MÉTHODES DE CONSERVATION D'ÉNERGIE DES RÉSEAUX DE CAPTEURS DANS LE CADRE DE L'AGRICULTURE DE PRÉCISION

ABDALLAH MOHAMED KAMIL MARWA

DIRO- Université de Montréal- Avril 2017

MOTIVATIONS

- Défis de l’agriculture
  - Limiter les coûts de production
  - Réduire l’impact sur l’environnement
  - Nourrir une population croissante
- Progrès dans les technologies de l’information
  - Automatiser des processus
  - Mieux comprendre son environnement: comprendre le passé pour mieux prévoir l’avenir

MOTIVATIONS

- Défis de l’agriculture
  - Limiter les coûts de production
  - Réduire l’impact sur l’environnement
  - Nourrir une population croissante
- Progrès dans les technologies de l’information
  - Automatiser des processus
  - Mieux comprendre son environnement: comprendre le passé pour mieux prévoir l’avenir

INTRODUCTION

- L’agriculture de précision
  - Concept de gestion agricole, basé sur l’observation, la prise de mesures, et la capacité à répondre aux variations subies par les champs ou les élevages de bétail.
  - Appliquer une réponse adéquate à une situation donnée au bon endroit et au bon moment: une **solution personnalisée**

INTRODUCTION

- L’agriculture de précision
  - Concept de gestion agricole, basé sur l’observation, la prise de mesures, et la capacité à répondre aux variations subies par les champs ou les élevages de bétail.
  - Appliquer une réponse adéquate à une situation donnée au bon endroit et au bon moment: une **solution personnalisée**
- But
  - Permette à l’exploitant de disposer en **temps réel** d’informations de **diverses natures** sur son terrain
  - Optimiser le rendement agricole, tout en économisant les ressources (eau, engrais…) et les impacts sur l’environnement
  - Conserver un historique, une base de données pour les prédictions futures

INTRODUCTION

- **Collecter** l'information utile à distance
  - Information utile: Température, humidité, luminosité
  - Information précise
  - Moyen de récupération: satellites, drones, réseaux de capteurs sans fil
- **Transmettre,** phase de communication
- Créer un **système de support de décision**, pour appliquer des mesures
  - Décisions personnalisées
  - Choix effectués, et appliqués à distance

INTRODUCTION

- **Collecter** l'information utile à distance
  - Information utile: Température, humidité, luminosité
  - Information précise
  - Moyen de récupération: satellites, drones, réseaux de capteurs sans fil
- **Transmettre,** phase de communication
- Créer un **système de support de décision**, pour appliquer des mesures
  - Décisions personnalisées
  - Choix effectués, et appliqués à distance
- Exemple:
  - Au Chili, dans les vignerons utilisant PA, chaque vigne reçoit une quantité personnalisée de fertilisant, en fonction de la variété de la plante, du type de sol et de son altitude
  - Économie de ressources, rendements en qualité et quantité, et sauvegarde des données.

I) L'AGRICULTURE DE PRÉCISION

- Challenge:
  - Technologies abordables
  - Capacité à couvrir des terrains de taille et de natures différentes
  - Autonomie énergétique
- **Comment créer un système de support de décision déployable à grande échelle et durable, dans le contexte particulier de l'agriculture intensive?**

SOMMAIRE

I) Les réseaux de capteurs sans fil

A) Un capteur

B) Un réseau de capteurs

C) L'importance de la simulation

D) Les standards de communication

II) Les techniques de conservation de l'énergie

A) Les différents mécanismes mis en place

B) Routage energy-aware

III) Exemple d'application

IV) Futures directions

V) Conclusion

I) LES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

- Réseaux de communication sans fil
  - Ubiquité de l’information
  - Facilité d’installation
  - Coût réduit de l’installation
- Réseaux de capteurs sans fil:
  - Systèmes embarqués capables de communiquer à distance
  - Collecte et suivi d’un ensemble de paramètres environnementaux

I) LES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

- 3 classes d'interactions avec l'application courantes:
  - Orienté événement: surveiller une ou plusieurs variables, et générer un rapport lorsqu'un seuil est atteint (alarme incendie)
  - Echantillonnage périodique: surveillance et envoi constants de données (variables) à une base de contrôle
  - Enregistrer et transmettre (store and forward)

I) LES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

- 3 classes d'interactions avec l'application courantes:
  - Orienté événement: surveiller une ou plusieurs variables, et générer un rapport lorsqu'un seuil est atteint (alarme incendie)
  - Echantillonnage périodique: surveillance et envoi constants de données (variables) à une base de contrôle
  - Enregistrer et transmettre (store and forward)
- Les capteurs doivent respecter les exigences:
  - Maximiser la durée de vie
  - Petite taille
  - Faible coût
  - Architecture centralisée

I) LES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

A) Un Capteur

- Unité de base du réseau
- Récupère un signal physique, le convertit en signal analogique, transmet (éventuellement forward) des paquets
- Doit posséder une certaine capacité de traitement de l'information, limitée
- Exemple:

	MICAZ	IPHONE
débit	250 kbits/s	450 Mbits/s
Mémoire vive	4 kb RAM	>128 MB RAM
Mémoire flash	128 kB	32 GB
Poids	18 g	env. 138

Tab : Comparaison de caractéristiques techniques entre un capteur et un smartphone

I) LES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

A) Un Capteur

- Architecture

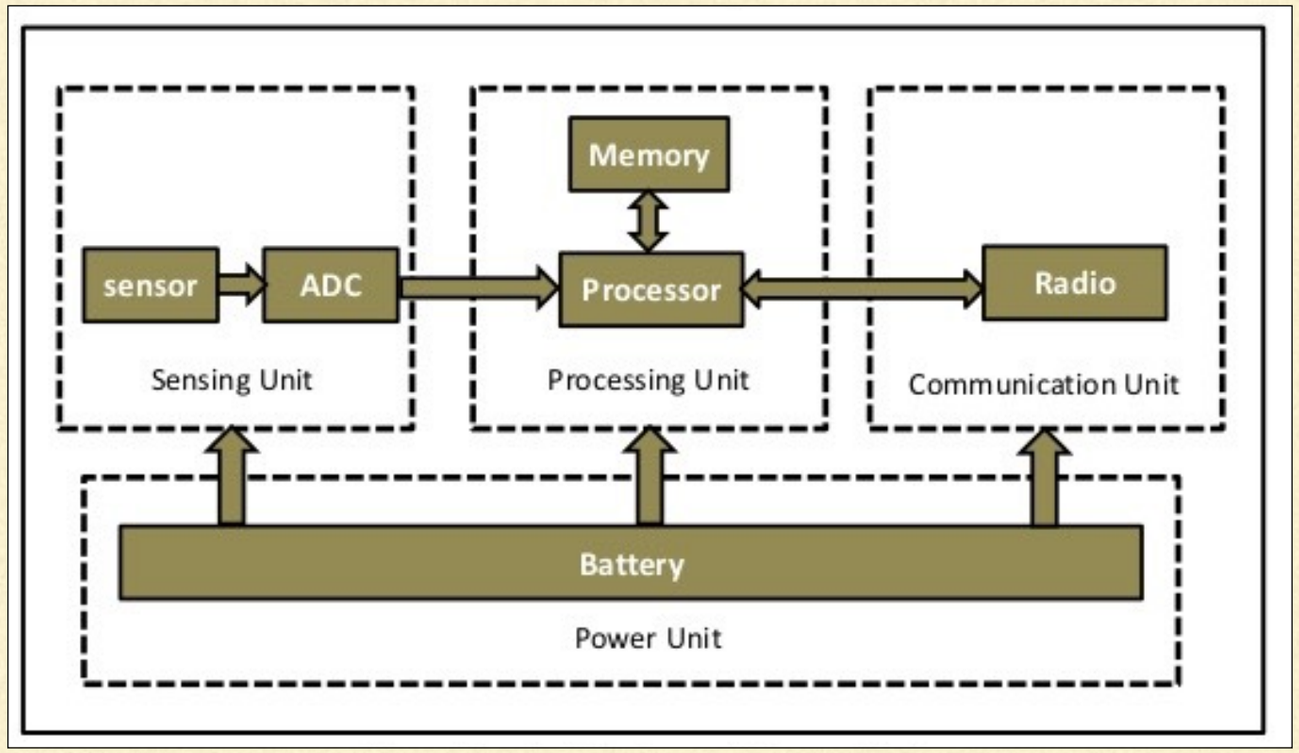


Fig : Architecture d'un noeud (ou mote)

I) LES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

A) Un Capteur

- Les Composants:
  - **Le processing unit** est un contrôleur doté d'une mémoire vive et une mémoire flash.
    - En général, c'est un microcontrôleur
    - Autres options possibles: DSPs, ASICs ...
    - Contrôle des fonctions des autres composants
    - OS spécifiques: TinyOS

I) LES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

A) Un Capteur

- Les Composants:
  - Le **senseur** collecte les signaux (luminosité, température, vibration..), les transforme en signal électrique (ADC) et les transfère au micro-contrôleur.

