Etat de l'art des applications des RCSFs**
- 3. Plateformes matérielles couramment utilisées dans les RCSFs**
- 4. Présentation des aspects logiciels pour les RCSFs**
- 5. Quelques exemples d'applications concrètes dans l'agriculture**
- 6. Retour d'expérience avec les contraintes rencontrées et les résultats obtenus**
- 7. Conclusion et perspectives**

Internet au sein de l'exploitation

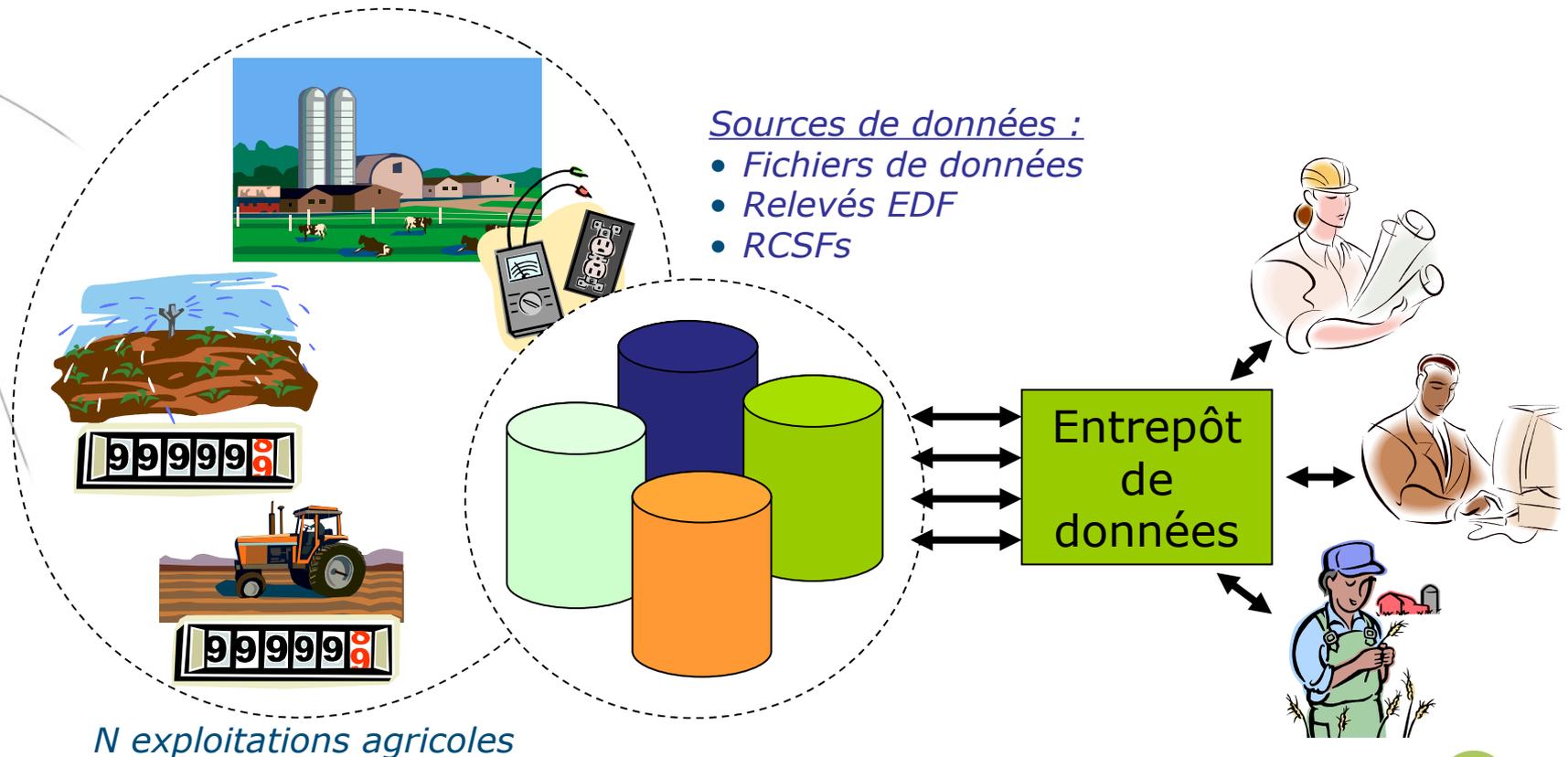


► Evaluation énergétique des exploitations agricoles

► **Objectif** : Obtenir une évaluation plus fine des consommations dans les exploitations agricoles

