

Les Réseaux de capteurs sans fil (RCSF)

Concepts et domaines d'application

Thomas Milon – Céline Rodriguez

Introduction

- Progrès dans les domaines de la microélectronique, de la micromécanique, des technologies de communication sans fil et des applications logicielles.
- RCSF => système de captage = véritable « système embarqué ».
- Nombreux domaines d'applications (militaires, sécurité, environnement, médecine, commerce etc.)

Réseaux de capteurs sans fil : concepts et applications

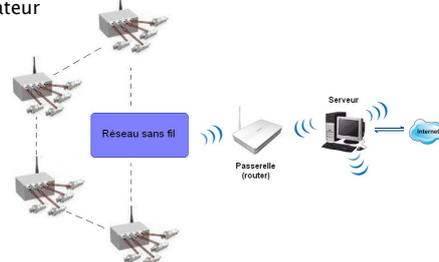
Appli militaire : premiers financement

Sommaire

1. **Concepts et généralités**
 1. Technologies de capteurs
 2. Architecture matérielle du capteur
 3. Composants logiciels
2. **Exemples d'utilisation – Spécificités**
 1. Exemples d'application en agriculture et météorologie
 2. Exemples d'application environnementale
 3. Exemple d'application en Recherche
3. **Conclusions et perspectives**

Définition Générale

- ▶ **Un capteur sans fil : acquisition d'une donnée à l'aide d'un capteur de grandeur physique + (traitement) + transmission par technologie sans fil**
- ▶ **Un RCSF (Wireless Sensor Networks (WSN)) est un ensemble de capteurs regroupés au sein d'un même réseau sans fil.**
 - considéré comme un type spécial de réseaux ad hoc
 - composé de « nœuds »
 - notion de « champs de captage ».
 - protocole de routage : étoile, « toile » ou hybride.
 - « point de collecte » ← requêtes utilisateur



- Traitement post acquisition : si capteur intelligent.
- Les nœuds de ce type de réseaux consistent en un **grand nombre de micro-capteurs** capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome.
- Ils sont dispersés à travers une zone géographique, appelée **champ de captage**, qui définit le terrain d'intérêt pour le phénomène capté.

Étoile : **une station de base envoie ou reçoit un message via un certain nombre de nœuds.** Ces nœuds peuvent seulement envoyer ou recevoir un message de l'unique station de base, il ne leur est pas permis de s'échanger des messages.

Avantage : simplicité, faible consommation, moindre latence de communication.

Inconvénient : vulnérabilité du système (centralisé sur la station de base)

Grille: (dit « *communication multi-sauts* ») **tout nœud peut échanger avec n'importe quel autre nœud du réseau** (s'il est à portée de transmission). Un nœud voulant transmettre un message à un autre nœud hors de sa portée de transmission, peut utiliser un nœud intermédiaire pour envoyer son message au nœud destinataire.

Avantage : Possibilité de passer à l'échelle du réseau, avec redondance et tolérance aux fautes,

Inconvénient : consommation d'énergie plus importante, latence (passage des messages des nœuds par plusieurs autres avant d'arriver à la station de base).

Hybride => communications réseau robustes et diverses: minimisation de la consommation d'énergie. **les nœuds capteur à faible puissance ne routent pas les messages**, mais il y a d'autres nœuds qui ont la possibilité de faire le routage des messages. En général, ces nœuds

Technologie de capteurs

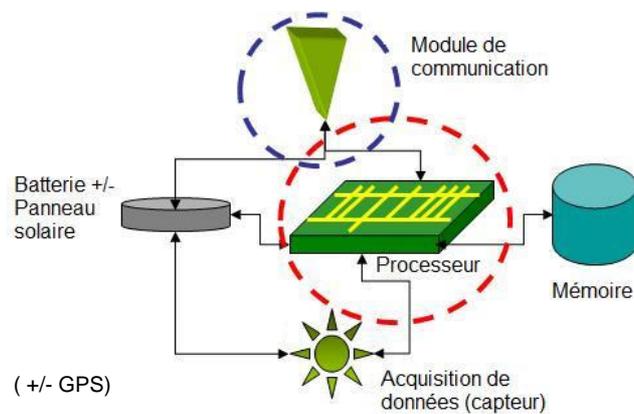
- ▶ Capteur « poussière » (smart dust)
 - Miniaturisation extrême (nanotechnologies)
 - Fonctionnalités limitées
 - Rares, en Recherche

- ▶ Capteur dit « évolué »
 - Nouvelle génération de « systèmes embarqués »
 - Adapté dans un système d'acquisition de données
 - Couvrent un grand nombre de domaines d'applications

Taille de plus en plus réduite.