I) LES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

A) Un Capteur

- Les Composants:
  - Le **senseur** collecte les signaux (luminosité, température, vibration..), les transforme en signal électrique (ADC) et les transfère au micro-contrôleur.
  - L'unité **power unit** assure la gestion de l'énergie
    - Si la Batterie est rechargeable, elle utilise comme source de renouvellement d'énergie son environnement
    - Sinon, l'objectif devient l'utilisation la plus efficace des ressources énergétiques limitées

I) LES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

A) Un Capteur

- Les Composants:
  - Le **Transmetteur** permet l'émission et la réception de paquets
    - Débit faible pour les capteurs non reliés à un chargeur

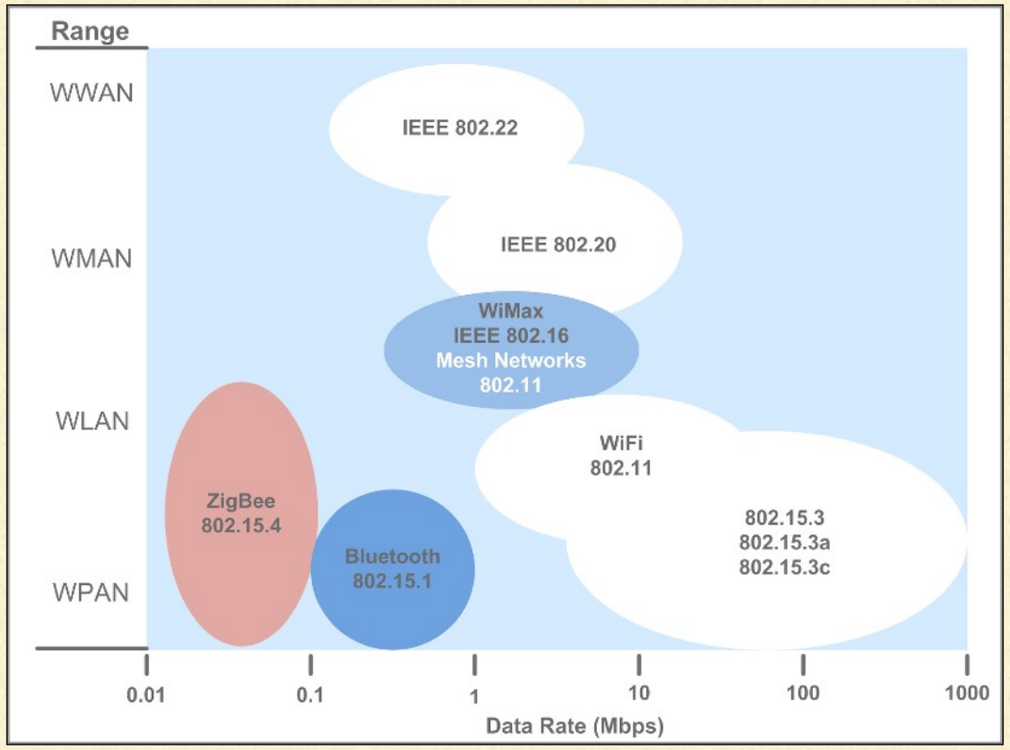


Fig : couverture des standards de communication en fonction de leur débit

I) LES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

A) Un Capteur

- Les Composants:
  - Le **Transmetteur** permet l'émission et la réception de paquets
    - Débit faible pour les capteurs non reliés à un chargeur
    - Composante la plus coûteuse en énergie
    - 4 états conçus pour une gestion plus optimale de l'énergie:
      - Transmit
      - Receive
      - Idle
      - Sleep

B) Un Réseau de Capteurs

- Connexion d'une plateforme (application utilisateur) à un ensemble de noeuds.

- **Gateway (ou Base Station)**:
  - Interface entre la plateforme applicative et les noeuds du réseau.
  - Permet la communication entre 2 protocoles différents
- **Noeud relai**: Full Function Device (FFD). Il s'agit de routeur:
  - Relayer l'information jusqu'au Gateway
  - étendre la couverture géographique du réseau
  - Peuvent aussi faire du sensing
- **Noeud feuille:** RFD. Noeuds feuilles. Surtout pour le sensing

I) LES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

B) Un Réseau de Capteurs

Topologie

- Étoile (single-hop)
  - Chaque noeud communique directement avec le Gateway. Pas de communication entre les noeuds.

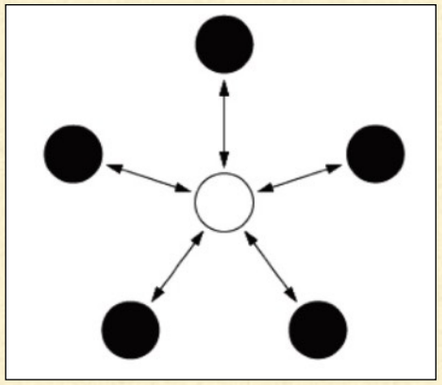


Fig ..: Topologie Etoile

- Maillé (Mesh)
  - Les noeuds peuvent tous communiquer entre eux, et relayer de l'information.

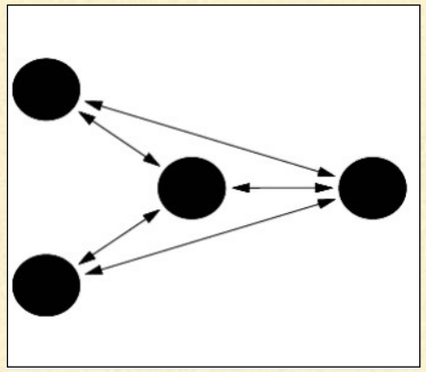


Fig..: Topologie Mesh

B) Un Réseau de Capteurs

- Hybride
  - Inspiré des modèles étoile et maillé
  - Certains noeuds (Niveau d'énergie suffisant) peuvent faire le routage des paquets
  - Exemple: Cluster Based. Plusieurs réseaux étoiles, un cluster head pour chaque.

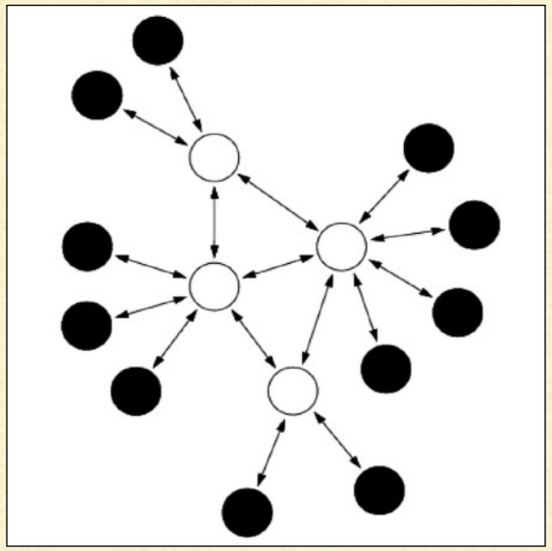


Fig..: Topologie Hybride, hiérarchique

=> Permet le routage, scalability, en minimisant la perte d'énergie globale des noeuds du réseau

C) Les standards de communication

- Modèle, et standards de communication

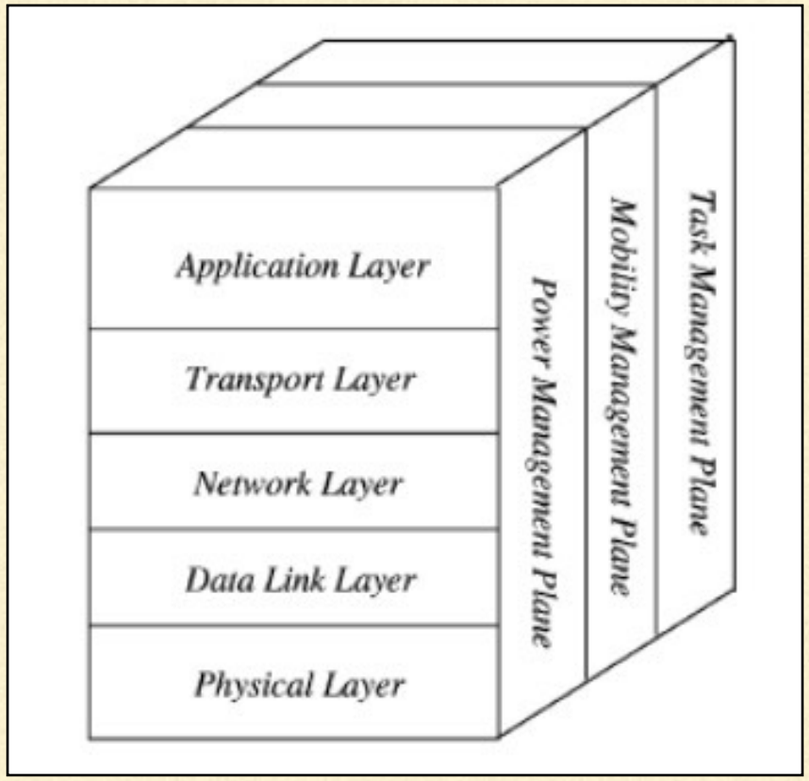


Fig: Modèle de pile de protocoles utilisées par les réseaux de capteurs sans fil

C) Les standards de communication

- Modèle, et standards de communication
  - **IEEE 802.15.4**
    - LR-WPAN
    - Duty-cycling: permettre aux noeuds de se mettre en sleep, périodiquement
    - Niveau physique: émetteur/récepteur à basses fréquences. contrôle de bas niveau (qualité du signal, détection d'énergie)
    - Niveau liaison: CSMA/CA (pour les applications réactives)
      - un noeud écoute avant d'envoyer: éviter les collisions