► **Exploitations agricoles**

› *Mesure des consommations électrique, carburant par tâche, en eau*



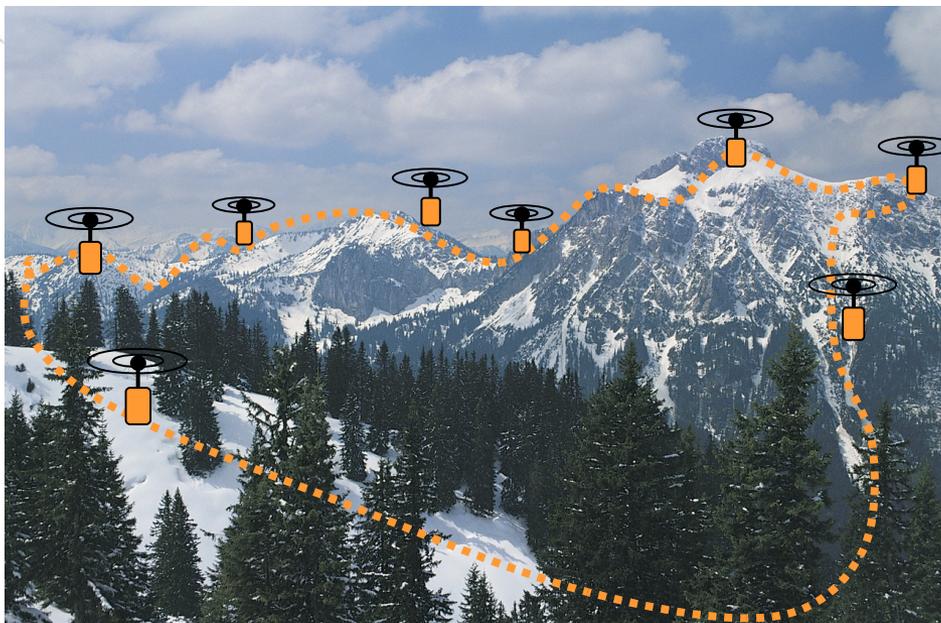
► Stations météo, SensorScope, Suisse

► Origine : Aide à l'organisation d'une course à pied en haute montagne

- Difficultés pour connaître les conditions sur le trajet
- Impossible de récupérer les données à distance

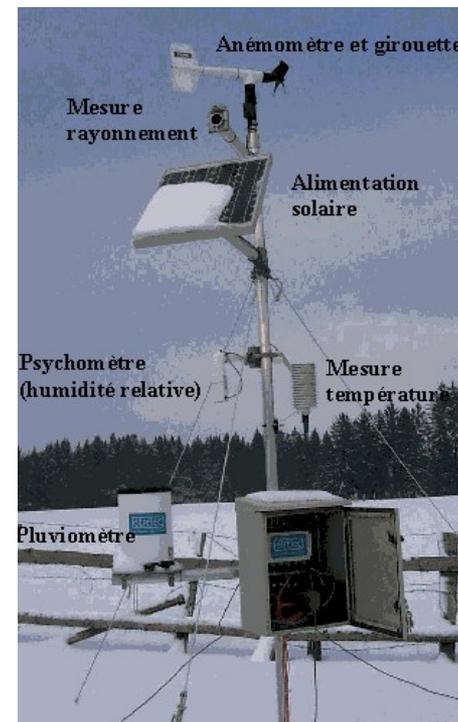
► Evolution des conditions climatiques en milieu difficile