Capteur poussière : application potentielle en foret amazonienne ms comment récupérer?
Biodégradable? => pb environnementaux.

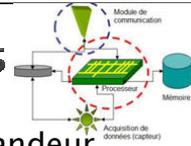
Architecture matérielle du capteur



Source : « Architecture logicielle pour *capteurs sans-fil* en réseau. » - Séverine SENTILLES- 21 juin 2006

Montrer boîtier prêté par Alexia Gobrecht (projet good food) et ses différents composants.

Dispositif d'acquisition de données



Définition : Instrument transformant une grandeur physique en une grandeur quantifiable.

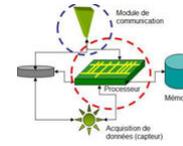
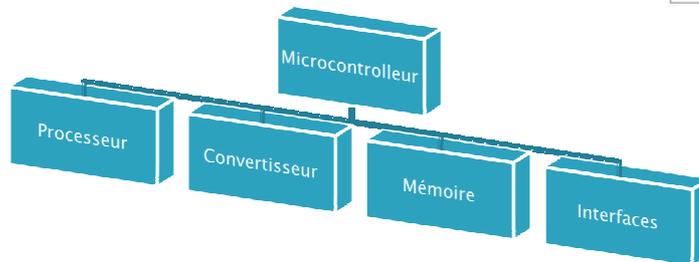


Source : Agriscope

Il est possible d'envisager plusieurs dispositifs sur un même capteur.

Il faudra faire attention à la taille des capteurs et leur capacité à être déplaçable.

Microcontrôleur



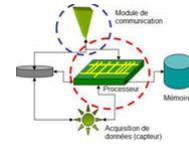
Processeur : unité de contrôle, de commande et de traitement (ARM7, MSP)

Convertisseur : transforme les signaux analogique en digital

Mémoire : RAM (intermédiaire de calcul) et/ou Flash (stockage)

Interfaces : permet d'interagir avec le système (Port série UART, USB, JTAG)

Module de communication



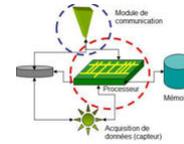
▶ 3 solutions:

- Technologies dédiées aux réseaux sans fil (IEEE)
- Téléphonie mobile
- Communication par satellites

Contraintes :

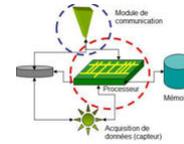
- Problèmes d'atténuation (distance, obstacles, pluie)
- Problèmes de Multi-trajet
- Problèmes d'interférences

Source d'alimentation



- Energies renouvelables (Solaire, Eolien)
 - Problème de puissance et de rendement
- Piles boutons, piles AA rechargeables
 - Autonomie variable et inférieure aux non rechargeables
 - 1,3V au lieu de 1,5V
- Blocs batteries dédiés
 - Chers et polluants mais dimensionable selon le capteur

Module de positionnement GPS



- ▶ Utile pour la **localisation** et la **synchronisation** des données.

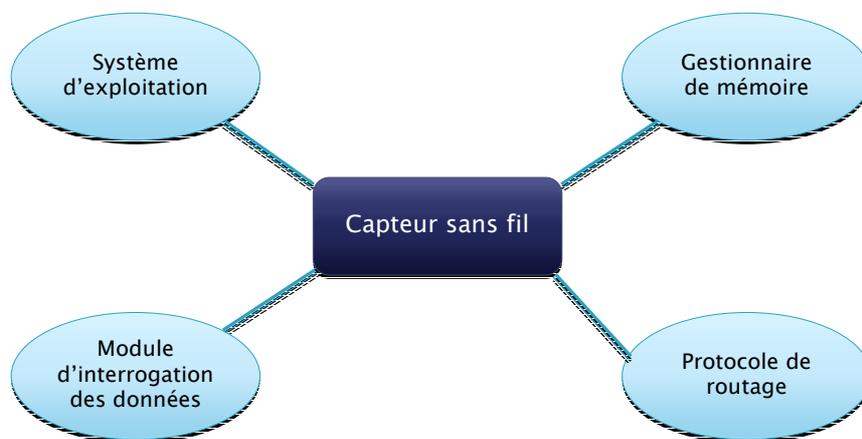
Contrainte :