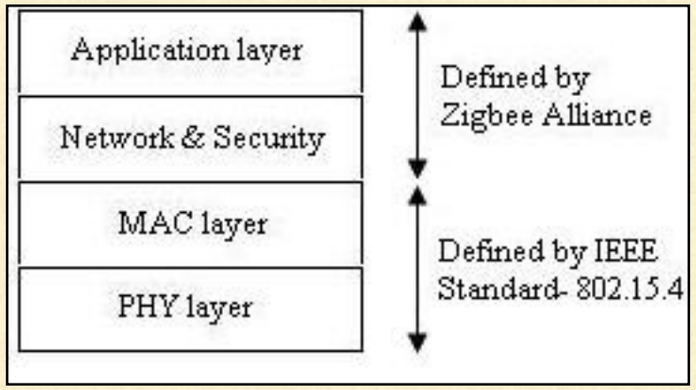


Fig : Pile de protocoles les plus utilisés en pratique

C) Les standards de communication

- Modèle, et standards de communication
  - **ZigBee**
    - Ensemble de protocoles de communication de haut niveau, basé sur IEEE 802.15.4
    - Proposé en 1998, standardisé en 2003
    - Supporte différentes topologies
    - 3 types d'équipements:
      - Le coordinateur (ZC)
      - Le routeur (ZR)
      - L'équipement terminal (ZED)

C) Les standards de communication

- Modèle, et standards de communication
  - **ZigBee**
    - 3 couches:
      - Réseau
        - Protocole de routage par défaut: Ad-hoc On-demand Distance Vector(AODV). Ne convient pas à un suivi constant. Par exemple allumer une lumière à distance
        - Supporte différentes topologies
      - Sécurité
      - Application

D) L'importance de la simulation

- Effectuer des test sur le terrain sans simulation a des inconvénients:
  - Difficulté du déploiement dans des zones difficilement accessibles
  - Compromission de la démarche scientifique
  - Coût en temps

- Tester les protocoles, schémas et les idées conçues par la communauté
- Possibilité de faire varier indépendamment les variables

D) L'importance de la simulation

- Effectuer des test sur le terrain sans simulation a des inconvénients:
  - Difficulté du déploiement dans des zones difficilement accessibles
  - Compromission de la démarche scientifique
  - Coût en temps

- Tester les protocoles, schémas et les idées conçues par la communauté
- Possibilité de faire varier indépendamment les variables
- Outils les plus utilisés:
  - Simulation
    - NS2 : gratuit, sous licence GNU GPLv2
      - le plus populaire pour simuler tous types de réseaux (filaire, non filaire)
    - OMNeT++ … Certains prennent en compte la consommation énergétique, d'autres avec une extension....
  - Emulation

I) LES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

- Différentes nécessitées pour différentes applications

		Scalability	Coverage	RT Delay	QoS	Security	Mobility	Robustness
Healthcare	Vital status monitoring	- -	- -	+ +	+	+ +	+ +	+
	Remote surveillance	- -	- -	+	+	+ +	+ +	-
Agriculture and Environment	Precision agriculture	+ +	+ +	- -	- -	- -	- -	+
	Cattle monitoring	+ +	-	-	- -	- -	+	-
	Environment monitoring	- -	- -	+	+	+ +	+ +	-
Public Safety & Military systems	Active intervention	- -	- -	+ +	+	+ +	+ +	+ +
	Passive supervision	- -	+	+ +	+	+ +	- -	-
Transportation systems	Traffic control	- -	-	+ +	+ +	+ +	+ +	-
	Safety system	- -	-	+ +	+ +	+ +	+	+
	Services	- -	- -	-	+	+	+	-
Industry	SCADA systems	- -	-	+ +	+	+ +	- -	+ +
	Smart grids	+	-	+ +	+	+ +	- -	+ +

Requirement importance	
- -	very low
-	low
+	high
++	very high

Tab: Les critères à remplir par RCSF en fonction du domaine d'application

SOMMAIRE

I) Les réseaux de capteurs sans fil

A) Un capteur

B) Un réseau de capteurs

C) L'importance de la simulation

D) Les standards de communication

II) Les techniques de conservation de l'énergie

A) Les différents mécanismes mis en place

B) Routage energy-aware

III) Étude de cas

IV) Futures directions

V) Conclusion

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

- Cadre:
  - Réseaux de capteurs identiques
  - Capteurs fixes

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

- Cadre:
  - Réseaux de capteurs identiques
  - Capteurs fixes
- Intérêts
  - Capteurs sans fils déployés dans des régions difficile d'accès
  - Communiquer à un débit faible ne suffit pas
  - Si le routage est permit, la topologie du réseau peut-être bouleversée à la mort de certains noeuds

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

- Cadre:
  - Réseaux de capteurs identiques
  - Capteurs fixes
- Intérêts
  - Capteurs sans fils déployés dans des régions difficile d'accès
  - Communiquer à un débit faible ne suffit pas
  - Si le routage est permit, la topologie du réseau peut-être bouleversée à la mort de certains noeuds

=> Penser à des stratégies à tous les niveaux possibles pour maximiser la durée de vie du réseau

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

- Sources principales de la consommation d'énergie
  - tâches de communication
  - calcul, sensing

	Puissance Consommée (W)
Senseur	0.02
Tx: Emission	0.4 ~ 0.7
Tx: Réception	0.36
Tx: Idle	0.35
Tx: Sleep	0.03

Tab : Puissance consommée par un capteur en fonction de l'activité

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

- Sources principales de la consommation d'énergie
  - tâches de communication
  - calcul, sensing
- La durée de vie du réseau:
  - Temps écoulé jusqu'à ce qu'une certaine condition soit vérifiée
  - Mort du premier noeud, une proportion donnée de noeuds ne peut plus communiquer avec le gateway,

	Puissance Consommée (W)
Senseur	0.02
Tx: Emission	0.4 ~ 0.7
Tx: Réception	0.36
Tx: Idle	0.35
Tx: Sleep	0.03

Tab : Puissance consommée par un capteur en fonction de l'activité

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

- Sources principales de la consommation d'énergie
  - tâches de communication
  - calcul, sensing
- La durée de vie du réseau:
  - Temps écoulé jusqu'à ce qu'une certaine condition soit vérifiée
  - Mort du premier noeud, une proportion donnée de noeuds ne peut plus communiquer avec le gateway,
- Energy Efficiency (efficacité énergétique):
  - Ratio entre la quantité totale de données envoyée et l'énergie totale consommée
  - Utiliser moins d'énergie pour faire le même service
  - Toujours en respectant le cahier des charges de l'application, sinon ça ne fait pas de sens

	Puissance Consommée (W)
Senseur	0.02
Tx: Emission	0.4 ~ 0.7
Tx: Réception	0.36
Tx: Idle	0.35
Tx: Sleep	0.03