- Finesse des observations et des prévisions
- Compréhension d'un milieu



► SensorScope project

- http://sensorscope.epfl.ch/index.php/Main_Page



► Ferme d'élevage, CSIRO, Australie

► Supervision de l'humidité d'une parcelle agricole

- Maillage de la zone : 8x4 nœuds
- Alimentation solaire

► Suivi du bétail sur une exploitation

- Comportement
- Habitude alimentaire
- Trajets couramment suivis

► Travaux effectués

- Qualité de l'eau
- Supervision de serres
- Humidité du sol



► CSIRO project

- <http://www.sensornets.csiro.au/belmont.htm>

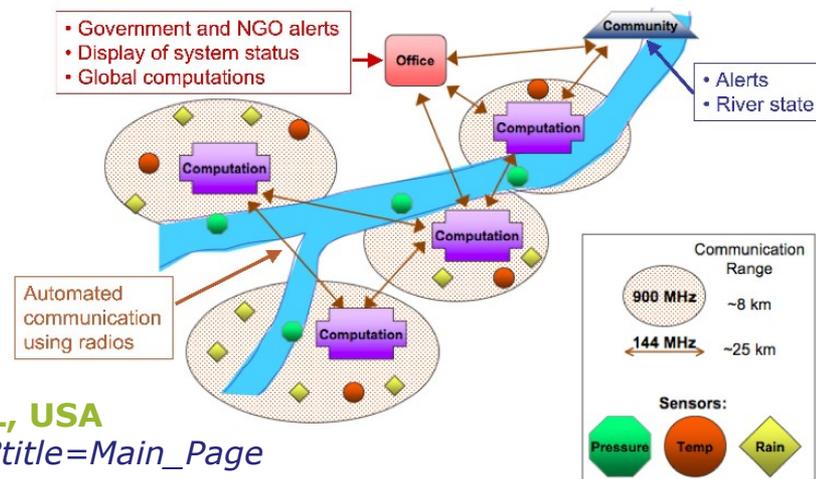
► Surveillance de rivières, MIT CSAIL, Honduras

► Prédire les manques d'eau

- Mesures de débit, précipitations, température de l'air
- Nombreuses contraintes
 - › *Larges zones à surveiller*
 - › *Données en temps réel*
 - › *Tolérance aux fautes*
 - › *Faible coût de fabrication et de déploiement*
 - › *Prédire les événements climatiques*
 - › *Grande autonomie*

► Architecture matérielle employée

- Processeur ARM7
- Aerocomm 900 MHz
- Sauvegarde sur carte Mini-SD
- Connecteurs d'extensions