- souvent trop cher à mettre en place

Alternative pour la synchronisation :

- protocole dérivé du SNTP (Simple Time Network Protocol)

Composants logiciels



Systèmes d'exploitation (RCSF)

Systèmes multitâches		Systèmes basés sur les événements	Systèmes hybrides	
MANTIS	AmbientRT	TinyOS (Open Source)	Contiki	LIMOS

► Systèmes basés sur les événements

(= les plus courants)

- définition des événements gérés par le système
- exécution complète et en 1 seule fois de l'action (niv. de priorité)
- possibilité de déclenchement d'un événement par un autre

Les propriétés attendues : Image mémoire petite +Efficacité en calcul et consommation d'énergie + La communication est fondamentale + temps-réel + Construction efficace d'applications.

•Nombreux nouveaux produits logiciels sont attendus, y compris dans le domaine de l'[open-source](#) avec par exemple [TinyOS](#) (Tiny Operating System) développé à l'Université de Berkeleyun: système d'exploitation "open source" conçu pour les capteurs embarqués sans-fil qui est **déjà utilisé (en 2009)** par plus de 500 **universités et centres de recherche** dans le monde.

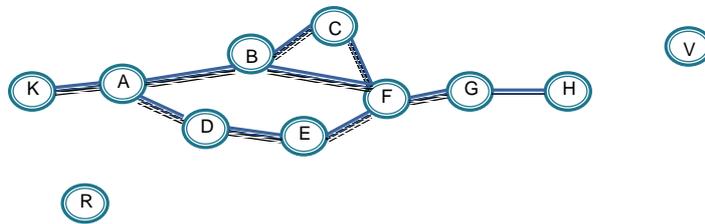
La réalisation de programmes sur cette plateforme s'effectue exclusivement en [NesC](#) (dialecte du C). Cet OS a notamment pour particularité une taille extrêmement réduite en termes de mémoire (quelques kilo-octets).

- Nombreux travaux à l'heure actuelle.
- Possibilité de reconfigurer à n'importe quel moment à l'aide d'une clé USB ou d'un module spécifique à brancher.

Protocoles de routage

► Concepts

- **Protocoles proactifs** : stockage au niveau de chaque mobile d'un chemin vers tous les autres (construction initiale d'une table de routage)
- **Protocoles réactifs** : construction de la table de routage au gré des communications
- **Protocoles hybrides** : combinaison proactifs/réactifs (déf. de zones de fonctionnement proactif autour de chaque nœud.)



Réseaux de capteurs sans fil : concepts et applications 14

Proactifs : protocoles FSR (Fish-eye State Routing) ou OLSR (Optimized Link State Routing)

Reactifs: protocoles DSR (Dynamic Source Routing) et AODV (Ad hoc On demand Distance Vector Routing).

Autres familles:

Géographiques : limite envoi de messages ds une zone géographique délimitée

Multicast : communication vers un groupe de nœud au lieu d'un seul

Géocast : communication vers un groupe de nœud d'une zone géog. délimitée

Gestionnaire de mémoire

- ▶ Utilisation de **mémoire de type flash**
- ▶ **Adressage** physique et logique sous TFFS
- ▶ Ne représente pas un problème aujourd'hui dans les RCSF mais influe sur la **stratégie énergétique**
- ▶ **Réflexion sur la capacité de stockage** en fonction de l'utilisation finale du produit (fréquence d'acquisition, volume de données etc.).
- ▶ En agri. : généralement, stockage limité de données brutes.



Réseaux de capteurs sans fil : concepts et applications 15

Mémoire flash : mémoire non volatile, type NOR ou NAND, nb d'écritures limité => cout énergétique + temps

TFFS: envoi d'une trame complexe dont une partie correspond à la donnée . Les données st ensuite compilées de manière à former un fichier.

Module d'interrogation des données

▶ Envoi de requêtes SQL

- opérateurs classiques ou TinyDB

▶ Systèmes utilisés

- TinyDB (module de TinyOS)
- Cougar

Exemple:

```
SELECT Volume  
FROM Sensor1  
GROUP BY date  
SAMPLE PERIOD 15min
```

▶ Intérêt:

- sélection des données d'intérêt
- réduction du volume de données transmises...

