

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Ferhat Abbas de Sétif1 - UFAS (Algérie)**



Faculté des Sciences  
Département d'Informatique  
Mémoire de Fin d'études  
En vue d'obtention du diplôme de MASTER  
OPTION: Informatique Fondamentale et Intelligence Artificiel

## **Thème**

**Un protocole MAC receiver initiated  
pour les réseaux de capteurs sans fil**

**Présenté par :**

- Kriba Houssam

**Encadré par :**

- Dr. GOUDJIL Lakhdar

Promotion 2017/2018

# *Remerciements*

*Je voudrais avant tout remercier Dieu le  
tout-puissant et miséricordieux, qui nous  
a donné la force et la patience  
d'accomplir ce travail.*

*Je remercie mon encadrant, le docteur  
Lakhdar Goudjil pour ses directives, ainsi le  
degré de responsabilisation de leur  
encadrement qui m'ont permis de développer  
mon gout pour la recherche et ses conseils qui  
m'ont conduit à tirer la meilleure partie de mes  
capacités pour faire ce travail de recherche.*

*Mes remerciements s'adressent aussi aux  
membres du jury qui  
ont accepté d'examiner  
mon travail.*

*Enfin je remercie toute personne ayant  
contribué de près ou de loin à la réalisation  
de ce mémoire.*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*à Mon cher papa Ali, qui a toujours cru en moi et a mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour que je réussisse dans mes études.*

*A maman Helima que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments, pour sa patience illimitée et son encouragement contenu. Qu'Allah leur préserve une longue vie et bonne santé.*

*A mes frères Fares et Khaled et Ma cher sœur Nabila.*

*Une dédicace spéciale à Hocine Bounhak je passe mes dédicaces aux mes chers amis Badreddine, Brahim, Akram et Amin pour les bons moments qu'on avait partagés ensemble*

*Et à toute ma famille mes collègues et à tous ceux qui me sont chers.*

## RESUME

La recherche dans le domaine des réseaux de capteurs sans fil fixe comme objectif principal le développement d'algorithmes et de protocoles assurant une consommation énergétique minimale. Ceci a motivé des travaux de recherche à se focaliser sur les couches MAC (Medium Access Control) et réseau. Dans notre travail, nous nous intéressons à la couche MAC en effet on a parlé sur les trois classes des protocoles MAC : les protocoles basés sur TDMA, hybrides et les protocoles basé sur la contention avant de concentrer notre travail sur cette dernière classe et particulièrement les protocoles initié par le récepteur (receiver initiated protocol) en expliquant les différents techniques utilisées pour minimiser la consommation en évitant les principales causes de consommation d'énergie :l'overhearing, l'overmiting et les fréquentes transitions entre les modes "en veille" et "activité". Nous avons proposé dans ce mémoire un protocole receiver initiated asynchrone« ADPW-MAC » de classe de avec un mécanisme duty cycle afin d'optimiser l'énergie .Les résultats de simulation montrent que le protocole améliore les performances en termes de consommation d'énergie et minimise le délai de bout-en-bout de délivrance de paquets.

**Mots clés:** Réseaux de capteurs sans fil, Protocoles MAC, Duty cycle asynchrone, transmission initiée par le récepteur, économie d'énergie.

## Abstract

Research in the field of wireless sensor networks sets as main objective the development of algorithms and protocols to ensure minimal energy consumption. In our work, we are interested in the MAC layer in fact we talked about the three classes MAC protocols: TDMA-based protocols, hybrid protocols and contention-based protocols before concentrating our work on this last class and particularly the protocols initiated by the receiver by explaining the different techniques used to minimize the energy consumption by avoiding the causes of energy consumption: the overhearing the overmiting and frequent transitions between "standby" and "activity." We proposed in this paper an asynchronous receiver initiated protocol « ADPW-MAC » of the class based on a contention mechanism with a duty cycle to maximize energy .The simulation results show that the protocol improves performance in terms of energy consumption and minimizes the period from end-to- end delivery of packets.

**Key words:** Wireless Sensor Networks, MAC protocol, asynchronous duty cycling MAC, Receiver initiated transmission, energy saving.

# Table des matières

<b>Introduction général.....</b>	<b>i</b>
<b>Organisation du mémoire.....</b>	<b>ii</b>
<b>Chapitre 01 : Protocoles MAC pour les réseaux de capteurs sans fil</b>	
1.1 Introduction .....	1
1.2 Réseaux de capteurs sans fil (RSCF).....	1
1.3 Couches dans les RSCF et leurs rôles .....	1
1.4 Sous couche MAC.....	2
1.4.1 Définition.....	2
1.4.2 Fonctionnalités.....	2
1.5 Consommation d'énergie dans les RSCF.....	2
1.6 Sources de gaspillage d'énergie.....	3
1.7 Protocoles MAC pour les RSCFs .....	4
1.7.1 Protocoles Mac basés sur TDMA .....	4
1.7.1.1 Protocoles à base de TDMA centralisé.....	4
1.7.1.2 Protocoles à base de TDMA distribués.....	5
1.7.2 Protocoles MAC hybrides.....	5
1.7.3 Protocoles MAC basés sur la contention.....	5
1.7.3.1 Protocoles MAC synchrones.....	5
1.7.3.2 Protocoles MAC asynchrones .....	9
1.8 Conclusion.....	11
<b>Chapitre 02 : Protocoles MAC receiver-initiated pour les réseaux de capteur sans fil</b>	
2.1 Introduction .....	12
<b>2.2</b> Classification des protocoles MAC receiver-initiated .....	<b>12</b>
2.2.1 Minimisation d'idlelistening .....	12
2.2.1.1 RI-MAC.....	12
2.2.1.2 OC-MAC .....	14
2.2.1.3 EE-RI-MAC .....	15

2.2.2 Pr�evision de réveil.....	15
2.2.2.1 PW-MAC .....	16
2.2.2.2 RIX-MAC.....	17
2.2.2.3 WA-MAC .....	18
2.2.2.4 TAD-MAC .....	19
2.2.3 Adaptive Duty Cycling.....	20
2.2.3.1 SA-RI-MAC .....	21
2.2.3.2 ERI-MAC .....	22
2.2.3.3 FTA-MAC .....	23
2.2.4 Qualité de service.....	24
2.2.4.1 CyMAC .....	25
2.2.4.2 RP-MAC .....	26
2.2.5 Extensions multi-canaaux.....	27
2.2.5.1 DCM-MAC .....	27
2.2.5.2 DUR-MAC.....	28
2.3 Critères de choix d'un protocole.....	29
2.4 Evaluation globale des protocoles étudiés.....	30
2.5 Classification des protocoles selon leur défi et les techniques utilisées.....	31
2.5 Conclusion.....	32

### **Chapitre 03 : Contribution et Simulation**

3.1 Introduction .....	33
I. Première partie .....	33
3.2 Description général des idées de base .....	33
3.3 Présentation général du protocole proposé .....	33
3.4 Hypothèses.....	34
3.4 Design du protocole.....	34
3.4.1 Cas général : Emetteur-Récepteur .....	35
3.4.2 Cas de Plusieurs Emetteurs un seul récepteur.....	36
3.4.3 Règlement des collisions.....	38
3.5 Explication détaillée des concepts du protocole ADPW-MAC.....	39
3.6 Schéma d'opération du protocole ADPW-MAC.....	42
3.7 Algorithme du protocole ADPW.....	44