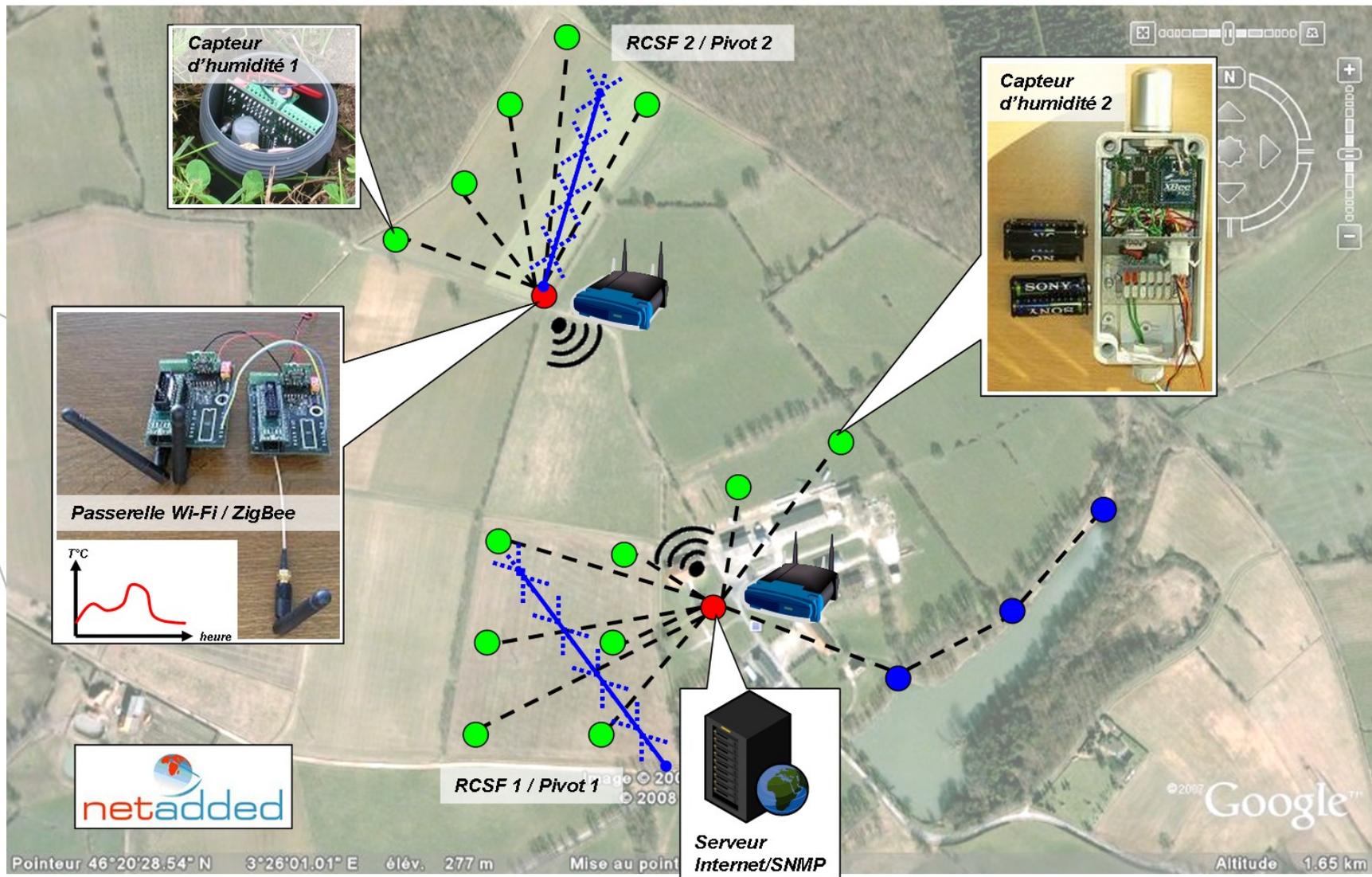


► The Distributed Robotics Laboratory, MIT CSAIL, USA

- http://groups.csail.mit.edu/drl/wiki/index.php?title=Main_Page

- 1. Introduction**
- 2. Etat de l'art des applications des RCSFs**
- 3. Plateformes matérielles couramment utilisées dans les RCSFs**
- 4. Présentation des aspects logiciels pour les RCSFs**
- 5. Quelques exemples d'applications concrètes dans l'agriculture**
- 6. Retour d'expérience avec les contraintes rencontrées et les résultats obtenus**
- 7. Conclusion et perspectives**

Projet européen FP6 – Net'Added / Twister



► Contraintes et solutions

► Contraintes à prendre en compte

- Réseau hétérogène
 - › *Nœuds fixes / mobiles*
 - › *Wi-Fi / ZigBee*
- Mesures