Bilan

- ▶ Matériel évolutif
- ▶ Choix des composants en fonction des enjeux et contraintes de l'application
- ▶ RCSF : beaucoup de recherche et encore peu d'applications concrètes en agriculture et environnement

Exemple d'utilisation des RCSF en agriculture : – Le projet GoodFood –

▶ Contexte:

- Projet européen de recherche issu du 6^{ème} PCRD cherchant à assurer la sécurité et la qualité des aliments à l'aide d'outils issus des microtechnologies, des nanotechnologies et des technologies de microsysteme.

▶ Période :

- Janvier 2003 – Septembre 2007

▶ Cout du projet :

- 17.43 million d'euros

▶ Projet Goodfood PechRouge :

- Suivi de la vigne



Exemple d'utilisation des RCSF en agriculture :
– Le projet GoodFood –

- ▶ 15 Stations réparties sur une parcelle de 1,14Ha
- ▶ Capteurs :
 - Température (air, sol, feuille), humidité (air, sol), dendromètre,...
- ▶ Communication :
 - Bluetooth, Zigbee (50m) et GPRS
- ▶ Alimentation :
 - batterie dédiée et solaire (Passerelle)
- ▶ Récupération des données:
 - Automatique, toutes les 15 minutes, accès web

Exemple d'utilisation des RCSF en agriculture :
– Le projet GoodFood –

▶ **Valorisation des données :**

- Gestion de l'irrigation
- Indicateurs maladies
- Gestion des phytosanitaires

www.unifi.it/midra/goodfood

▶ **Intérêt des RCSF**

- Meilleure connaissance du milieu
- Suivi en temps réel
- Génération d'alertes maladie

...a donné naissance à la société Netsens.

Exemple d'utilisation des RCSF en agriculture : – Agriscope –

▶ Contexte :

- Société privée née en Mars 2008
- 2 gérants, environ 30(?) stations en service

▶ Concept : Systèmes Multi-points, Multi-capteurs, Multi-utilisateurs.

▶ Capteurs utilisés :

- Température et humidité (air, sol, feuille), pluviométrie, vitesse du vent, ensoleillement
- Nouveau : Mesure de dilatation des ceps, compteur d'insectes, mesure de débit de sève...

▶ Données : Somme de températures, degrés jour, amplitude thermique, point de rosée, ETP...

▶ Communication : Radiofréquence 868Mhz (6km)

▶ Alimentation : 4piles LR14

▶ Coût : 2000 à 3000€ + 10€/mois



Transfert toutes les 15min.

Capteur de vent (anémomètre) : toutes les minutes et moyenne sur 15 minutes.

Exemple d'utilisation des RCSF en agriculture : – Agriscope –

- ▶ Valorisation : Accès au données, Analyses et Alertes



<http://www.agriscope.fr/serveuraccess.html>

Agriculteurs = être informés et alertés en temps réel, Outils d'aide à la décision.

Techniciens spécialisés = données pour le conseil.

Coopératives = connaître avec précision tous les paramètres agro-environnementaux de l'ensemble d'un territoire.

Chercheurs = matière nécessaire pour faire évoluer, améliorer les modèles agronomiques existants ou en créer de nouveaux, plus performants.

ITV de Bordeaux = 20 agribases pour une parcelle.

Exemple d'utilisation des RCSF en agriculture : – Agriscope –

▶ Intérêt des RCSF :

- Portée des agribases = 6km
- Pas d'abonnement GPRS
- Solution automatique, peu énergivore et économique
- Accès web intégrant des modèles agronomiques simples
- Agribases transportables et sur mesure
- Quasi temps réel.

▶ Limites :

- Agribases non intercommunicantes – utilisation de relais
- Absence de mémoire interne (passerelle peut stocker quelques semaines de données)



Protocole peu énergivore.

Serveur 10 Go en postGrey.

Exemple d'utilisation des RCSF en météorologie : – Association Climatologique de l'Hérault –

- ▶ Contexte :
 - Bureau de collecte de données météos
 - 20aine de Stations (cf. diapo suivante)
 - 4 personnes
- ▶ Capteurs : Température, humidité, humectation, pluviométrie, vent, rayonnement.
- ▶ Communication : RTC (filaire)
Evolution en GSM
- ▶ Alimentation : panneau solaire + batterie 5V.