3.8 Evaluation préliminaire du protocole ADPW-MAC.....	45
3.8.1 Optimisation d'énergie .....	45
3.8.2 Minimisations des collisions.....	45
II. Deuxième partie.....	46
3.9 Environnement de développement.....	46
2.10 Présentation du simulateur NS2.....	46
3.10 Etapes de réalisation de l'algorithme proposé.....	47
3.11 Principe de CSMA/CA.....	49
3.12 Paramètre d'évaluation du système.....	49
3.12.1 Consommation énergétique.....	49
3.12.2 Délai de bout-en-bout.....	49
3.12.3 Taux de délivrance des paquets.....	50
3.13 Paramètres de simulation.....	50
3.14 Etude des résultats de simulation .....	50
3.14.1 Comparaison de l'énergie consommée.....	50
3.14.2 Comparaison de la latence de bout-en-bout .....	51
3.14.3. Comparaison du taux de paquets délivrés .....	52
3.15. Conclusion .....	53
Conclusion générale et perspectives .....	54

# Liste des figures

<b>Figure.1.1:</b> Architecture d'un RCSF (WSN).....	1
<b>Figure1.2 :</b> Mécanisme de fonctionnement du S-MAC.....	7
<b>Figure.1.3 :</b> Duty cycle adaptatif de TMAC.....	8
<b>Figure.1.4 :</b> BMAC : réveil périodique des nœuds.....	9
<b>Figure.1.5 :</b> Technique de préambule dans WiseMac.....	10



<b>Figure 2.1 :</b> Principe de transmission de données selon la méthode RI-LPP.....	13
<b>Figure 2.2 :</b> Illustration de la méthode employée par RI-MAC pour résoudre les problèmes de collisions.....	13
<b>Figure 2.3 :</b> Mécanisme de transmission dans OC-MAC.....	14
<b>Figure 2.4 :</b> EE-RI-MAC introduit l'utilisation de l'attente cyclique en attente de balises afin de réduire l'écoute à vide.....	15
<b>Figure 2.5 :</b> Schéma de fonctionnement de PW-MAC.....	16
<b>Figure 2.6 :</b> Mécanisme de fonctionnement du protocole RIX-MAC.....	17
<b>Figure 2.7 :</b> Procédure de communication du protocole WA-MAC.....	18
<b>Figure 2.8 :</b> Phase d'évolution qui est avant la convergence du protocole TAD-MAC.....	20
<b>Figure 2.9 :</b> Deuxième phase du protocole TAD-MAC qui est après la convergence.....	20
<b>Figure 2.10 :</b> Transmission des données à partir d'expéditeurs en concurrence.....	21
<b>Figure 2.11:</b> Coordination des expéditeurs pour éviter la collision.....	22
<b>Figure 2.12 :</b> Mécanisme de transmission dans ERI-MAC.....	23
<b>Figure 2.13 :</b> Comportement des récepteurs et des émetteurs dans FTA-MAC avant et après la convergence.....	24
<b>Figure 2.14 :</b> Modèle de balisage dépendant du trafic comme indiqué dans CyMAC.....	25
<b>Figure 2.15 :</b> Réorganisation du cadre dans RP-MAC.....	26
<b>Figure 2.16 :</b> Approche multicanal dans DCM. Un canal de contrôle (CC) un canal de données spécifique (DCx).....	27
<b>Figure 2.17 :</b> Schéma illustre le principe de fonctionnement du DURIMAC.....	29





<b>Figure 3.1 :</b> Model d'une communication en cas d'absence de concurrence au récepteur.....	36
<b>Figure 3.2 :</b> Gestion des communications avec plusieurs émetteurs.....	37
<b>Figure 3.3:</b> Résoudre le problème des collisions.....	38
<b>Figure 3.4 :</b> Diagramme de fonctionnement du ADPW-MAC, coté récepteur.....	42
<b>Figure 3.5 :</b> Diagramme de fonctionnement du ADPW-MAC, coté émetteur.....	43
<b>Figure 3.6 :</b> Topologie du réseau.....	48
<b>Figure.3.7 :</b> Schéma d'acheminement de paquet.....	49
<b>Figure 3.8 :</b> Consommation d'énergie par les nœuds.....	51
<b>Figure.3.9 :</b> Latence de bout-en-bout.....	52
<b>Figure.3.10 :</b> Taux de paquets délivrés .....	53

## Liste des tableaux

<b>Tableau 2.1 :</b> Défi de chaque protocole et les différentes techniques utilisées.....	31
<b>Tableau 3.1 :</b> Abréviations et signification des termes utilisés dans notre protocole.....	35
<b>Tableau 3.2 :</b> Paramètres de simulation.....	50

# Introduction générale

Actuellement, les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) suscitent un intérêt croissant pour les technologies de l'information et de communication, l'énergie est la plus grande contrainte pour un RCSF, étant donné qu'il est difficile (parfois impossible) de remplacer les batteries (ou les piles) des nœuds capteurs qui ne sont pas généralement rechargeables. Parmi les tâches d'un nœud capteur : la communication, qui est la tâche qui consomme la plus grande partie de l'énergie, Ceci a motivé de nombreux travaux sur la couche MAC (pour *Medium Access Control*) du réseau qui joue un rôle clé dans les réseaux de capteurs sans fil. Cette couche est principalement responsable de l'établissement de la communication entre les nœuds qui sont essentiels pour former l'infrastructure du réseau, le système MAC régule ensuite l'accès au canal sans fil partagé par plusieurs nœuds.

Plusieurs protocoles MAC économes en énergie pour les RCSF proposés dans la littérature, ces protocoles sont catégorisés sous trois classes : catégorie des protocoles basés sur accès temporel (TDMA), catégorie des protocoles basé sur contention (accès aléatoire en CSMA/CA ) et catégorie des protocoles hybrides (combine les deux méthodes) et chaque classe a des sous-classes des protocoles, pour les protocoles MAC basés sur la contention on distingue : **a-** les protocoles synchrones qui génèrent un nombre important de messages de contrôle pour réaliser la synchronisation avant l'échange des données, ce qui limite leur utilité quand la durée de l'activité des nœuds est très courte. **b-** les protocoles MAC asynchrones ne nécessitent pas de synchronisation mais entraînent généralement de grands délais (dus à des périodes d'activité communes peu fréquentes entre les nœuds voisins) et certains nœuds restent actifs beaucoup plus longtemps que d'autres. Que se soit pour les protocoles synchrones ou asynchrones il y a des protocoles receiver-initiated et d'autres sender initiated où les protocoles receiver-initiated, les récepteurs se réveillent indépendamment, de façon périodique, et indiquent leur disponibilité à recevoir des données par l'envoi d'une balise. Avec ce mécanisme, la balise du récepteur n'occupe pas le canal aussi longtemps que les préambules dans les protocoles sender initiated.

Notre objectif de ce travail se centre sur l'analyse des protocoles MAC basés sur la contention spécifiquement les protocoles receiver-initiated et la proposition d'un nouveau protocole initié par le récepteur dédié au réseau de capteur sans fil.

## **Organisation du mémoire**

Ce travail est organisé comme suit :

Dans le premier chapitre, nous allons introduire une vue globale sur les réseaux de capteurs sans fil ainsi une description de la problématique de la consommation d'énergie dans ces réseaux, par la suite on parlera sur la sous couche MAC et ses fonctionnalités. Nous terminerons le chapitre par une présentation des trois classes de protocoles MAC dédiés aux réseaux de capteurs sans fil

Dans le deuxième chapitre, nous consacrons notre travail sur l'état de l'art des protocoles MAC initiés par le récepteur asynchrones de classe des protocoles basés sur la contention où on donnera une explication du principe des plus célèbres protocoles de ce type avec une classification selon les techniques utilisés par chaque protocole, Nous terminerons le chapitre par une synthèse et une évaluation globale des protocoles présentés.

Le troisième chapitre est le cœur de notre travail, dans lequel nous allons illustrer la conception de notre proposition, il s'agit d'un protocole MAC asynchrone de la classe des protocoles basés sur la contention utilisant le mécanisme de Duty Cycle. Et ainsi de valider sa performance à l'aide d'une simulation et comparaison de résultats obtenues avec celles du protocole ADPW-MAC, à la base de ses limites et ses inconvénients, une nouvelle variante qui tente d'améliorer considérablement les performances du système.