 - › *Type de capteurs employés*
 - › *Nœuds enterrés*
- Communication
 - › *Communication à faible portée*
 - › *Large zone à surveiller*
- Autonomie
 - › *Une saison de culture*

► Solutions apportées

- Communication
 - › *Deux nœuds couplés pour fournir le lien Wi-Fi <> ZigBee*
 - › *Relais locaux en hauteur (pivots d'arrosage)*
- Minimisation de la consommation
 - › *Mode hibernation*
 - › *Optimisation du fonctionnement*
- Autonomie
 - › *Fonctionnement général : 4*1.5V AA*
 - › *Horloge RTC : 2*1.5V AA*

► Evaluation du volume de données échangées

► Base de calcul sur 2 nœuds relevant la température et envoyant un message par minute

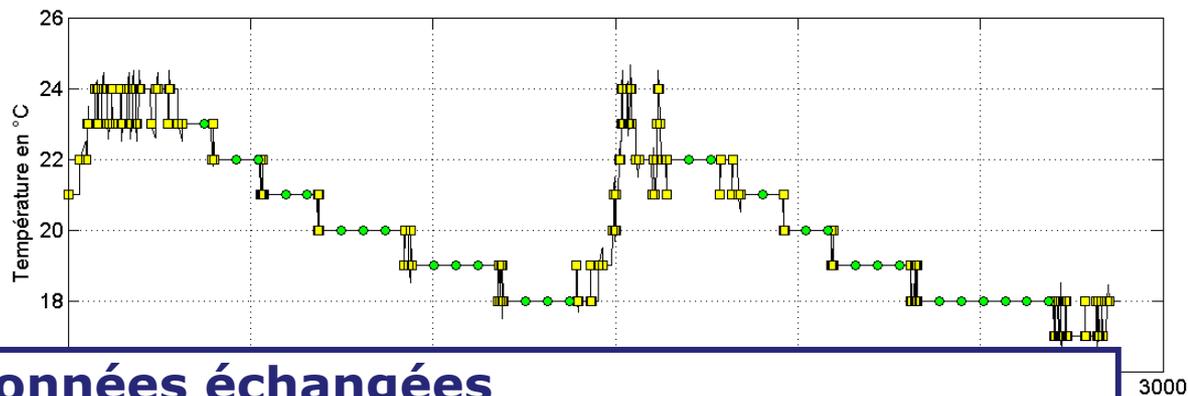
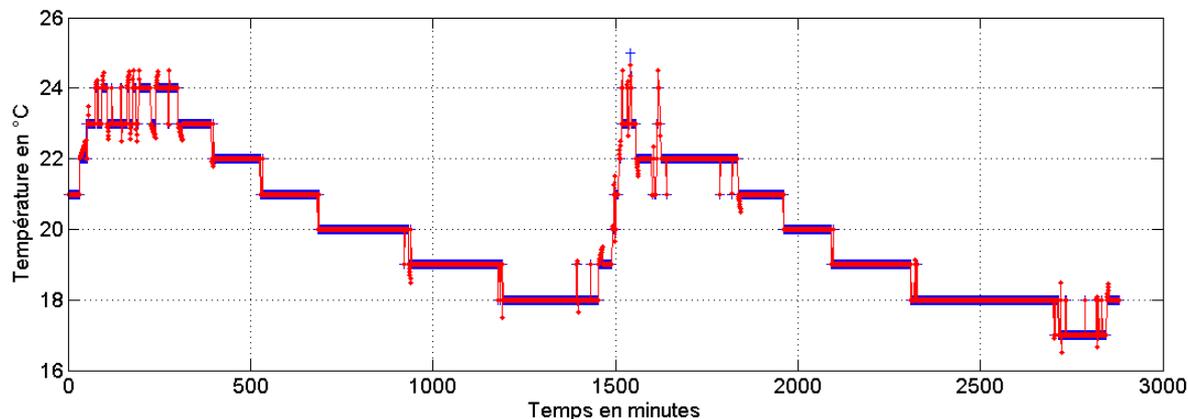
- Taille des messages : 26 octets