Tab : Puissance consommée par un capteur en fonction de l'activité

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

A) Les différents mécanismes mis en place

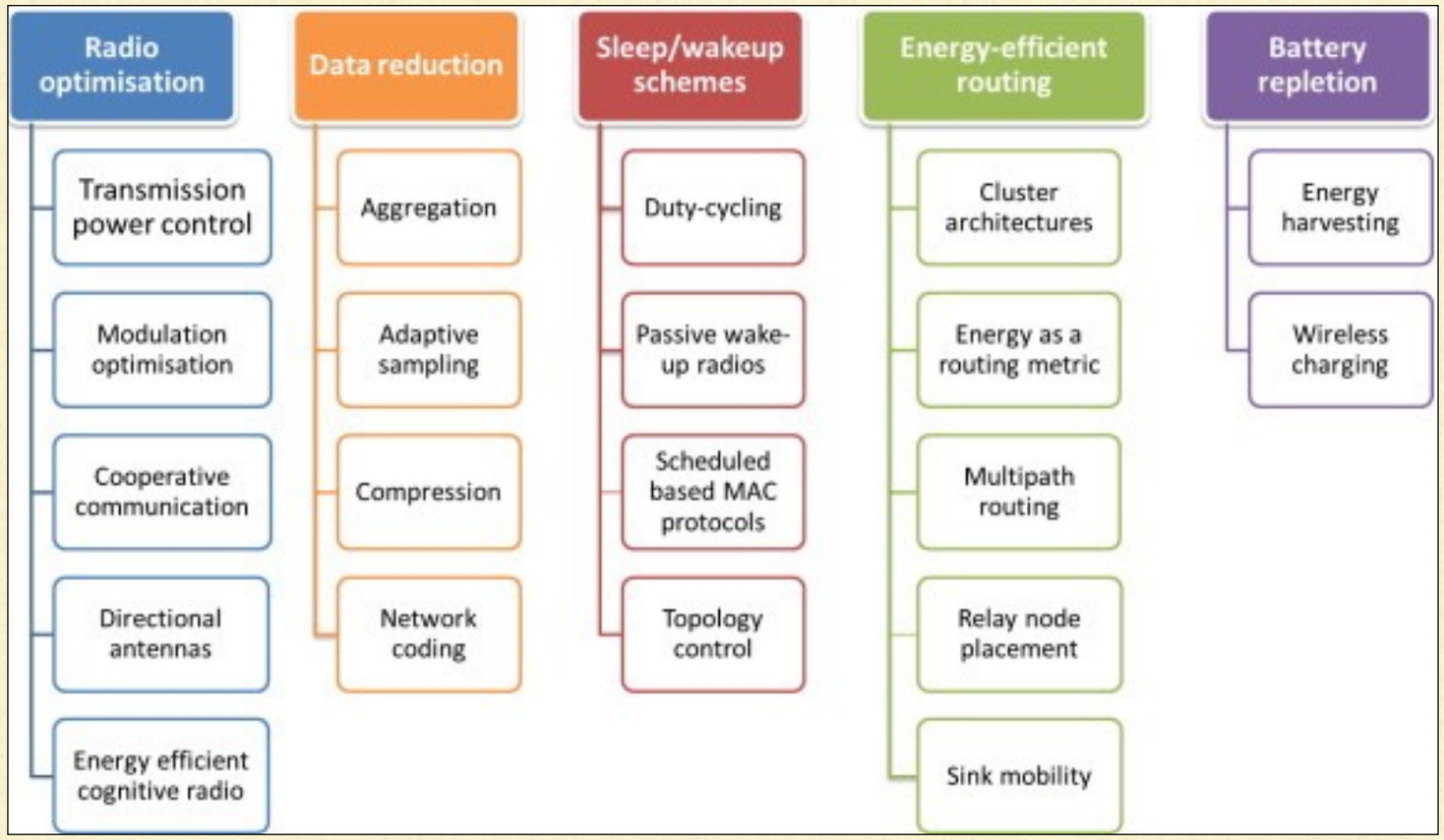


Fig : classification des méthodes de conservation d'énergie

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

A) Les différents mécanismes mis en place

- **Radio Optimisation**
  - Module le plus gourmand en énergie
  - Optimiser les directions des antennes, la puissance de transmission du signal nécessaires

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

A) Les différents mécanismes mis en place

- **Radio Optimisation**
  - Module le plus gourmand en énergie
  - Optimiser les directions des antennes, la puissance de transmission du signal nécessaires

- **Data Reduction**
  - Réduire la quantité de données transmise au gateway
    - Agrégation des données/ In-networking
    - Sampling adaptatif
    - Network Coding

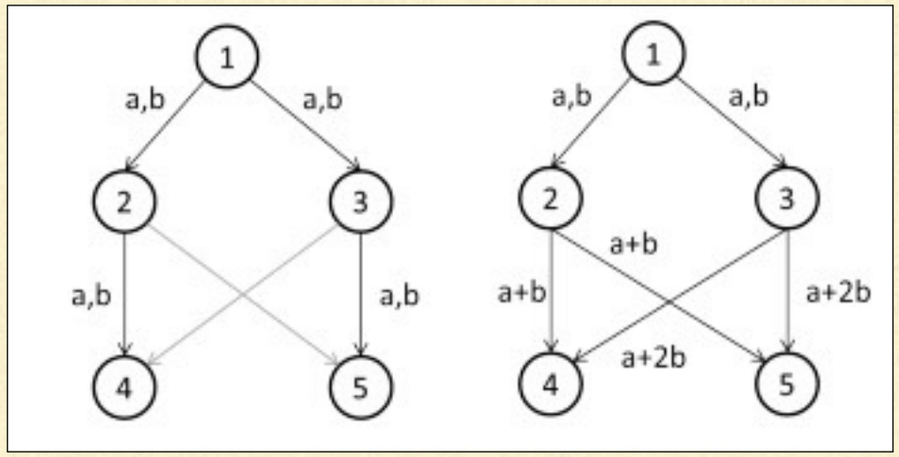


Fig.. : Un exemple de Network Coding

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

A) Les différents mécanismes mis en place

- **Schémas Sleep / Wake Up**
  - Duty Cycling
  - Contrôle de la topologie
    - Désactiver périodiquement certains noeuds.

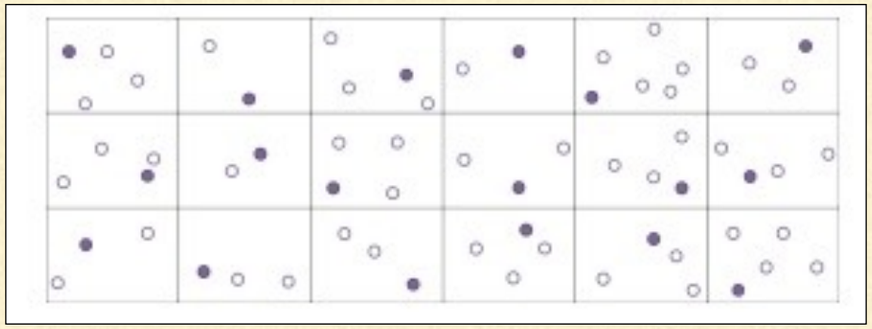


Fig : Exemple d'une stratégie de contrôle de la topologie du réseau

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

A) Les différents mécanismes mis en place

- **Sources d'énergie**
  - S'affranchir des limitations énergétiques des capteurs pour maximiser les deux buts conflictuels
    - durée de vie du réseau
    - performance
  - Energy harvesting: Extraire de l'énergie électrique à partir de sources externes et la conserver
    - Sources d'énergie ambiante (solaire, sismique, vent..)
    - Source humaine (température corporelle, pas..)
    - Utilisation directe de l'énergie emmagasinée, ajout d'un buffer composant « stockage d'énergie »
  - Adapter dynamiquement l'architecture du réseau
    - Les noeuds les plus favorisés seront plus susceptibles d'effectuer les tâches de routage

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

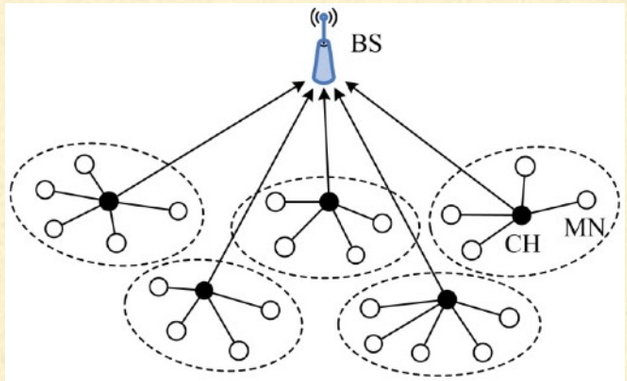
A) Les différents mécanismes mis en place

- **Sources d'énergie**
  - S'affranchir des limitations énergétiques des capteurs pour maximiser les deux buts conflictuels
    - durée de vie du réseau
    - performance
  - Energy harvesting: Extraire de l'énergie électrique à partir de sources externes et la conserver
    - Sources d'énergie ambiante (solaire, sismique, vent..)
    - Source humaine (température corporelle, pas..)
    - Utilisation directe de l'énergie emmagasinée, ajout d'un buffer composant « stockage d'énergie »
  - Adapter dynamiquement l'architecture du réseau
    - Les noeuds les plus favorisés seront plus susceptibles d'effectuer les tâches de routage
- **Positionnement**
  - Problèmes de couverture, pénalisée par la nécessitée de maximiser la durée de vie du réseau
  - Problèmes NP-difficiles liés à la théorie des graphes

B) Routage energy-aware

Topologie Considérée: hiérarchique basée sur les cluster

- Architectures en Cluster
  - Cluster Head (CH)
  - Permet d'étendre la zone à couvrir
- 3 types de noeuds dans un cluster:
  - Noeuds ordinaires: sensing et transmission
  - Cluster: émission/réception et forwarding. Routeur. Effectue aussi du traitement des données reçues
  - Gateway/ BS: gestion du réseau, des cluster head en particulier



Fig…:Topologie hiérarchique organisée en Clusters

B) Routage energy-aware

- 2 étapes:
  - Sélection du Cluster Head a tour de rôle
  - Formation des Clusters

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

B) Routage energy-aware

- 2 étapes:
  - Sélection du Cluster Head a tour de rôle
  - Formation des Clusters
- Consommation réduite d'énergie
  - La portée de communication souhaité dans un cluster est moins important (puissance de transmission)
  - Réduction du nombre de paquets transmis
    - par data aggregation du CH avant l'envoi
    - par duty cycling des noeuds non-CH
  - Balancement de la charge dans chaque cluster par rotation du CH
- Protocoles réactifs VS proactifs dépendamment de l'application