Enfin, le mémoire s'achève par une conclusion et quelques perspectives de recherche.

## 1.1 Introduction

La couche liaison de données est composée essentiellement de deux sous-couches, LLC (Logical Link Control) et MAC. La plupart des recherches qui se font actuellement sur cette couche (liaison de données) se focalisent principalement sur la sous couche MAC. Dans ce chapitre on va donner une vision générale sur les réseaux de capteurs sans fils ainsi une explication du MAC et les différents protocoles utilisés dans ces réseaux.

## 1.2 Réseaux de capteurs sans fil (RSCF)

Les Réseaux de Capteurs sans fil « **RCSF** » ou En Anglais « **WSN** » pour « Wireless Sensor Networks » sont des réseaux de nœuds sans fil dédiés à des applications spécifiques. Ils sont considérés comme un type particulier des réseaux Ad-hoc, dans lesquels les nœuds sont très simples et limités en ressources. [1]

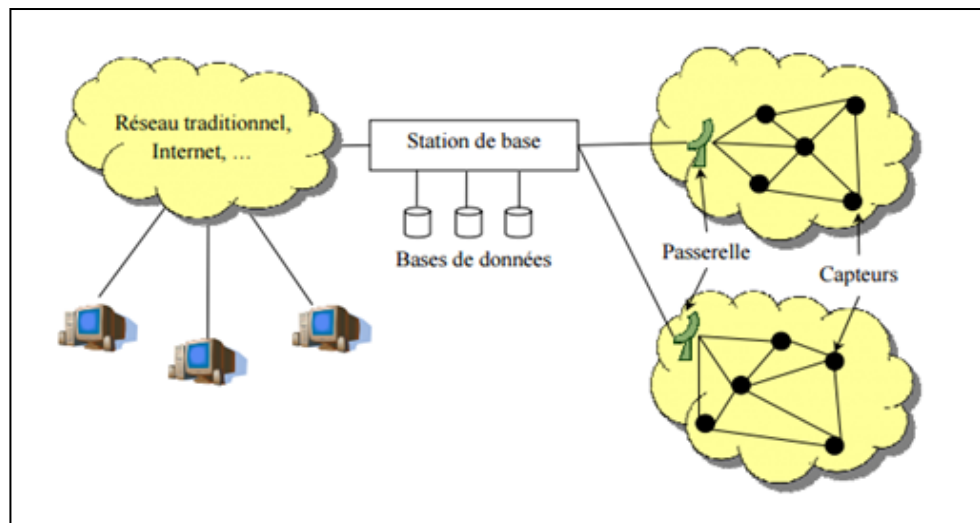


Figure.1.1: Architecture d'un RCSF (WSN) [1]

## 1.3 Couches dans les RCSF et leurs rôles [2]

- **La couche physique :** Spécifie des caractéristiques matérielles, des fréquences porteuses, etc...
- **La couche liaison :** Spécifie comment les données sont expédiées entre deux nœuds/routeurs dans une distance d'un saut. Elle est responsable du multiplexage des données, du contrôle d'erreurs, de l'accès au media,... Elle assure la liaison point à point et multipoint dans un réseau de communication.

- **La couche réseau :** Dans la couche réseau le but principal est de trouver une route et une transmission fiable des données captées, des nœuds capteurs vers le puits "sink" en optimisant l'utilisation de l'énergie des capteurs.
- **La couche transport :** Cette couche est chargée du transport des données, de leur découpage en paquets, du contrôle de flux, de la conservation de l'ordre des paquets et de la gestion des éventuelles erreurs de transmission.
- **La couche application :** Cette couche assure l'interface avec les applications. Il s'agit donc du niveau le plus proche des utilisateurs, géré directement par les logiciels.

## 1.4 Sous couche MAC

### 1.4.1 Définition

MAC (Media Access control) est la sous-couche inférieure de la couche liaison de données. Elle est mise en œuvre au niveau matériel, généralement sur la carte réseau de l'ordinateur. Les spécifications sont décrites par les normes IEEE 802.11. [3]

### 1.4.2 Fonctionnalités

MAC a pour rôle de :

- ✓ contrôle d'accès au support
- ✓ adressage et formatage des trames
- ✓ contrôle d'erreur permettant de contrôler l'intégrité de la trame à partir d'un *Cyclic Redundancy Check (CRC)*
- ✓ fragmentation et réassemblage;
- ✓ Qualité de service (QoS - *Quality of Service*)
- ✓ gestion de l'énergie
- ✓ gestion de la mobilité [3].

## 1.5 Consommation d'énergie dans les RCSF :

L'énergie consommée par un nœud capteur est due essentiellement aux opérations suivantes : la capture, le traitement et la communication de données. Elle dépend aussi du type spécifique du nœud.

### 1.5.1. Energie de capture :

L'énergie de capture est dissipée pour accomplir les tâches suivantes :

Échantillonnage, traitement de signal, conversion analogique/numérique et activation de la sonde de capture. En général, l'énergie de capture représente un faible pourcentage de l'énergie totale consommée car l'acquisition des données se fait généralement à travers un ou plusieurs capteurs.

### 1.5.2. Energie de traitement :

L'énergie du traitement est l'énergie consommée par le processeur afin d'effectuer les calculs nécessaires (opérations, lecture/écriture en mémoire, etc.) sur les données collectées (température, humidité, vitesse du vent, etc.) Le degré de consommation d'énergie varie d'un processeur à un autre. En général, l'énergie de traitement est faible par rapport à celle nécessaire pour la communication. Cette énergie se divise en deux parties : l'énergie de commutation et l'énergie de fuite. Il est aussi à noter que le passage fréquent de l'état actif à l'état sommeil peut avoir comme conséquence une consommation d'énergie plus importante que de laisser le module radio en mode actif. Ceci est dû à la puissance nécessaire pour la mise sous tension du module radio. Cette énergie est appelée l'énergie de transition. [3,4]

### 1.5.3. Energie de communication :

L'énergie de communication se décline en deux parties : l'énergie de réception et l'énergie de l'émission. Cette énergie est déterminée par la quantité des données à communiquer et la distance de transmission, ainsi que par les propriétés physiques du module radio. Elle est basée sur l'utilisation des antennes radio. L'énergie est consommée quand l'antenne change d'état (idle, transmission, réception, sommeil) et quand la puissance d'émission du signal est élevée (aura une grande portée). Notons que l'énergie de communication représente la portion la plus grande de l'énergie consommée par un nœud capteur.

## 1.6 Sources de gaspillage d'énergie [4]

Dans les réseaux de capteurs notamment sous la sous-couche MAC qu'elle est chargée de la gestion d'énergie, on distingue certaines sources de perte d'énergie dont :

- **L'écoute passive (idlelistening):** C'est l'attente d'une trame par le module radio. un nœud d'être éveillé mais qu'il ne reçoit ou transmet aucune trame
- **La sur-émission (Overemitting) :** Peut avoir lieu quand un nœud envoie des données et le nœud destinataire n'est pas prêt à les recevoir.

- **Les collisions :** Les pertes de trames à cause des collisions forcent les nœuds à retransmettre le même paquet plusieurs fois et donc à rester actif pour le répéter et vérifier qu'il est bien reçu par la destination.
- **L'écoute abusive (Overhearing):** L'overhearing est la réception par un nœud d'une trame qui ne lui est pas destinée. L'énergie consommée pour la réception et le traitement des données de cette trame est perdue et sans aucun intérêt.
- **Le surcoût des paquets de contrôle (Overhead):** L'Overhead constitue les messages de contrôle et tout bit utilisé pour encapsuler des données utiles à l'application. Cet Overhead généré par la couche MAC, a pour but d'assurer le bon fonctionnement de la méthode d'accès mais cela amplifie les 4 sources de consommation à contre-temps.
- **La taille des paquets :** La taille des messages échangés a un effet sur la consommation d'énergie des nœuds émetteurs et récepteurs. Ainsi, la taille des paquets ne doit être ni trop élevée ni trop faible.