► Capteur 1

- 2880 échantillons
- 394 utiles

► Capteur 2

- 2880 échantillons
- 214 utiles



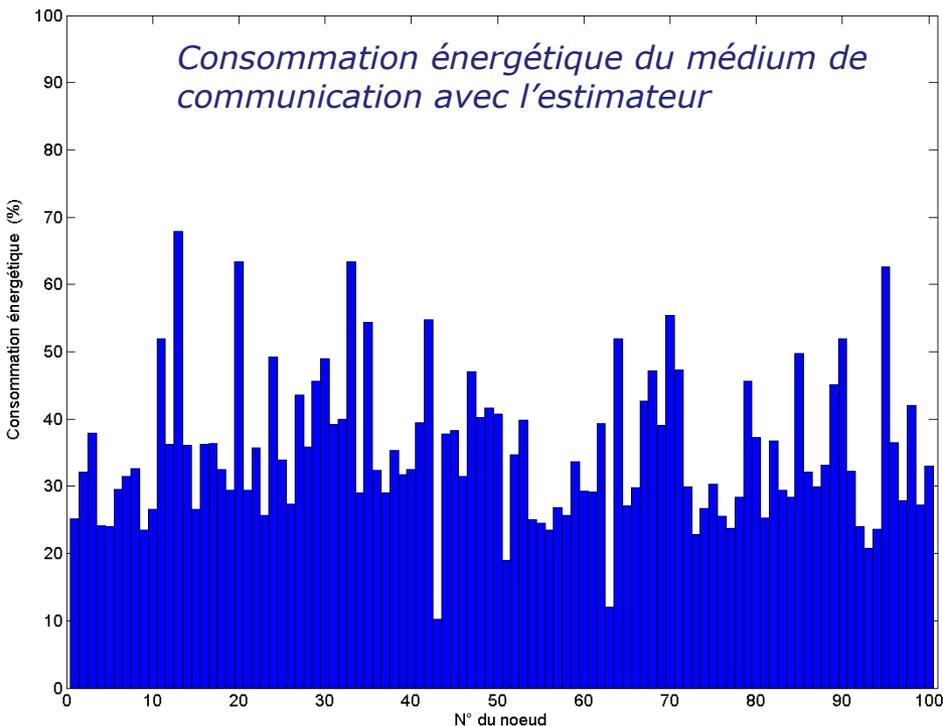
● - 90 % de données échangées

◆ 224,6 ko => 23 ko

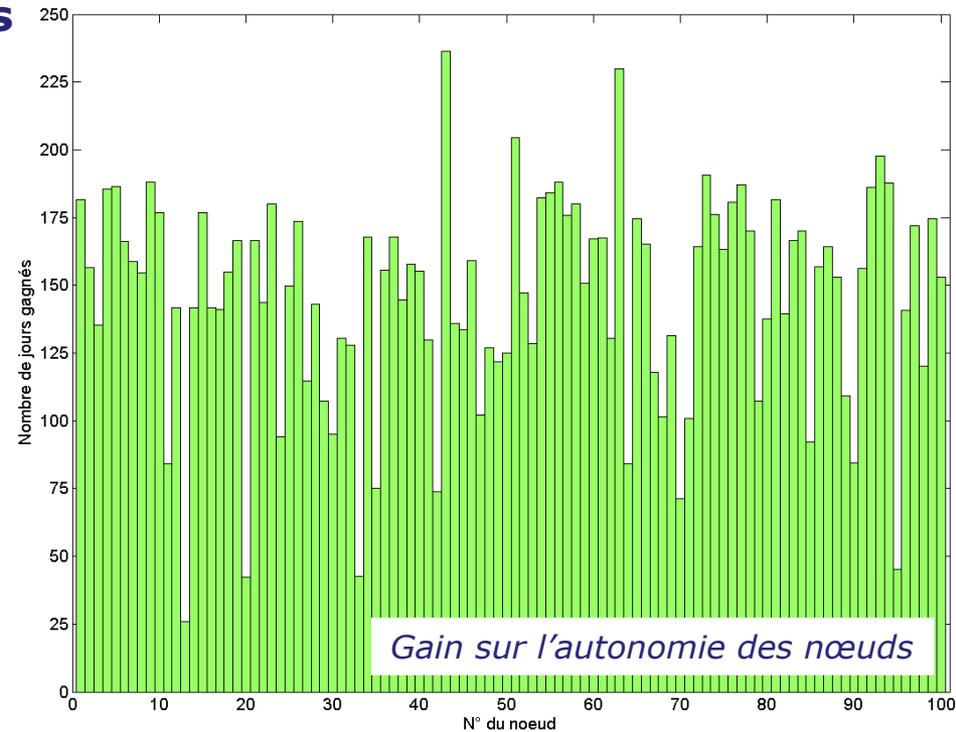
Impact du volume de données sur l'autonomie