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

B) Routage energy-aware

Les protocoles de routage hiérarchiques energy-aware

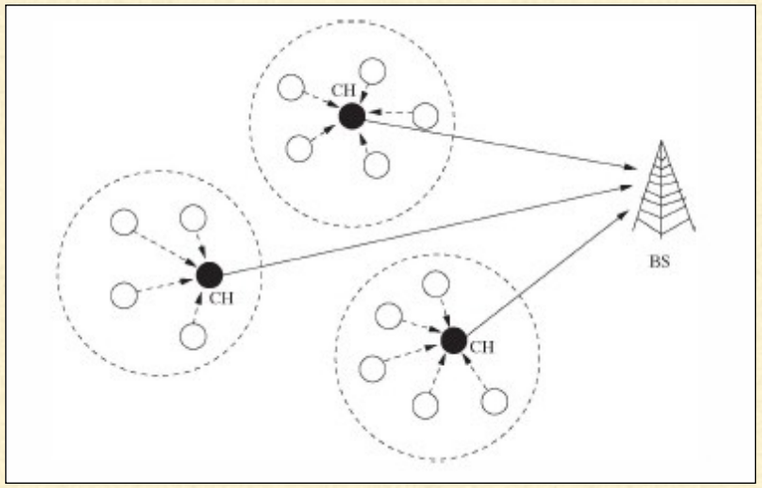
- Low-Energy Adaptative Clustering Hierarchy (**LEACH**)
- LEACH opère par rounds. Dans chacun, on a 2 phases:
  - **Configuration** (set-up phase) (on veut 5% de CH, comprit dans l'équation donnant le nombre entre 0 et 1)
    - Election du CH

$$T(n) = \frac{P}{1 - P \times (r \bmod P^{-1})} \qquad \forall n \in G$$

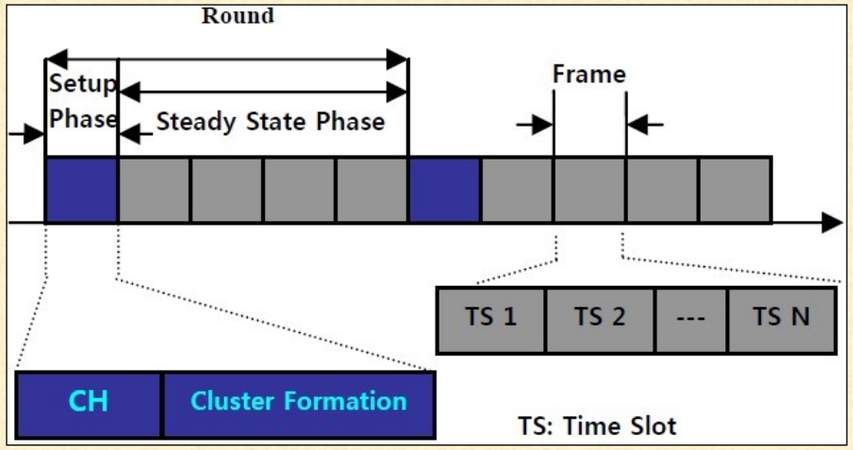
$$T(n) = 0 \qquad \forall n \notin G$$

Where n is a random number between 0 and 1
P is the cluster-head probability and
G is the set of nodes that weren't cluster-heads the previous rounds

    - Formation des Clusters



Fig…: Topologie considérée pour LEACH



Fig…: Comportement de LEACH pendant un round

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

B) Routage energy-aware

Les protocoles de routage hiérarchiques energy-aware

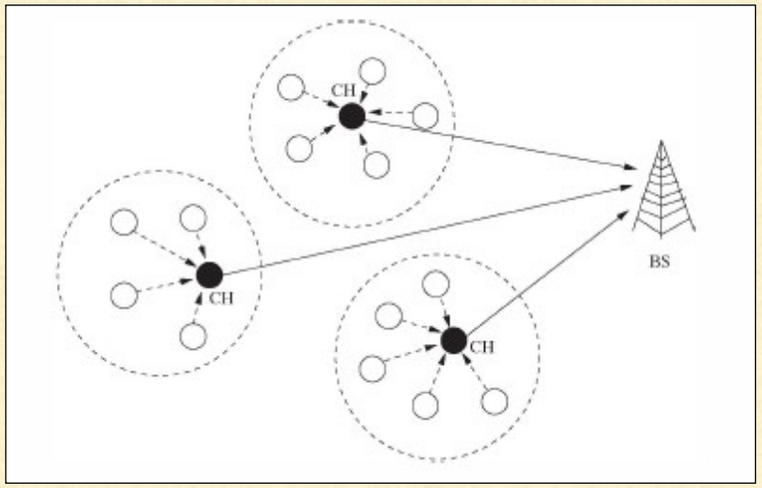
- Low-Energy Adaptative Clustering Hierarchy (**LEACH**)
- LEACH opère par rounds. Dans chacun, on a 2 phases:
  - **Configuration** (set-up phase) (on veut 5% de CH, comprit dans l'équation donnant le nombre entre 0 et 1)
    - Election du CH

$$T(n) = \frac{P}{1 - P \times (r \bmod P^{-1})} \qquad \forall n \in G$$

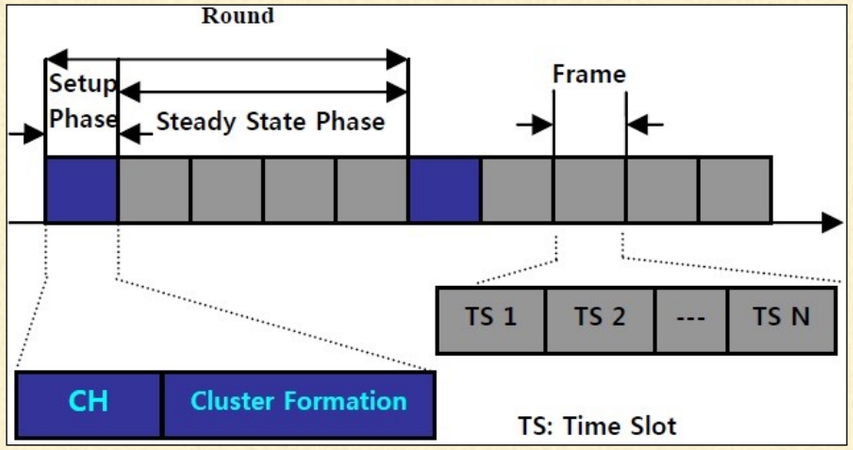
$$T(n) = 0 \qquad \forall n \notin G$$

Where n is a random number between 0 and 1
P is the cluster-head probability and
G is the set of nodes that weren't cluster-heads the previous rounds

    - Formation des Clusters
  - **Phase stable** (steady phase)
    - CH alloue un time slot (TDMA) a chaque noeud membre du CH => protocole proactif
    - CH collecte les données, les traite et les envoie au BS **(single hop)**



Fig…: Topologie considérée pour LEACH



Fig…: Comportement de LEACH pendant un round

B) Routage energy-aware

Les protocoles hiérarchiques energy-aware

- Low-Energy Adaptative Clustering Hierarchy (**LEACH**):
  - **Avantages:**
    - Utilisation de fusion/agrégation de données
    - Pas besoin de connaître la localisation
    - Connaissance du time slot par chaque capteur permet le duty-cycling
    - Répartition de la tâche d'être CH pour équilibrer la charge
    - Innovant en termes de répartition de la dissipation de l'énergie dans un réseau, dans le cadre d'une application nécessitant une surveillance constante
  - **Inconvénients:**
    - L'élection du CH ne prend pas en compte l'énergie résiduelle des capteurs
    - La répartition spatiale des CH n'est pas prise en compte
    - La politique du single hop entre CH et Gateway limite l'extensibilité du réseau

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

B) Routage energy-aware

Les protocoles hiérarchiques energy-aware

- Low-Energy Adaptative Clustering Hierarchy (**LEACH**):
  - Plusieurs améliorations proposées: LEACH est utilisé comme BENCHMARK
    - Multi-hop LEACH: intra-cluster VS inter-CH
    - LEACH-C: centralisé (au contraire de distribué). Le niveau d'énergie des capteurs est pris en compte pour élire CH

B) Routage energy-aware

Les protocoles hiérarchiques energy-aware

- Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems (**PEGASIS**)
  - Amélioration de LEACH
  - Les noeuds n'ont besoin de communiquer qu'entre eux. Un seul noeud, choisi à tour de rôle, communique avec BS. **Pas de cluster**
  - Connaissance des voisins par analyse de la force du signal reçue, et ajuste la puissance de transmission à un seul.
  - Construction de la chaine par un algorithme gourmand.
  - Transmission de l'information. Chaque noeud:
    - Reçoit de l'information et l'agrège avec ses propres données récoltées
    - Transmet au voisin suivant

B) Routage energy-aware

Les protocoles hiérarchiques energy-aware

- Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems (**PEGASIS**)
  - **Avantages:**
    - Extension de la zone couverte par le réseau possible
    - Communiquer avec un voisin plutôt qu'avec un CH plus distant
    - Réduction du nombre de paquets transitant dans le réseau
  - **Inconvénients:**
    - Algorithme de formation de chaîne gourmand
    - Un seul capteur a la possibilité de transmettre à BS: délais possibles en cas de flux important d'informations
    - L'énergie résiduelle des capteurs n'est pas prise en compte pendant l'élection du capteur communiquant avec BS

B) Routage energy-aware

Les protocoles hiérarchiques energy-aware

- Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol (**TEEN**)
  - protocole réactif, convient aux applications critiques
  - Sélection du CH inspirée de LEACH

B) Routage energy-aware

Les protocoles hiérarchiques energy-aware

- Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol (**TEEN**)
  - protocole réactif, convient aux applications critiques
  - Sélection du CH inspirée de LEACH
  - CH transmet à ses noeuds 2 valeurs à surveiller: Hard Threshold (HT) et Soft Threshold (FT)
  - Le noeud transmet des paquets ***instantanément*** à CH lorsque la valeur captée:
    - Est supérieure à HT
    - Diffère de ± ST par rapport à la valeur receuillie précédemment