### 1.7 Protocoles MAC pour les RCSFs

#### 1.7.1 Les Protocoles Mac basés sur TDMA [5] :

Dans les protocoles MAC fondés sur la méthode TDMA (TDMA pour Time Slot Division Multiple Access, en Anglais) le temps est divisé en trames (périodiques) et chaque trame se compose d'un certain nombre de slots de temps. À chaque nœud est attribué un ou plusieurs slots par trame, selon un certain algorithme d'ordonnement. Il utilise ces slots pour l'émission/réception de paquets de/vers d'autres nœuds et ne peut pas accéder au canal pendant l'intervalle de temps réservé à un autre. De ce fait, il n'y a jamais de collision. On distingue deux familles des protocoles MAC à base de TDMA : **Protocoles centralisés** et **Protocoles distribués**.

##### 1.7.1.1 Protocoles à base de TDMA centralisés

- Dans le cas des protocoles centralisés, les stations de base sont responsables de la distribution des intervalles de temps pour les nœuds qui leurs y attachées. Beaucoup de protocoles MAC centralisés existent dans la littérature, on cite le **BMA** [6] et l'**ED-TDMA** [7]

## 1.7.1.2 Protocoles à base de TDMA distribués

Dans les protocoles MAC distribués à base de TDMA, les nœuds utilisent les informations locales, qu'ils détiennent, pour proposer leur propre ordonnancement. Ce type de protocoles n'a pas besoin d'une station centrale pour établir l'ordonnancement. Parmi les protocoles à base de TDMA distribués on a le **TRAMA** [8] et le **TDMA-CA** [9].

## 1.7.2 Protocoles MAC hybrides

La famille des protocoles MAC hybrides s'inspire des avantages des deux familles MAC qu'on a présenté jusqu'à présent. Ils tentent de combiner les points forts des protocoles MAC fondés sur TDMA et ceux avec contention tout en compensant leurs faiblesses. Toutefois, ces techniques semblent être complexes pour être réalisables dans un déploiement d'un grand nombre de nœuds.

En comparaison avec les deux familles précédentes, les protocoles hybrides peuvent offrir une bonne flexibilité, scalabilité et conservation d'énergie des nœuds. On cite parmi les Protocoles MAC hybrides : le **G-MAC** [10] et le **A-MAC**[11].

## 1.7.3 Protocoles MAC basés sur la contention

Une autre classe a vu le jour et celle qu'on va concentrer notre travail sur lui, c'est la classe des protocoles basés sur la contention qui sont robustes et garantissent le passage à l'échelle. En outre, ils ont généralement un délai plus faible que ceux reposant sur TDMA et ils peuvent facilement s'adapter aux conditions de trafic. [12]

Les protocoles MAC basés sur la contention existants dans les RCSF peuvent être classés en deux types **synchrones** et **asynchrones**.

### 1.7.3.1 Protocoles MAC synchrones :

Ces protocoles coordonnent les périodes de réveil /sommeil pour réduire le temps non-nécessaire à l'idle listening. Les nœuds échangent périodiquement des paquets de synchronisation et communiquent en horaires actifs communs. Toutefois ça engendre de l'overhead ce qui consomme l'énergie.

Dans ce type de protocoles, le temps est divisé en slots, et les nœuds se réveillent au



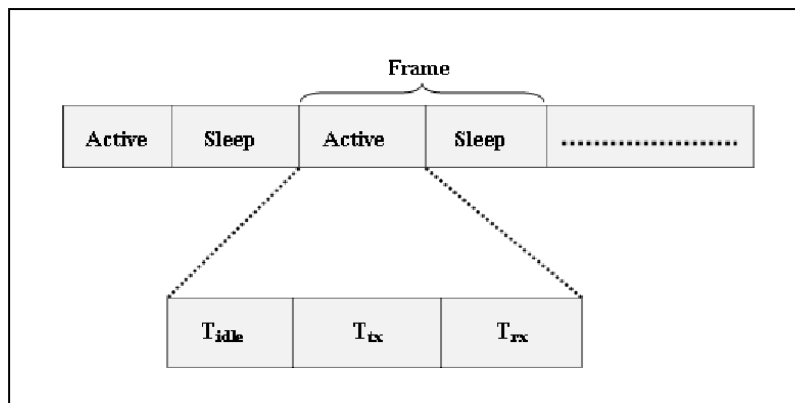
début de chaque slot pour vérifier l'activité sur le canal s'il ya des paquets qui circulent, ou bien pour gérer les messages en attente pour la transmission. Cependant le délai de transmission augmente, en mesure que les nœuds peuvent exiger plusieurs contentions afin d'avoir la chance d'utiliser le canal. En plus, la possibilité d'avoir des collisions est beaucoup plus grande due au regroupement des communications en petites parties de slots actifs. Comme S-MAC[13] et T-MAC[14], RMAC, PMAC [15]

### ➤ S-MAC

S-MAC (Sensor-MAC) est un protocole MAC célèbre. Il est relativement similaire au protocole 802.11 et qui utilise une méthode d'accès au canal de type CSMA-CA et **RTS/CTS** (Request-To Send, Clear-To-Send) qui permet d'éviter les collisions et le problème de station cachée. Ce problème apparait quand deux nœuds A et B veulent tous les deux envoyer des données à un nœud C ; mais les deux (A et B) ne se voient pas. Elles pensent toutes les deux que le medium pour envoyer des informations à C est libre et il va donc y avoir collision.

Pour synchroniser les nœuds entre eux (éviter les collisions), des paquets de synchronisation SYNC sont broadcastés à tous les voisins immédiats au début du slot afin de coordonner leurs périodes sleep/wakeup. Ainsi chaque nœud peut établir son propre plan ou suivre le plan d'un voisin au moyen d'un algorithme distribué.

S-MAC définit donc un frame composé d'une période de sommeil et d'une période d'éveil. Pour qu'un nœud puisse envoyer ses données, il faut qu'il envoie tout d'abord une trame RTS au récepteur, qui lui répond par une trame CTS pour accepter ou refuser la conversation. Les paquets RTS et CTS contiennent des informations sur la taille des données à transmettre, ainsi les voisins de l'émetteur des données et du récepteur qui peuvent calculer une estimation du temps durant lequel ils ne devront pas émettre sur le canal radio. La **figure 1.2** illustre le mécanisme de fonctionnement S-MAC.



**Figure1.2** Mécanisme de fonctionnement du S-MAC [13]

### - *Avantages* :

- Le protocole est simple.
- La perte d'énergie causée par l'écoute au canal libre est réduite par le cycle de mise en veille.

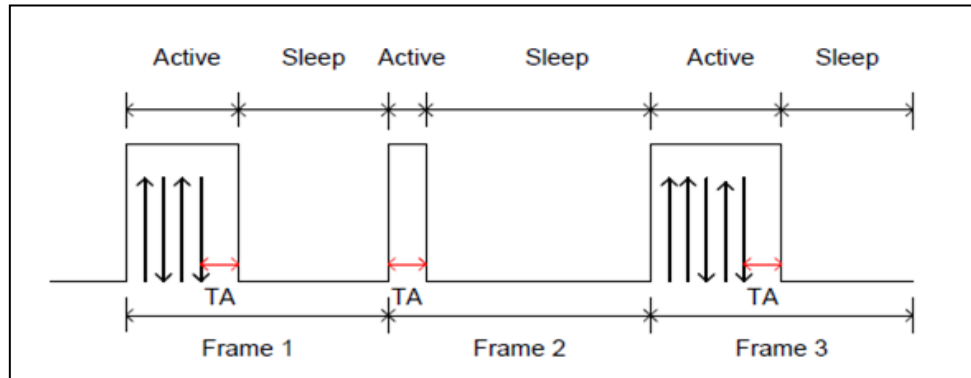
### - *Inconvénients* :

- Le protocole ne permet pas le passage à l'échelle. Cela implique l'augmentation de nombre des *Schedule* sauvegardés dans chaque nœud.
- Les paramètres du protocole S-MAC, i.e. les périodes d'écoute et de sommeil, sont constantes et ne peuvent pas être modifiées après le déploiement.
- Le débit moyen est réduit, car seulement la période d'activité est utilisée pour la communication.