Pluie et T°C journalière

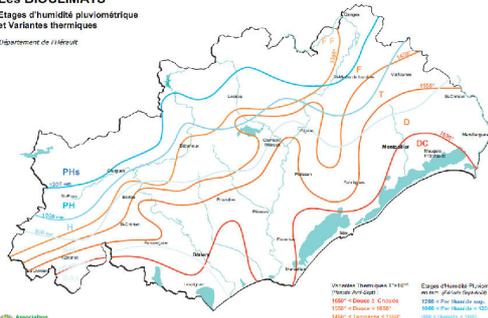
Rencontre avec Mr Laget (et son technicien).

ACH est le centre agroclimatique sur l'Hérault soutenu par le Conseil Général et la Chambre d'Agriculture. (30 ans de données)

20aines de stations => décrire comment elles ont été placées, cf. découpage en 8 zones (**diapo suivante**).

Relève 1 fois par semaine. Capacité de la mémoire interne = 2 à 3 semaines selon le nombre de capteurs.

Les BIOCLIMATS
 Etages d'humidité pluviométrique
 et Variantes thermiques
 Département de l'Hérault

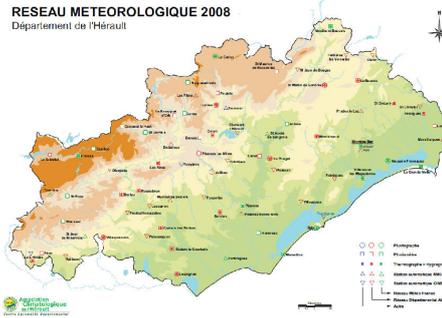


Variante Thermique T° > 10°C
 1000° < Densité < 100000
 1000° < Densité < 100000

Etage d'Humidité Pluviométrique
 1000° < Plu. Niveau sup.
 1000° < Plu. Niveau sup.

Travail en collaboration avec
 l'INRA sur les différentes
 zones mésoclimatiques.

Disposition du réseau de capteurs
 sur le territoire de l'Hérault.



Exemple d'utilisation des RCSF en météorologie : – Association Climatologique de l'Herault –



- ▶ **Durée de vie :**
 - 10 à 15ans (Environ 4 entretiens par an)
- ▶ **Données :** Tmin, Tmax, Cumul des pluies, Indice de fraîcheur des nuits (Frais = phénologique) + Bruts (**toute les 15 minutes**)
- ▶ **Valorisation :** Recherche (ex:Disp'Eau) et Viticulture (Bilan Millésime)
 - [Cf. publication mensuelle \(11 Nov.pdf\)](#)



Pluie, T°C et hygrométrie horaires

Réseaux de capteurs sans fil :
concepts et applications

26

Projet disp'eau (ITK) : labellisé par le pôle de compétitivité Q@liMéditerranée :développement d'un outil logiciel innovant d'aide à la décision pour la viticulture. Il permettra de **piloter les itinéraires hydriques, ou le mode de conduite dans la vigne dans les régions où l'irrigation n'est pas possible**, en fonction d'un objectif de qualité des raisins. L'optimisation des trajectoires hydriques grâce à l'outil permettra une meilleure gestion de la ressource en eau, de substantielles économies d'eau dans les zones déjà irriguées, et de dimensionner au mieux les aménagements hydrauliques d'irrigation.

Bilan millésime : synthèse annuelle qui reprend mois par mois les bilans et faits marquants → explicite caractéristiques millésime viti.

Exemple d'utilisation des RCSF en météorologie : – Association Climatologique de l'Herault –

- ▶ Exemple de valorisation : Conseil régional
 - Ensemble de bilans (T°, hydriques etc.) disponibles sur le site de l'observatoire viticole (http://www.obs-viti-cq34.com/viti/consulter_doc2.jsp?id_theme=0101040101&ordre=01020101)
 - Ex : [Bilan climatique novembre 2009.pdf](#)

- ▶ Intérêt des RCSF:
 - Possibilité de disposition des stations sur un large territoire (indépendance du filaire).
 - Environ 10% moins cher que le RTC
 - Souvent, + de problèmes en RTC (poteaux tombent, câbles cassent,...)