B) Routage energy-aware

Les protocoles hiérarchiques energy-aware

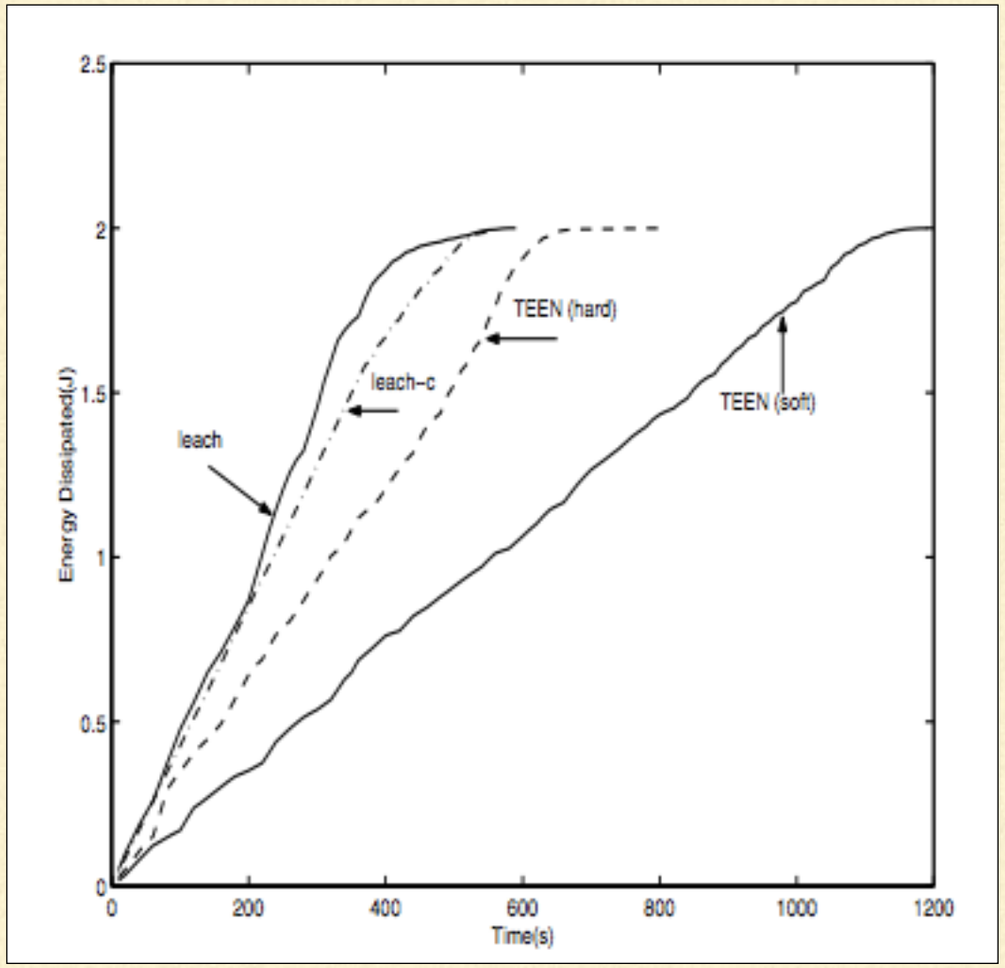
- Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol (**TEEN**)
  - protocole réactif, convient aux applications critiques
  - Sélection du CH inspirée de LEACH
  - CH transmet à ses noeuds 2 valeurs à surveiller: Hard Threshold (HT) et Soft Threshold (FT)
  - Le noeud transmet des paquets ***instantanément*** à CH lorsque la valeur captée:
    - Est supérieure à HT
    - Diffère de ± ST par rapport à la valeur recueillie précédemment
  - **Avantages:** Transmission rare=> économie d'énergie
  - **Inconvénients**: pas adaptable pour la surveillance constante

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

B) Routage energy-aware

Les protocoles hiérarchiques energy-aware

- Comparaison de TEEN et LEACH en utilisant NS-2
- **Paramètres:**
  - 100 noeuds placés aléatoirement, chacun disposant initialement de 2J d'énergie
  - CH choisis de la même manière (LEACH)
  - Zone de 100x100 unités divisée en 4 parties dont la température varie entre 0 et 200°F toutes les 5 secondes
  - Pour TEEN: HT=100°F et ST=2°F
- **Métriques utilisées:**
  - Énergie dissipé en moyenne par chaque capteur
  - Nombre total de capteurs en vie (alive)
- 5 exécutions de l'application les figures représentent la moyenne des résultats



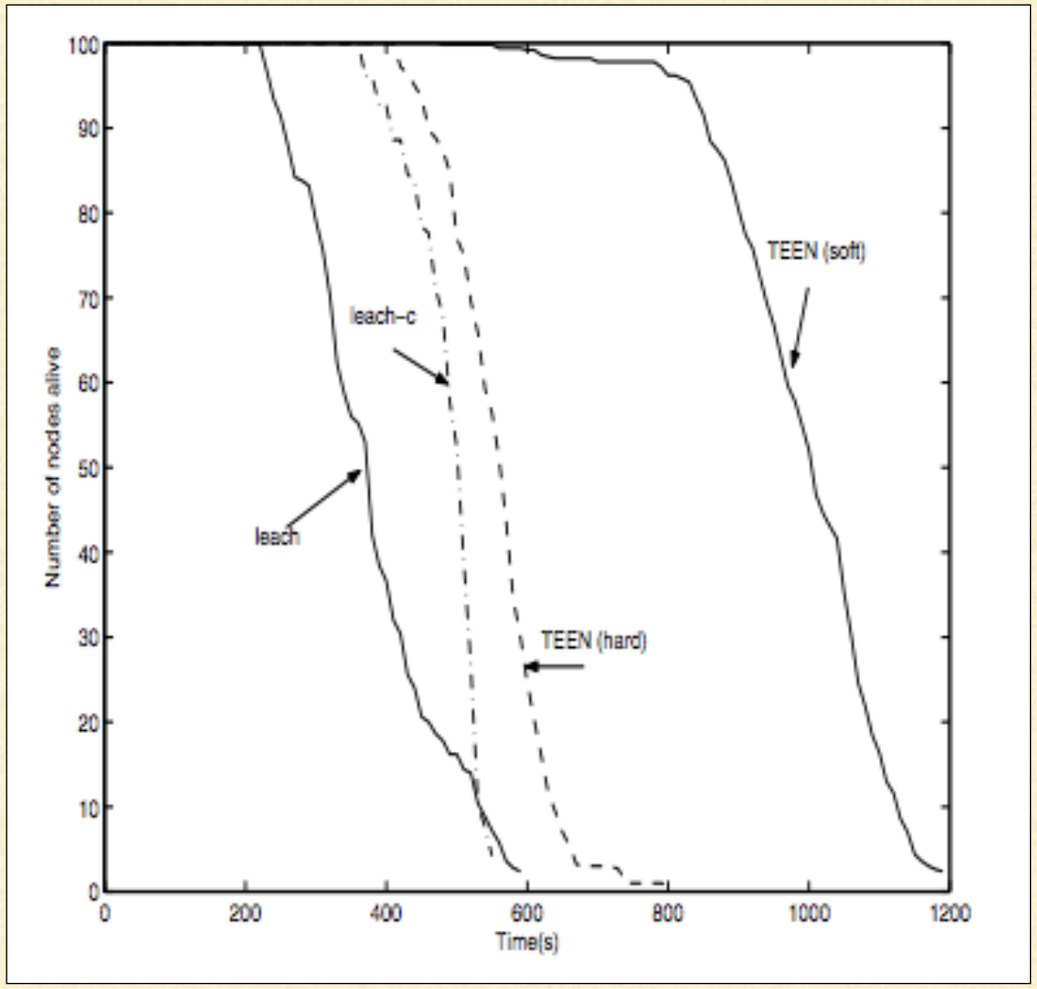
Fig…: Comparaison de la dissipation moyenne d'énergie

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

B) Routage energy-aware

Les protocoles hiérarchiques energy-aware

- Comparaison de TEEN et LEACH en utilisant NS-2
- **Paramètres:**
  - 100 noeuds placés aléatoirement, chacun disposant initialement de 2J d'énergie
  - CH choisis de la même manière (LEACH)
  - Zone de 100x100 unités divisée en 4 parties dont la température varie entre 0 et 200°F toutes les 5 secondes
  - Pour TEEN: HT=100°F et ST=2°F
- **Métriques utilisées:**
  - Énergie dissipé en moyenne par chaque capteur
  - Nombre total de capteurs en vie (alive)
- 5 exécutions de l'application les figures représentent la moyenne des résultats



Fig…: Comparaison du nombre de noeuds restant en vie

B) Routage energy-aware

Les protocoles hiérarchiques energy-aware

- Comparaison de TEEN et LEACH en utilisant NS-2
- **Paramètres:**
  - 100 noeuds placés aléatoirement, chacun disposant initialement de 2J d'énergie
  - CH choisis de la même manière (LEACH)
  - Zone de 100x100 unités divisée en 4 parties dont la température varie entre 0 et 200°F toutes les 5 secondes
  - Pour TEEN: HT=100°F et ST=2°F
- **Métriques utilisées:**
  - Énergie dissipé en moyenne par chaque capteur
  - Nombre total de capteurs en vie (alive)
- 5 exécutions de l'application les figures représentent la moyenne des résultats
- **Résultats:**
  - TEEN est plus performant que LEACH
  - TEEN réagissant uniquement à ST est plus performant que TEEN réagit uniquement à HT
  - (TEEN est plus performant en sélectionnant son CH comme LEACH-C que comme LEACH)