### ➤ **T-MAC**

T-MAC (Timeout MAC) est une amélioration du protocole S-MAC et spécialement conçue pour une charge de trafic variable. Dans T-MAC, un nœud écoute le canal radio et peut potentiellement transmettre tant qu'il est dans la période active. La période active se termine quand aucun événement d'activation (déclenchement d'un temporisateur de frame, la réception de données sur la radio, l'acquittement de ses propres paquets, etc.) ne se produit pendant un temps  $T_A$ .  $T_A$  est donc le temps minimum d'écoute à vide par frame. Si un nœud n'entend rien durant cette période, il se met en veille et il choisit un ordonnancement de frame et le transmet par un paquet SYNC qui contient le temps

jusqu'au début de la frame Suivante. Après, pour se synchroniser, les nœuds envoient des paquets SYNC périodiques entre eux pour s'échanger les ordonnancements.



**Figure.1.3** Duty cycle adaptatif de T-MAC [16]

Avec T-MAC, il peut y avoir un problème quand le trafic est essentiellement unidirectionnel (ce qui est le cas quand les capteurs doivent surtout remonter les informations vers une station collectante).

Pour remédier à ce problème, T-MAC utilise un message FRTS (Future Request To Send) pour informer le nœud que le canal n'est pas accessible. L'ajout du mécanisme de FRTS entraîne qu'il faut rajouter un paquet Data-Send (DS) avant l'émission de paquets de données.

**- Avantages :**

- T-MAC conserve l'énergie mieux que S-MAC, puisqu'il évite l'écoute à un canal libre en introduisant la période TA.
- Il est simple que S-MAC.

**- Inconvénient**

- T-MAC contient beaucoup de messages de contrôle (overhead), comme les messages RTS/CTS.
- Dans T-MAC, lorsque l'on ajoute un nouveau nœud, il y a toujours le risque que ce nouveau nœud adopte un autre cycle, obligeant ainsi ces voisins à se synchroniser sur ce cycle en plus de celui qu'ils suivaient déjà, dégradant ainsi leurs performances en termes de consommation d'énergie.

## 1.7.3.2 Protocoles MAC asynchrones

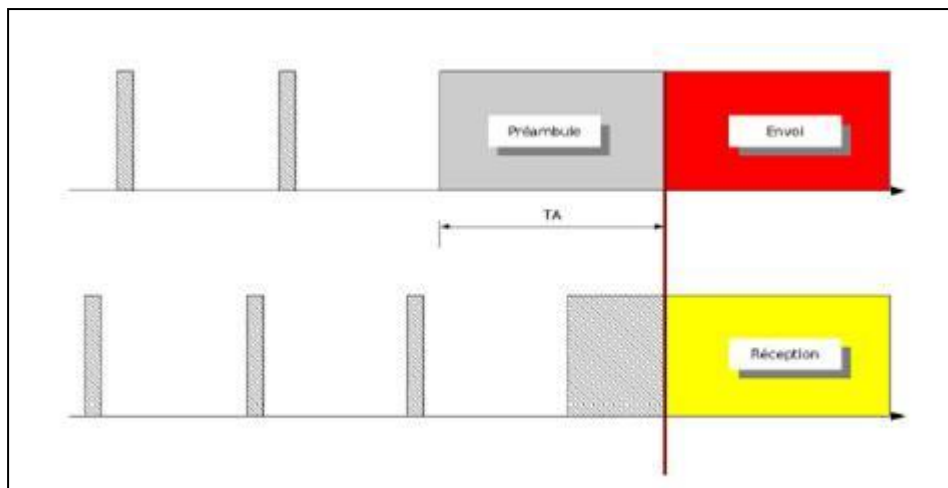
Contrairement aux protocoles synchrones n'ont pas de contrôle d'overhead pour la synchronisation ce qui diminue la consommation d'énergie. Cependant, les nœuds communicants sont totalement découplés, ce qui permet d'augmenter significativement les délais pour qu'un émetteur rencontre la période active du récepteur. On trouvera B-MAC [16], XMAC[17], RIMAC [18], WiseMAC [19].

### ➤ B-MAC

BMAC est basé principalement sur deux principes : l'analyse du bruit sur le canal radio et sur l'écoute basse consommation Pour atteindre un faible duty-cycle.

Les nœuds se réveillent périodiquement pour vérifier l'activité sur le canal. La période entre deux réveils est nommée intervalle de vérification. Quand un nœud veut envoyer un paquet, il détermine si le canal radio est utilisé par un autre nœud ou pas en écoutant le "bruit" en se basant sur un indicateur de puissance du signal. S'il n'y a pas de bruit, le canal est libre et il peut donc émettre. Et S'il y a du bruit, cela signifie que des données vont arriver (à cause du préambule).

Avant d'envoyer des données il doit émettre un préambule. La durée du préambule est au moins égale à l'intervalle de vérification, afin que chaque nœud puisse toujours détecter une éventuelle transmission au cours de son intervalle de vérification. Ensuite quand les données commencent à arriver, les nœuds qui ne sont pas destinataires de ces données retournent en sommeil.



**Figure.1.4** B-MAC: réveil périodique des nœuds [16]

### -Avantages:

- fait une performance énergétique mieux que X-MAC
- protocole simple

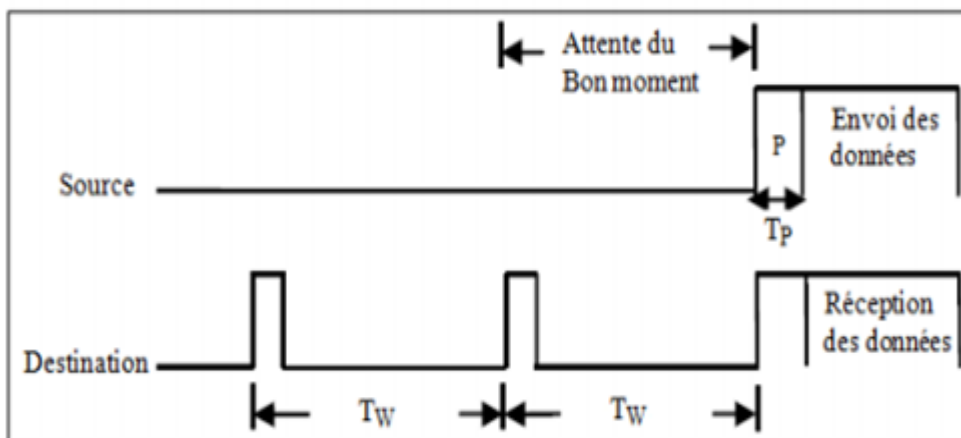
### -Inconvénients:

- la taille volumineuse des préambules qui consomme beaucoup d'énergie.
- la non adaptation avec l'état du trafic

### ➤ WiseMAC

WiseMac est basé sur CSMA non persistant et utilise une technique appelée "échantillonnage de préambule" pour minimiser la consommation d'énergie causée par l'écoute du canal ("idle" listening) en réduisant la longueur d'un paquet préambule. La technique d'échantillonnage de préambule consiste à échantillonner régulièrement le canal en écoutant sa radio pour une petite durée. Tous les nœuds capteurs dans le réseau échantillonnent le canal avec une même durée appelée **T<sub>w</sub>**.