Exemple d'application environnementale:

- Syndicat Mixte du Bassin Versant du Lez (SMBVL)-

▶ Contexte et enjeux globaux

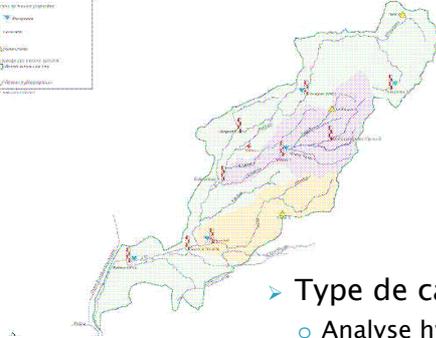
- crues de 1993 et 2003
- 2002 : Mise en place d'un Service d'Annonce de Crues (SPC)
- le Lez = cours d'eau non « réglementaire » → gestion par le SMBVL

▶ Intérêt des RCSF

- obtention rapide et automatique des données
- suivi permanent
- système peu énergivore et économique
- accès Web
- capteurs transportables
- système fiable et sécurisé
- système évolutif



Exemple d'application environnementale: SMBVL

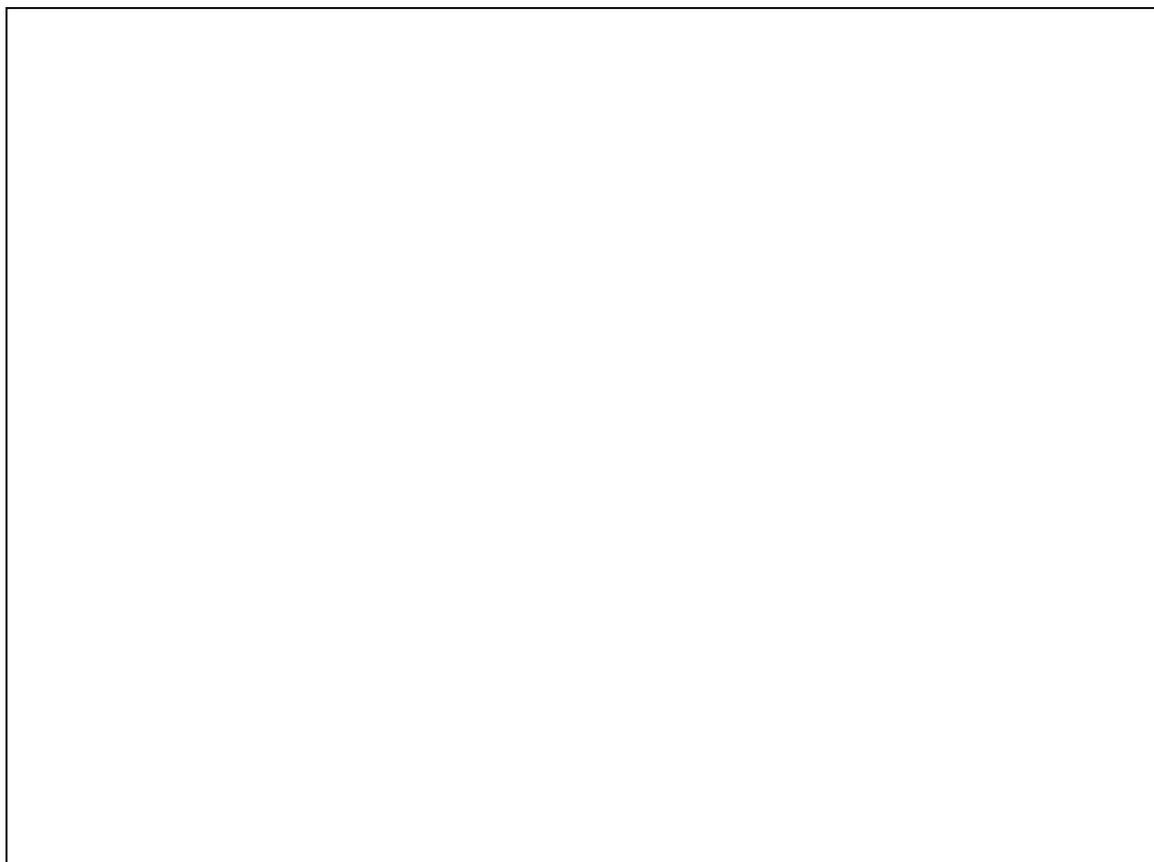


Station de mesure de Teysnière

- Type de capteurs utilisés et protocoles
 - Analyse hydrologique à conduit à la localisation
 - 12 sites de télémessure
 - 9 limnimètres radar hyperfréquences
 - 8 pluviomètres
 - 3 sondes d'humidité du sol
- Diffusion des données par radio fréquence
- Alimentation par panneaux solaires