B) Routage energy-aware

Les protocoles hiérarchiques energy-aware

- Periodic Threshold-sensitive Energy Efficient sensor Network **(APTEEN)**
  - Combinaison des politiques productives et réactives
  - CH Broadcast à ses membres
    - Planification TDMA des time slots alloués à chaque capteur
    - ***HT*** et ***ST***, pour répondre immédiatement (CSMA/CA si le temps alloué au noeud détectant un event est dans longtemps)
    - ***Count Time***, période maximale entre 2 rapports envoyés par un noeud
  - Leviers de contrôle de la consommation d'énergie: changer Count Time et valeurs seuil

B) Routage energy-aware

Les protocoles hiérarchiques energy-aware

- Periodic Threshold-sensitive Energy Efficient sensor Network **(APTEEN)**
  - Combinaison des politiques productives et réactives
  - CH Broadcast à ses membres
    - Planification TDMA des time slots alloués à chaque capteur
    - ***HT*** et ***ST***, pour répondre immédiatement (CSMA/CA si le temps alloué au noeud détectant un event est dans longtemps)
    - ***Count Time***, période maximale entre 2 rapports envoyés par un noeud
  - Leviers de contrôle de la consommation d'énergie: changer Count Time et valeurs seuil
- **Avantages :** Protocole energy-efficient combinant recueil d'informations constants et la réactivité à un certain nombre d'événements définis par l'utilisateur
- **Inconvénients:** Complexité dans la décision des seuils et de la période maximale Count Time pour l'efficacité énergétique.

II) LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

B) Routage energy-aware

- En général la recherche de l'efficacité énergétique passe pas:
  - l'Energy Balancing, division des tâches et rotation
  - La réduction globale de la consommation d'énergie (direction de la transmission/ data aggregation)

- Dans tous les cas, l'approche devrait être cross-layer pour être plus efficace
- LEACH a exploité une idée innovante et reste le point de départ de la plupart des protocoles efficace en termes de consommation d'énergie
- Cette consommation d'énergie passe par la hiérarchisation et le clustering pour une meilleure gestion du nombre d'informations à transmettre

SOMMAIRE

I) Les réseaux de capteurs sans fil

A) Un capteur

B) Un réseau de capteurs

C) Les standards de communication

D) L'importance de la simulation

II) Les techniques de conservation de l'énergie

A) Les différents mécanismes mis en place

B) Routage energy-aware

III) Exemple d'application

IV) Futures directions

V) Conclusion

III) EXEMPLE D'APPLICATION

Egypte,2013, culture de pommes de terres

- Contexte:
  - L'importance de l'auto-suffisance alimentaire
  - L'agriculture fait vivre 30% des actifs et représente 20% du profit exportations
  - L'arrêt des exportations vers la Russie: 110millions$ de pertes annuelles

III) EXEMPLE D'APPLICATION

Egypte,2013, culture de pommes de terres

- Contexte:
  - L'importance de l'auto-suffisance alimentaire
  - L'agriculture fait vivre 30% des actifs et représente 20% du profit exportations
  - L'arrêt des exportations vers la Russie: 110millions$ de pertes annuelles
- Contraintes
  - Ressources en eau rares
  - Infestions de parasites

=> Besoin d'optimiser les planifications d'irrigation, de diffusion d'engrais et de pesticides

III) EXEMPLE D'APPLICATION

Egypte,2013, culture de pommes de terres

- Contexte:
  - L'importance de l'auto-suffisance alimentaire
  - L'agriculture fait vivre 30% des actifs et représente 20% du profit exportations
  - L'arrêt des exportations vers la Russie: 110millions$ de pertes annuelles
- Contraintes
  - Ressources en eau rares
  - Infestions de parasites

=> Besoin d'optimiser les planifications d'irrigation, de diffusion d'engrais et de pesticides

- La performance sera évaluée en fonction du **coût opérationnel** et des **caractéristiques du réseau** déployé (tolérance aux erreurs, temps de réponse, longévité..)

III) EXEMPLE D'APPLICATION

- Solution proposée
  - **Informations collectées:** température, humidité de l'air et du sol, pH du sol et choix des valeurs seuil permettant de détecter un événement / de prévenir les conditions menant à un problème
  - **déploiement des noeuds:**
    - répartition uniforme, distance de 6m entre les noeuds, 85 capteurs par 0.4 hectare

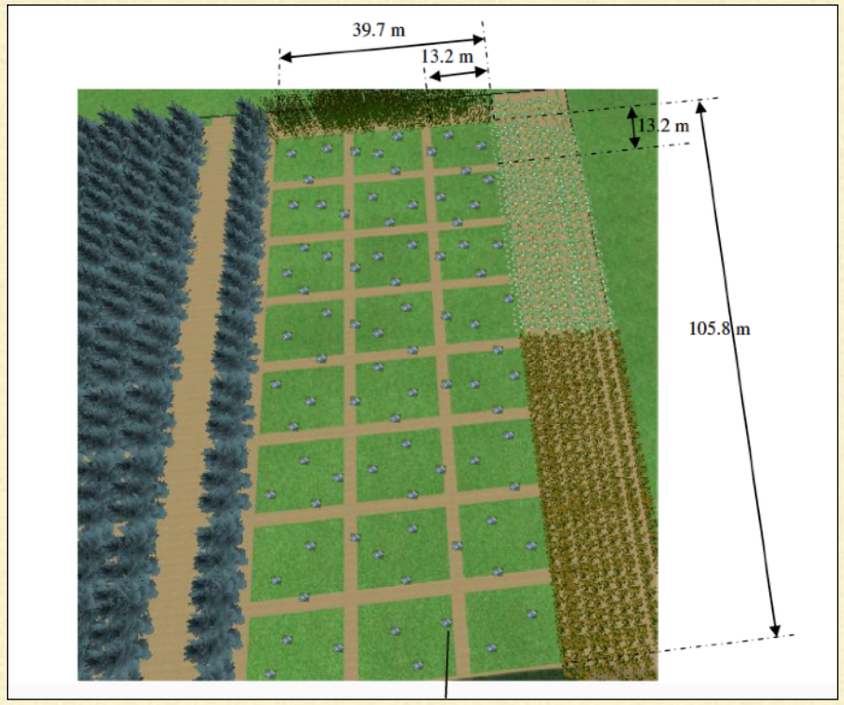


Fig : Modélisation du déploiement des capteurs sur une parcelle de 1 fendant

III) EXEMPLE D'APPLICATION

- Solution proposée
  - **Protocole de routage:** APTEEN

CARACTÉRISTIQUE	STRATEGIE
COUVERTURE	Répartition uniforme des capteurs
CONNECTIVITÉ	distance entre les noeuds <10m
TOLERANCE AUX ERREURS, FIABILITÉ	Nombre suffisant de noeuds pour assurer le back up
EXTENSIBILITÉ	Architecture Hierarchique, transmission de l'information
EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE	Pour les valeurs seuils choisies, la mort du premier est au bout de 6.5 mois > 4mois de durée de vie d'un camp de pommes de terre (LEACH 3 mois)

III) EXEMPLE D'APPLICATION

- Scénario proposé:
  - Simulation, sur l'application user, pour déterminer mathématiquement:
    - Le nombre de capteurs
    - Leur déploiement (en groupes)

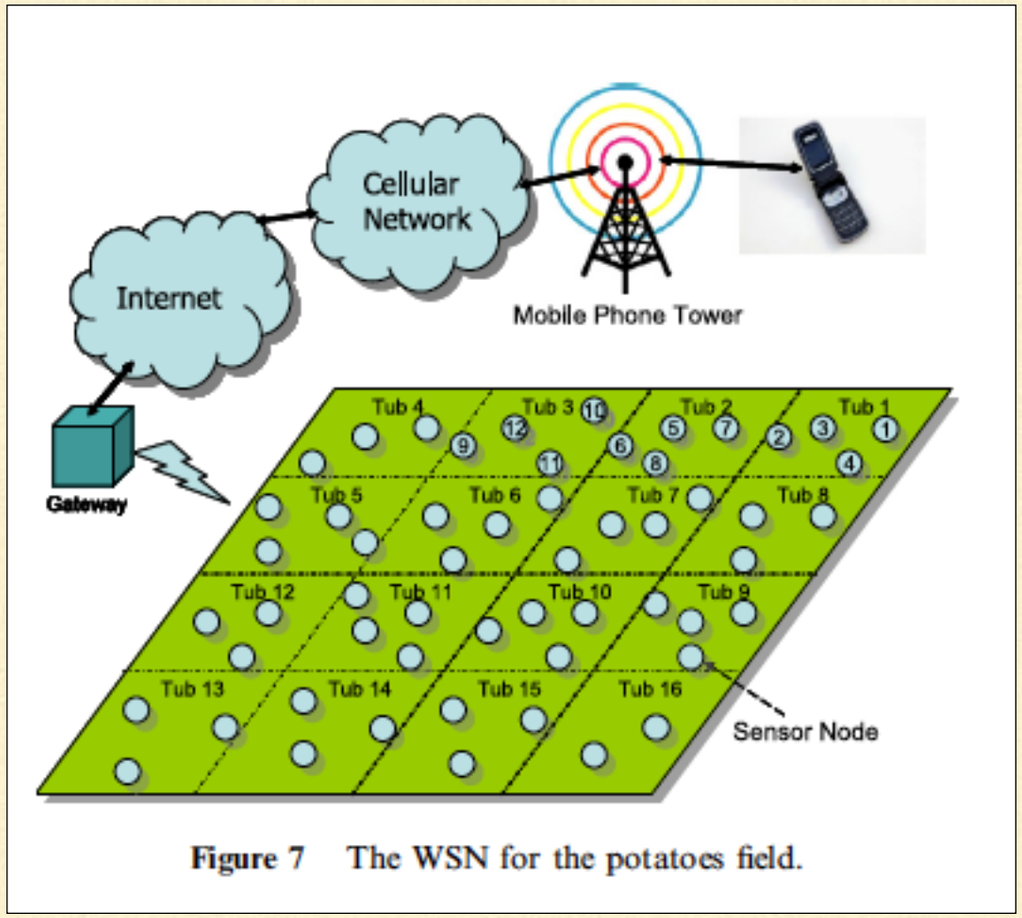


Figure 7 The WSN for the potatoes field.