Si le canal est occupé, il continue à écouter jusqu'à ce qu'il reçoive un paquet ou que le canal redevient libre. Au niveau de l'émetteur, un préambule *wake-up* est transmis avant chaque message pour assurer que le récepteur sera réveillé quand la portion des données du message arrive.



**Figure.1.5** Technique de préambule dans WiseMac

Ce préambule introduit une consommation d'énergie causée par un *overhead*. Pour minimiser cet *overhead*, les nœuds peuvent avoir l'information sur le décalage entre le *scheduling* des échantillonnages de leurs voisins et les siens. En connaissant le *scheduling* de l'échantillonnage du récepteur, le nœud envoie les messages au bon moment

avec un préambule *wake-up* de longueur minimale TP comme montré dans la figure précédente.

Chaque nœud maintient une table à jour avec les différences de *Schedule* d'échantillonnage de ses voisins directs. Pour avoir ces informations, la durée restante pour le prochain échantillonnage du préambule est incluse dans chaque paquet ACK. Pour minimiser les collisions, WISEMAC utilise l'écoute de la porteuse sans persistance, avec un *backoff* choisi comme un entier aléatoire multiplié par le temps de changement d'état de l'unité de communication. Pour prévenir les collisions, un préambule de réservation du médium de durée aléatoire est ajouté avant le préambule *wake-up*.

### **-Avantage:**

- WiseMAC évite l'*overmittingen* utilisant le préambule *wake-up*.
- Avec WiseMAC la synchronisation des instants de réveil et d'endormissant des nœuds n'est pas nécessaire.
- WiseMAC consomme moins d'énergie que S-MAC et T-MAC.

### **-Inconvénients:**

- WiseMAC n'utilise pas des paquets de contrôle et ne peut donc pas éviter le problème de la station cachée.
- WiseMAC minimise l'écoute au canal libre en augmentant le prix de la transmission et réception.

## **1.8 Conclusion**

Dans ce chapitre, On a parlé sur les réseaux de capteurs sans fils et les différentes sources de gaspillage d'énergie lors d'établissement d'une communication sur ce type de réseaux, ainsi on a présenté des protocoles MAC dédiés spécialement aux RCSF, parmi ces protocoles nous avons concentré notre travail sur les protocoles basé sur la contention.

On a constaté que chaque protocole a ces avantages et ces limites. Dans le prochain chapitre on va concentrer notre travail sur les protocoles MAC reciever-initiated en expliquant ses principes et les différentes techniques qu'ils utilisent à la fin de minimiser la consommation d'énergie et l'évitement de collision.

### 2.1 Introduction :

Les protocoles MAC basés sur la contention sont des protocoles qui permettent aux plusieurs utilisateurs de partager le même spectre en définissant les événements qui doivent se produire lorsque deux émetteurs ou plus tentent simultanément d'accéder au même canal et en établissant des règles par lesquelles un émetteur fournit des possibilités raisonnables pour d'autres émetteurs. Dans les protocoles receiver-initiated, les récepteurs se réveillent indépendamment, de façon périodique, et indiquent leur disponibilité à recevoir des données par l'envoi d'une balise. Avec ce mécanisme, la balise du récepteur n'occupe pas le canal aussi longtemps que les préambules dans les protocoles sender-initiated.

Dans ce chapitre nous allons approfondir dans notre thème de mémoire, nous allons consacrer notre travail sur les protocoles MAC receiver initiated asynchrones

### 2.2 Classification des protocoles MAC receiver-initiated:

Il existe plusieurs critères de regroupement les protocoles basés sur la contention selon la technique utilisé, on présentera ci-dessous quelques uns d'où il des protocoles qui utilisent :

#### 2.2.1 Minimisation d'idlelistening

##### 2.2.1.1 RI-MAC

###### ➤ Principe

Le principe de fonctionnement de ce protocole est le suivant : chaque nœud d'un réseau se réveille périodiquement, et émit un beacon signalant qu'il est prêt à recevoir des données. Un nœud ayant des données à transmettre va donc écouter le médium radio et attendre de recevoir un beacon issu du destinataire voulu. Dès ce beacon reçu, l'émetteur envoie sa trame de données. Le nœud récepteur confirmera ensuite la bonne réception de cette trame par l'envoi d'un nouveau beacon, lequel joue à la fois le rôle d'acquittement de la trame reçue (ACK) et de signal pour le lancement d'une nouvelle transmission.

RI-MAC ajoute au principe LPP de base une notion de "*backoff* " intégrée aux beacons : ces derniers incluent en effet une durée maximale de « silence » parmi laquelle les nœuds émetteurs devront choisir aléatoirement un délai à respecter entre la réception de ce beacon et l'envoi de leurs données. [20]

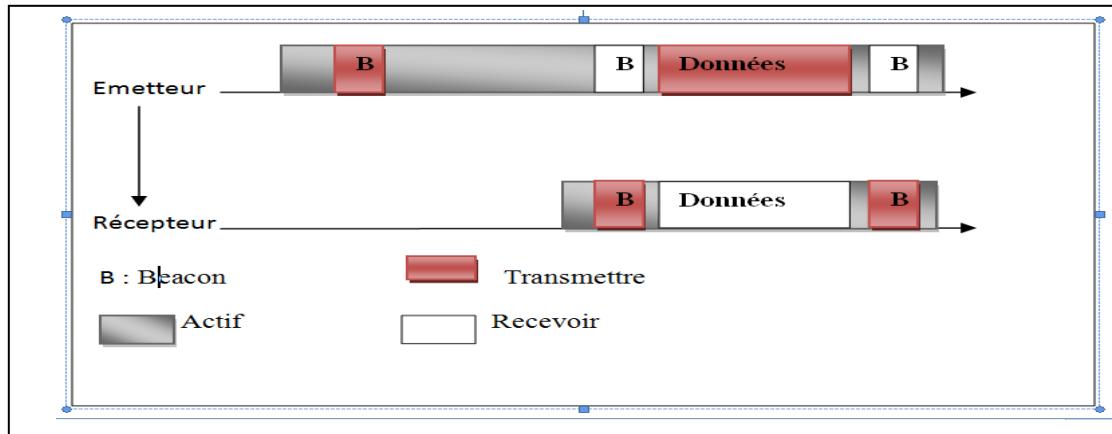


Figure 2.1 : Principe de transmission de données selon la méthode RI-LPP

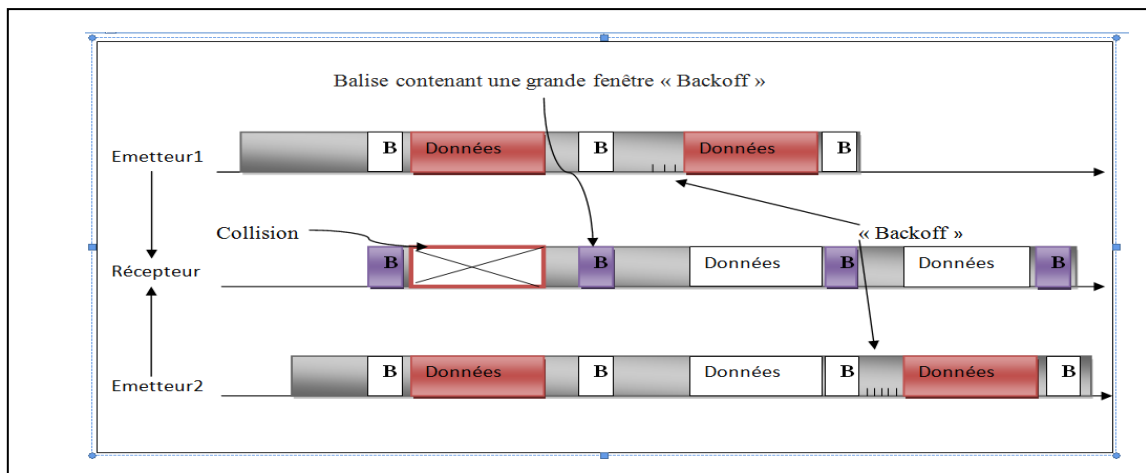


Figure 2.2 : Illustration de la méthode employée par RI-MAC pour résoudre les problèmes de collisions.