- **Campagne de mesure : 3 mois**
(Température, humidité, hauteur d'eau, débit, précipitations, pression)
- **2160 échantillons par capteur**
(1 éch. par h)
- **Simulation d'un RCSF de 100 nœuds**

- **Nombre aléatoire de capteurs variant de 1 à 12**
- **Seuil : 10 fois la résolution capteur**
- **Période de synchronisation 24 h**



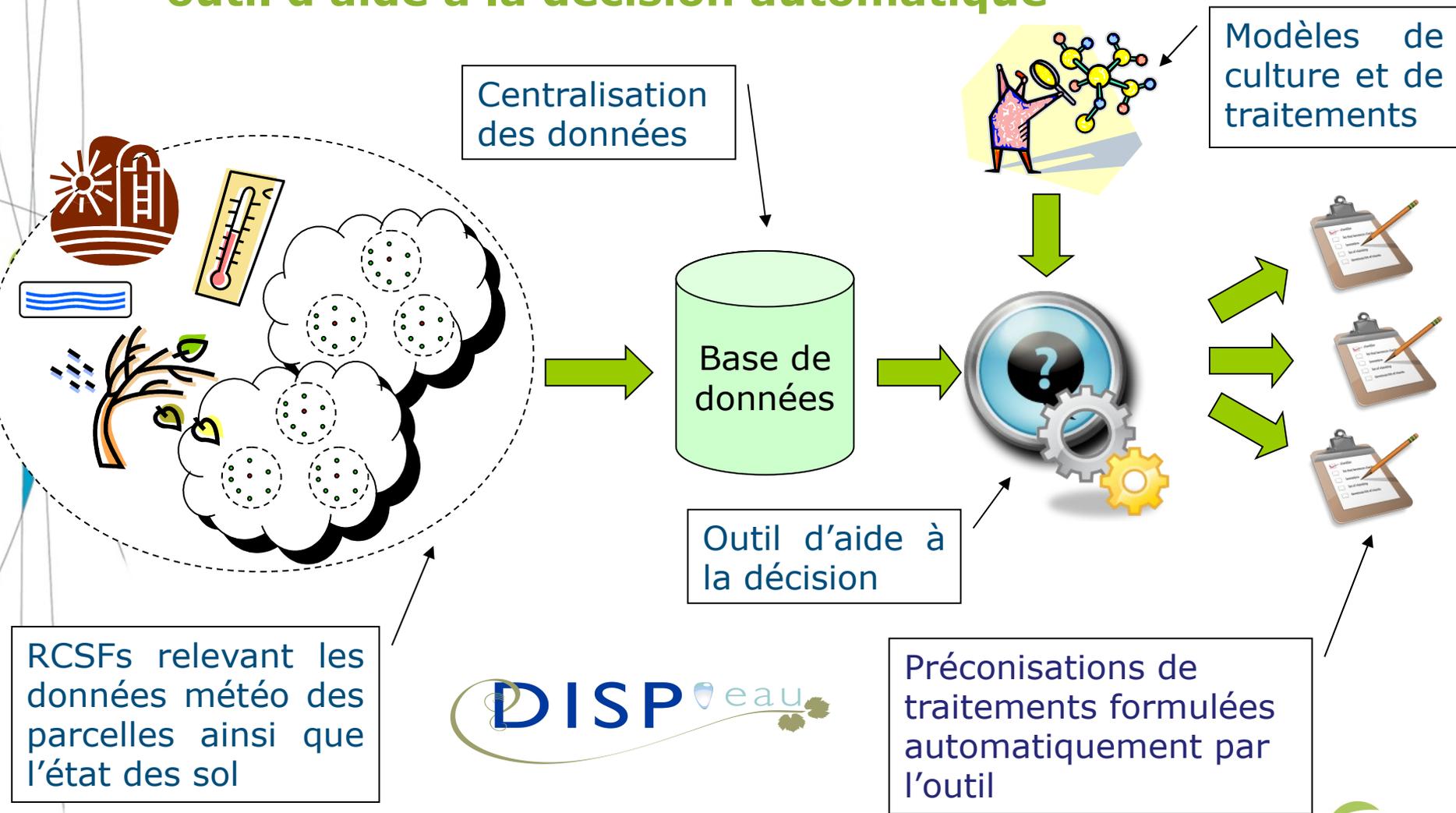
● **Gain énergétique de 7 à 65 %**



- **Fonctionnement nominal : 365 jours**
- **Autonomie augmentée de 25 à 236 jours**

► RCSFs et aide à la décision

► Intégration des RCSFs dans les SI pour alimenter un outil d'aide à la décision automatique



► Contraintes et solutions

► Contraintes à prendre en compte

- Mesures
 - › *Type de capteurs employés*
- Communication
 - › *Large zone à surveiller*
 - › *Densité du feuillage de la vigne*
- Autonomie
 - › *Une saison de culture*

► Solutions apportées

- Communication
 - › *Nœuds en hauteur*
 - › *Couverture radio importante (visibilité directe du réseau)*
- Minimisation de la consommation
 - › *Mode veille active*
 - › *Optimisation du fonctionnement*
- Autonomie
 - › *Fonctionnement général : 3*1.5V AA*
 - › *Autonomie théorique : ~6 mois*

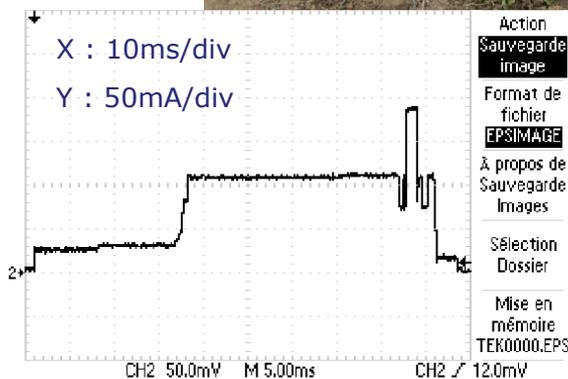
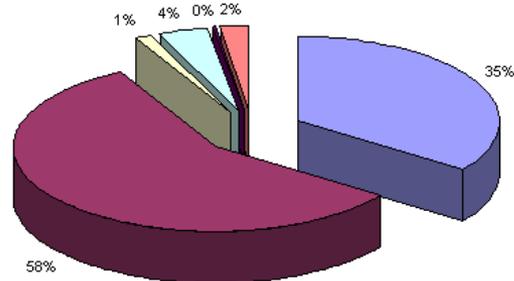
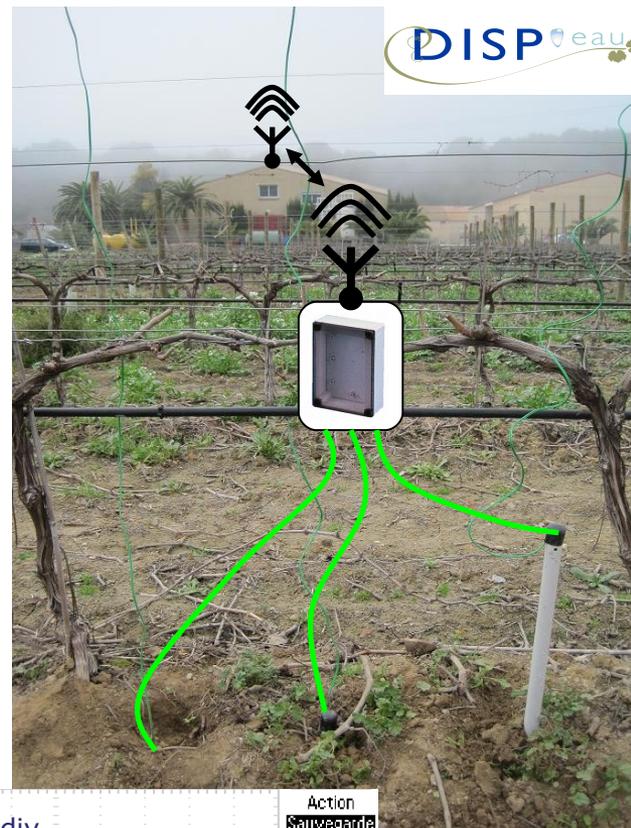
► Résultats obtenus