	Goodfood	Agriscope	ACH	SMBVL
Communication	IEEE + GPRS	RF 868MHz	RTC + GSM	RF
Fréquence	15min	15min	Sur demande	15 minutes
Mémoire	Absent	Absent	2-3 semaines	(Absent?)
Portée	50m	6km	-	-
Alimentation Autonomie	Batterie (+ Solaire) 1 an et demi	Plie LR15 1 an	Solaire (+Batterie 15V) 10 à 15 ans	Solaire
Cout de communication	faible	zéro	30€/mois	-
Cout de la station	Don	2000 à 3000€	6000€	-
Valorisation	Recherche agronomique	Agricole	Climatologie	Gestion des crues

Sources : Alexia Gobrecht (Cemagref), Guillaume Fernandez (Agriscope), Frederic Laget (ACH)



Conclusion et perspectives

- ▶ **Technologie récente.**
- ▶ Un RCSF permet de récupérer des données issues de capteurs **à distance automatiquement.**
- ▶ Développement de capteurs plus complexes en parallèle.
- ▶ Travaux de **miniaturisation, allongement durée de vie** des batteries.
- ▶ **Amélioration des protocoles** et optimisation des **consommation d'énergie.**
- ▶ **Outils d'avenir** dans un grand nombre de domaines d'application dont celui de l'agriculture et l'environnement.



Merci de votre attention



Bibliographie

- ▶ Article « Réseau de capteurs dans fil » du site Wikipedia .
http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_de_capteurs_sans_fil
- ▶ Nouvelles du Giti « Réseaux de capteurs sans fil » - Karl BAUMGARTNER - IBCOM, 12/05-01/06.
- ▶ Article "Réseau de capteurs sans-fil" du site Techno-Science.net
<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=11711>
- ▶ Site d'Aurélie BUNEL, Ecole Ingénieurs 2000 « Les réseaux de capteurs sans fil »
<http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/Bunel/>
- ▶ Support de présentation soutenance de stage « Architecture logicielle pour *capteurs sans-fil* en réseau. » – Séverine SENTILLES- 21 juin 2006.
http://liuppa.univ-pau.fr/ALCOOL/DOC/M2R-SENTILLES/PresentationStage_versionFinale.ppt.
- ▶ Site de Goodfood : www.goodfood-project.org/
- ▶ Site de Agriscope : <http://www.agriscope.fr/>
- ▶ Présentation SIMA 2009, Agriscope.
- ▶ Manuel de l'utilisateur, Interface web, Agriscope.
- ▶ Site du Pic Saint Loup : <http://www.loupic.com/~Association-Climatique-de-l-.html>
- ▶ Support de présentation « Changement climatique: analyses et expertises sur le département de l'Hérault » – Frederic LAGET, ACH – Soirée Observatoire Viticole Départemental du 19 mars 2009.
<http://www.obs-viti-cq34.com/viti/repository/actualites/AnalyseChangementclimatique.pdf>
http://www.worldwatercongress2008.org/resource/authors/abs752_article.pdf
- ▶ Suivi agrométéorologique des terroirs viticoles, Coteaux du Languedoc, millésime 2009.
- ▶ Réseau Météorologique 2008, département de l'Hérault (ACH).
- ▶ Les Bioclimats, Etages d'humidité pluviométrique et Variantes thermiques, Département de l'Hérault (ACH).
- ▶ Infoclim 34 : évolution mensuelle novembre 2009 (ACH).
- ▶ Site du Cimel, fournisseur de l'ACH : www.cimel.fr
- ▶ Site du Syndicat mixte du Bassin Versant du Lez : <http://www.le-lez.com/>
- ▶ Rapport de Projet pilote pour l'alerte de crue sur un bassin versant géré par une communauté » – EGIS EAU – 13^{ème} Congrès mondial de l'eau , Montpellier 2008.

Contacts

- ▶ Thomas Milon
 - tom_milon@hotmail.com
 - thomas.milon@supagro.inra.fr
 - 06 12 49 77 40
- ▶ Céline Rodriguez
 - rodrigc@supagro.inra.fr
 - 06 61 29 99 87