### ➤ Avantages

- possibilité d'envoi rapide des trames par lots grâce à ce double rôle des beacons.
- réduire l'occupation moyenne du médium radio par un couple de nœuds pour arriver à un point de rendez-vous.
- minimiser les phénomènes de collisions cachées entre nœuds grâce au "backoff".

### ➤ Inconvénients

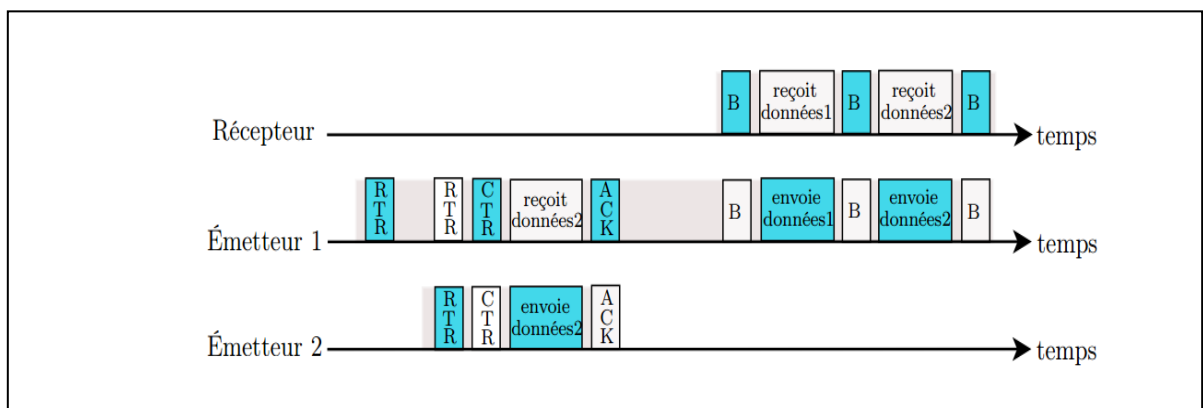
- lorsque plusieurs nœuds ont simultanément besoin d'envoyer des données au même destinataire : à la réception du beacon émis par ce dernier, les différents nœuds émetteurs vont tous émettre leurs trames de données, ce qui provoquera inévitablement une collision



### 2.2.1.2 OC-MAC [21]

#### ➤ Principe

Lorsqu'un nœud a des données prêtes, il transmet un RTR Balise vers les expéditeurs voisins, si le canal est inactif. La balise contient son énergie résiduelle, l'adresse de destination et une demande pour d'autres expéditeurs pour relayer les données. L'émetteur écoute le canal pendant une période de temps. S'il ne reçoit aucune réponse dans cette durée, il perd son droit de coopérer la communication, et continue d'attendre silencieusement une balise du récepteur ou d'un autre émetteur contestataire. Lorsqu'une balise RTS est reçue par un expéditeur réveillé, il compare son énergie résiduelle au prétendant. L'expéditeur ignore la demande si l'expéditeur en conflit a plus d'énergie résiduelle que lui-même. Sinon il transmet une balise CTS, après un « backoff » aléatoire. Le « backoff » empêche les collisions, au cas où plusieurs émetteurs sont actifs.



**Figure 2.3 :** Mécanisme de transmission dans OC-MAC [21]

#### ➤ Avantages

- Les expéditeurs voisins dans OC-MAC sont autorisés à échanger des données
- minimiser la consommation d'énergie grâce à la coordination entre les émetteurs

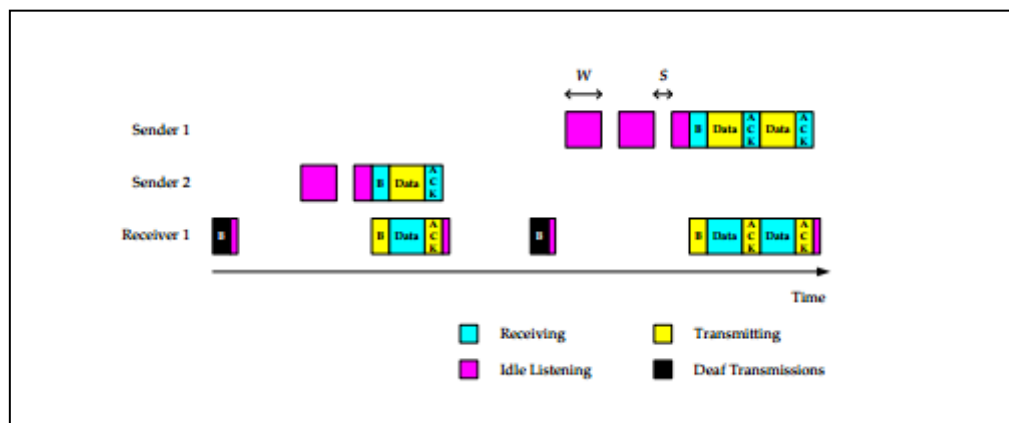
#### ➤ Inconvénients

- Réduction du débit du réseau à cause d'échange de balises entre les expéditeurs qui assure que le canal n'est pas vidangé de balises
- OC-MAC contient beaucoup de messages de contrôle (overhead), comme les messages RTS/CTS.

### 2.2.1.3 EE-RI-MAC

#### ➤ Principe [22]

Ce protocole est une amélioration pour RI-MAC, définissant une autre approche Augmenter l'efficacité énergétique des expéditeurs. Un émetteur alterne entre l'état actif et l'état de sommeil dans cette durée. Les émetteurs entrent dans l'état de sommeil après avoir écouté le canal pendant une période  $W$ , et se réveille après une durée  $S$ .



**Figure 2.4 :** EE-RI-MAC introduit l'utilisation de l'attente cyclique en attente de balises afin de réduire l'écoute à vide. [22]

#### ➤ Avantages

- La perte d'énergie causée par l'écoute au canal libre est réduite par le cycle de mise en veille
- L'EE-RI-MAC réduit la consommation d'énergie en minimiser l'idlelistening.

#### ➤ Inconvénients

- L'adaptation à l'état du trafic reste un problème à cause de la grande densité des nœuds dans les réseaux de capteurs.
- Possibilité de perdre la balise de récepteur lorsque l'émetteur est en sommeil.

### 2.2.2 Prévision de réveil

L'écoute au ralenti constitue de loin la source la plus répandue de consommation d'énergie dans un schéma MAC initié par le récepteur. Plusieurs protocoles travaillent pour atténuer le temps qu'un expéditeur attend une balise en prédisant le prochain réveil du destinataire prévu.

### 2.2.2.1 PW-MAC [23]

#### ➤ Principe

PW-MAC, utilise un signal généré indépendamment pseudo- aléatoire pour contrôler les temps de réveil de chaque nœud, Un mécanisme de correction d'erreur de prédiction à la demande aide à compenser les problèmes de synchronisation causés par le matériel imprévisible, le système d'exploitation, les retards et la dérive d'horloge. De plus, les temps de réveil prévisibles sont utilisés pour améliorer les performances en cas de collisions et d'erreurs de canal. Dans le cas où il y a besoin d'une retransmission, les expéditeurs en RI-MAC rester éveillé jusqu'à ce que les récepteurs se réveillent à nouveau.