► Travaux en cours

- Etude du profil énergétique
 - › Calcul d'autonomie
 - › Temps de fonctionnement
- Validation des chaînes de mesure
 - › Cycles entiers en laboratoire
 - › Calibration des fonctions de calcul

► Mise en place

- En environnement contrôlable
 - › Proche du laboratoire
- Sur parcelles agricoles
 - › Site du Cemagref
- Sur la vigne
 - › Parcelles sélectionnées pour le projet



- 1. Introduction**
- 2. Etat de l'art des applications des RCSFs**
- 3. Plateformes matérielles couramment utilisées dans les RCSFs**
- 4. Présentation des aspects logiciels pour les RCSFs**
- 5. Quelques exemples d'applications concrètes dans l'agriculture**
- 6. Retour d'expérience avec les contraintes rencontrées et les résultats obtenus**
- 7. Conclusion et perspectives**

► Technologie des Réseaux de Capteurs Sans Fil

- Système complexe à fortes contraintes
 - › *Ressources matérielles et énergétiques limitées*
 - › *Robustesse des communications*
- Facilité de déploiement
 - › *Fonctionnement adapté aux utilisateurs*
 - › *Travaux d'installation et de maintenance aisés*
 - › *Couverture de larges espaces*
- Extension d'un réseau Wi-Fi
 - › *Supplanté par la large couverture GSM/3G*
 - › *Traitements des zones blanches*
- Systèmes embarqués dédiés
 - › *Gestion de la contrainte énergétique*
 - › *Solutions de communication*
 - › *Complexité des traitements sur les nœuds*

► Conclusion (2)

► Fonctions des nœuds

- Collecte et acheminement des informations
 - » *Du capteur à l'utilisateur*
- Relais de communication
 - » *Traitement d'obstacles*
 - » *Redondance des liens de communication*

► Peu de déploiements effectifs

- Beaucoup de simulations
- Expérimentations en environnement contrôlable
- Rares applications sur le terrain

► Vastes domaines d'applications

- Urbains
- Agricoles
- Militaires
- Aide et confort des personnes



► Perspectives

► Démocratisation des RCSFs

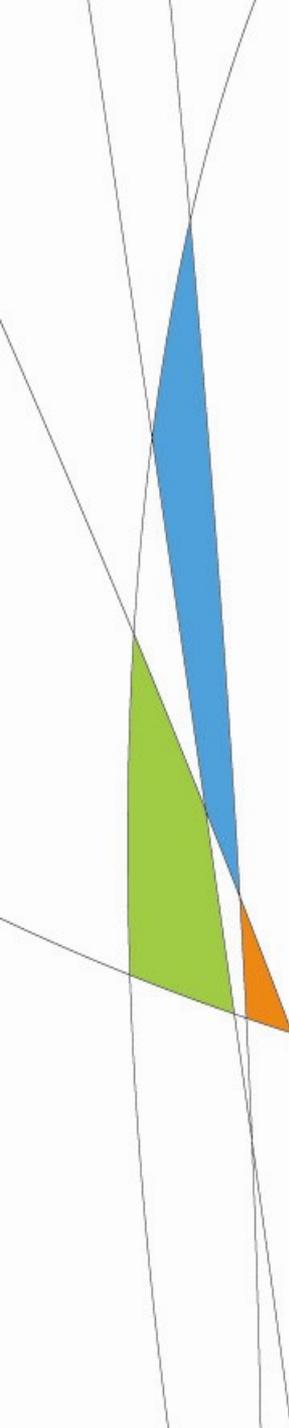
- Considérés comme l'une des technologies clés du 21^{ème} siècle
- Elargissement des applications
 - › *Nanotechnologies*
 - › *Vêtements intelligents*
 - › *Electroménagers*

► Diversification des dispositifs de mesure

- Grandeurs observables
 - » *Nouveaux capteurs ou adaptation d'existants*
- Lieu de mesure
 - » *Au plus près de l'observation*

► Travaux sur la thématique des RCSFs

- Gestionnaire d'énergie, autonomie
- Systèmes d'exploitation
- Protocoles de routage
- Administration



Merci de votre attention.

The Sensors Network museum: <http://www.snm.ethz.ch/Main/HomePage>

Crossbow : <http://www.xbow.com/>

MEMSIC : <http://www.memsic.com/>

CSIRO : <http://www.csiro.au/>

Cemagref : <http://www.cemagref.fr>

Mail : aurelien.jacquot@cemagref.fr