Fig : Déploiement du réseau de capteurs

III) EXEMPLE D'APPLICATION

- Scénario proposé:
  - Simulation, sur l'application user, pour déterminer mathématiquement:
    - Le nombre de capteurs
    - Leur déploiement (en groupes)
  - Application
    - ID unique par capteur
    - déploiement réel
    - BS détermine les clusters, et donne ces informations aux noeuds, avec les seuils à surveiller
    - les capteurs relèvent périodiquement les observations et les envoie à BS

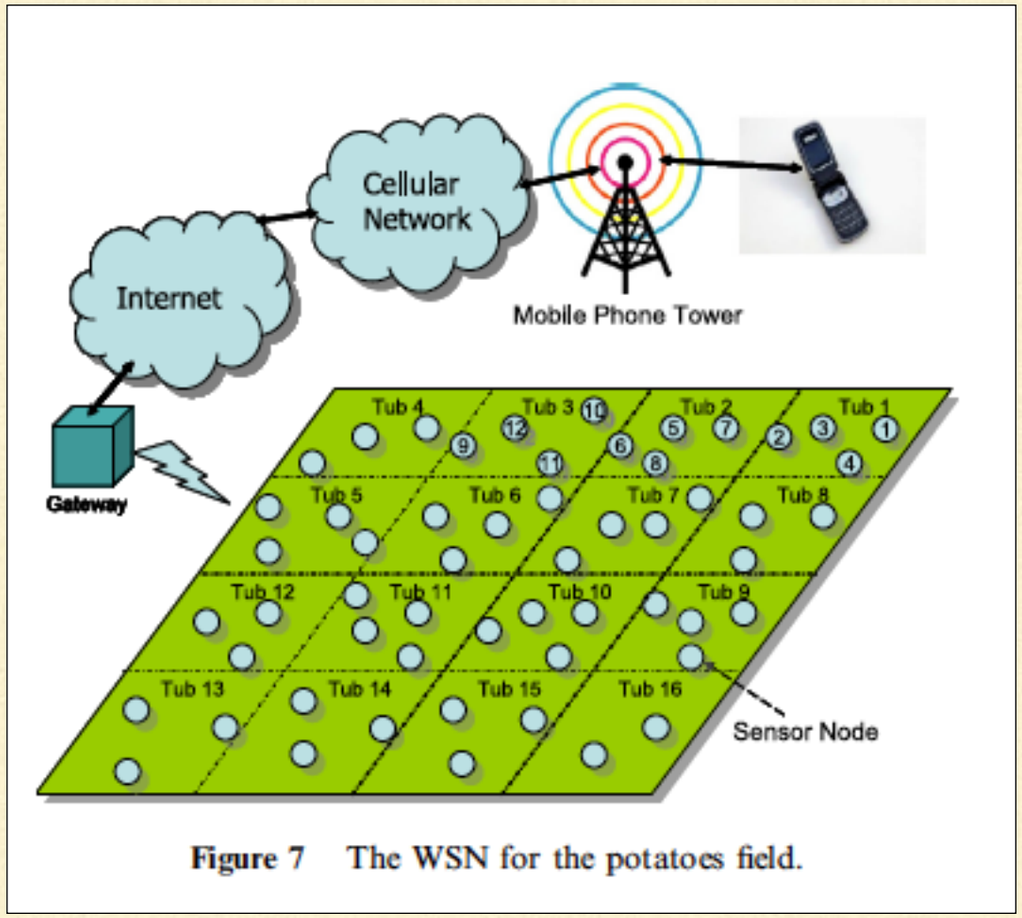


Fig : Déploiement du réseau de capteurs

III) EXEMPLE D'APPLICATION

Attributes	Thresholds		Morning (M)/night (N)	Period of crop life	T_C
	H_T	S_T			
Temperature	> 25 °C	3 °C	M	Stage 1 (about 6 weeks)	Multiple of the TDMA schedule length
	< 15 °C	3 °C			
	> 18 °C	3 °C	M	Stage 2	
	< 15 °C	3 °C			
	> 40 °C	3 °C	N	Stages 1 and 2	
	< 10 °C	3 °C			
	< 23 °C and > 20 °C	–			
Light intensity	< 800 fc	10 fc	N and M	Stages 1 and 2	0.5 day
	> 100 fc and < 150 fc	–			
Relative humidity	> 85%	5%	N and M	Stages 1 and 2	Multiple of the TDMA schedule length
pH value	< 5	–	N and M	Stages 1 and 2	2 week
	> 6	–			
Soil moisture	–	–	N or M	Stages 1 and 2	2 week

Fig :Variables à observer, seuils à surveiller en fonction de différents facteurs

III) EXEMPLE D'APPLICATION

- Scénario proposé:
  - 4 noeuds (5) (6) (11) et (12) proches détectent T°=30°
    - report de l'info à BS
    - l'application propose à l'utilisateur de planter un cactus à cet endroit pour prévenir
  - Des conditions plus urgentes comme la réunion des conditions que des plantes sont mortes (calculées par Application)

    => indiquent à User qu'il faut se rendre sur place (alarme, sms …)

III) EXEMPLE D'APPLICATION

- Retombées attendues:
  - Si un capteur coûte 5$, à l'échelle nationale le coût d'acquisition des capteurs pour la culture de pommes de terre est de 22 millions $ (+1.5 millions pour les BS) (pas de coût de cable, pas de prise en compte du coût humain)
  - Amélioration immédiate de la qualité et de la quantité de la production, économie dans l'usage des ressources: Coût initial d'installation amorti en 1 an

SOMMAIRE

I) Les réseaux de capteurs sans fil

A) Un capteur

B) Un réseau de capteurs

C) Les standards de communication

D) L'importance de la simulation

II) Les techniques de conservation de l'énergie

A) Les différents mécanismes mis en place

B) Routage energy-aware

III) Exemple d'application

IV) Futures directions

V) Conclusion

IV) FUTURES DIRECTIONS

- 2016: les noeuds non CH prochent de BS communiquent directement avec ce dernier, sans passer par CH
- Noeuds hétérogènes: meilleures performances, portabilité, possibilité de créer plus de CH , une hiérarchie entre eux ….
- Intégrer la mobilité : travail sur la consommation énergétique des changement qui vont avec: besoin d'information sur la localisation, changement de topologie….
- Optimiser la génération des clusters
- Investir dans la recherche sur le Rechargement Energétique

SOMMAIRE

I) Les réseaux de capteurs sans fil

A) Un capteur

B) Un réseau de capteurs

C) Les standards de communication

D) L'importance de la simulation

II) Les techniques de conservation de l'énergie

A) Les différents mécanismes mis en place

B) Routage energy-aware

III) Étude de cas

IV) Exemple d'application

V) Conclusion

V) CONCLUSION

- Marché des Réseaux de capteurs en très forte expansion
  - 2002: 200 millions
  - 2016: 2,000 millions
- La recherche techniques sur les réseaux de capteurs doit suivre et s'adapter à l'explosion du nombre d'applications possibles
- Niveau politique
  - Changement du métier de fermier, de la répartition de son temps et ses activités. Penser à sa formation en amont
  - Des gains économiques, mais des métiers qui vont disparaître à cause des avancées dans les autres aspects de l'agriculture de précision, comme les robots déployés dans les champs (emplois saisonniers de récolte..)
  - Réglementer l'accès pour ne pas créer des inégalités au niveau d'un pays, surtout au niveau mondial?

RÉFÉRENCES

- Abd El-kader S. M., Mohammad El-Basioni B., *Precision farming solution in Egypt using Wireless sensor network technology*, **(2013),** Egyptian Informatics Journal 14, 221–233
- Aqeel-ur-Rehman, Abu Zafar Abbasi, Noman Islam, Zubair Ahmed Shaikh, A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture, Computer Standards & Interfaces, Volume 36, Issue 2, February 2014, Pages 263-270, ISSN 0920-5489
- Mishra P., Sharma S, *A Comparative Study of Existing Cluster-Based Routing Protocols in Wireless (***2016)**, International Journal of Future Generation Communication and Networking:
- Rault T, *Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey.* Computer Networks. Volume 67, 4 July **(2014)** Pages 104–122

Merci.

Des questions?