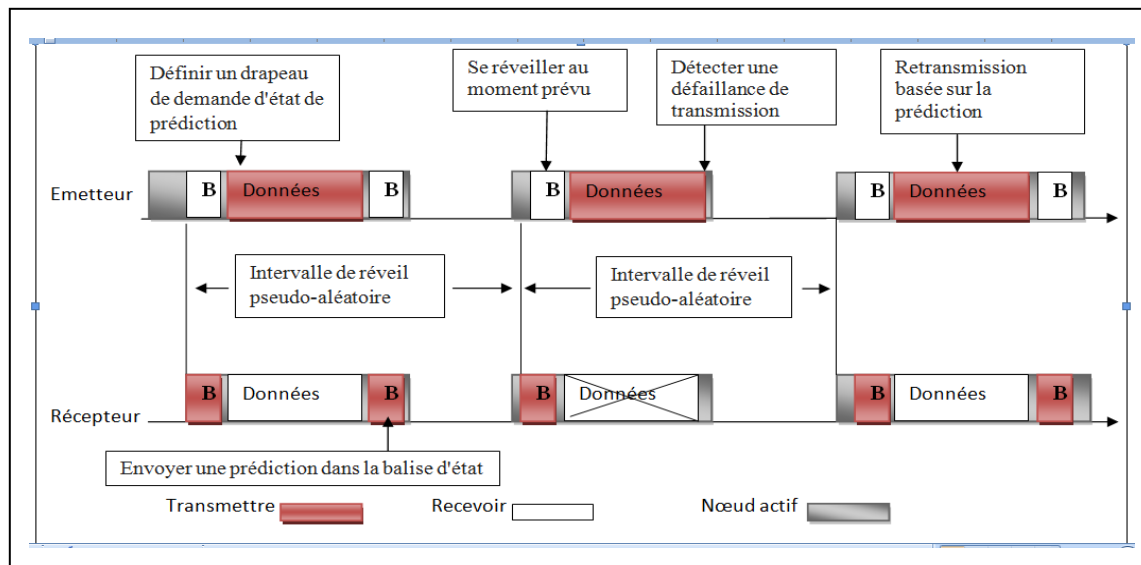


Figure 2.5 : Schéma de fonctionnement de PW-MAC [23]

#### ➤ Avantage

- Les expéditeurs peuvent prédire précisément le moment où un récepteur va se réveiller, ce qui permet de réduire le temps d'attente.
- Par rapport à RI-MAC, réalise une meilleure efficacité énergétique et un retard de bout en bout inférieur.

#### ➤ Inconvénient

- Vulnérabilité de collision en cas de plusieurs émetteurs voulant envoyer au même destinataire.
- la prédiction de l'intervalle de réveil pseudo-aléatoire consomme beaucoup d'énergie.

### 2.2.2.2 RIX-MAC [24]

#### ➤ Principe

Dans RIX-MAC, tous les nœuds ont leur propre programme de réveil indépendant. Un émetteur a en outre de son programme, le calendrier de réveil du récepteur. L'expéditeur se réveille deux fois dans un cycle, le premier réveil se produit à son propre horaire pour recevoir des trames de données et le second pour transmettre des données au récepteur. Lorsque les données à transmettre arrivent à la couche MAC, L'émetteur recherche une planification du nœud récepteur désigné dans la table de réveil. Si cela ne peut pas trouver l'horaire, il commence à transmettre des courts préambules à son propre horaire. Lors de la réception de la trame early-ACK à partir du récepteur, l'expéditeur commence à transmettre des données immédiatement, obtient les informations de synchronisation exactes sur le réveil du récepteur avec le Wakeup-time, et enregistre des informations sur la table wakeup-time comme un temps écart entre Sched-wakeup et Synch-wakeup.

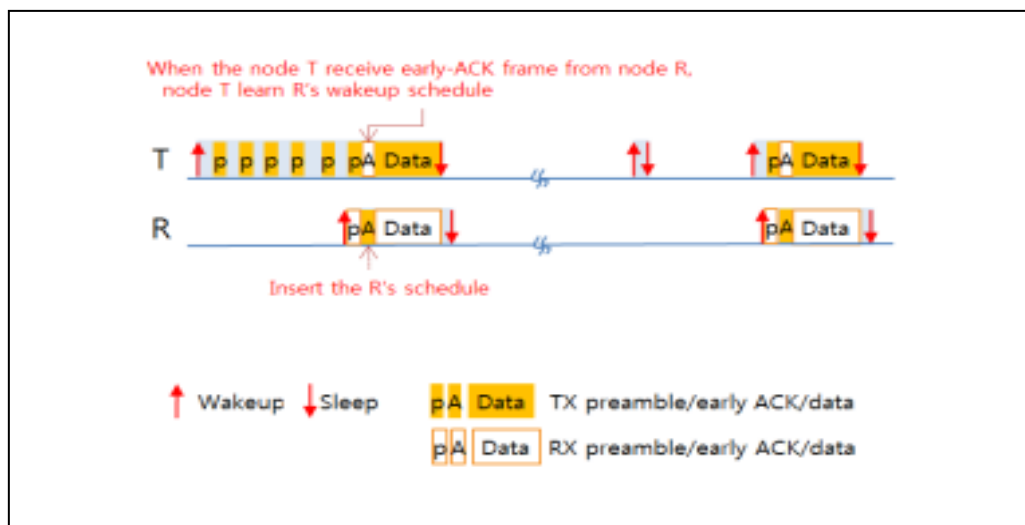


Figure 2.6 : Mécanisme de fonctionnement du protocole RIX-MAC [24]

#### ➤ Avantages

- RX-MAC évite la collision via le cadre d'un autre émetteur. Dans la situation de plusieurs émetteurs, les expéditeurs pourraient empêcher la collision de données en écoutant préambules et la trame Early-ACK du récepteur
- RX-MAC réduit la consommation d'énergie de l'émetteur en prédisant le Calendrier de réveil de récepteur

## Chapitre 02: Protocoles MAC receiver-initiated pour les réseaux de capteur sans fil

- Ce protocole augmente l'utilisation des canaux et permet une détection de collision plus efficace

### ➤ Inconvénient

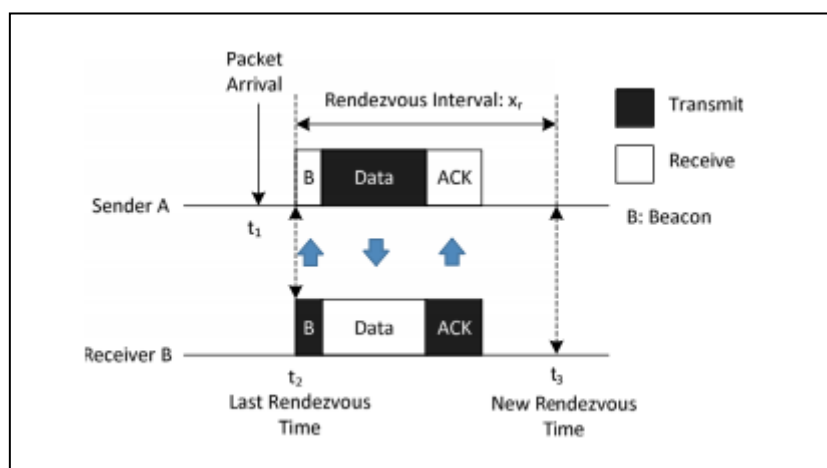
-RIX-MAC ne prend pas en considération les transitions inutiles du module radio dans l'élaboration de l'ordonnancement

-L'envoi abusive des préambules avant le réveil du récepteur ce qui consomme beaucoup d'énergie

### 2.2.2.3 WA-MAC [25]

#### ➤ Principe

Les expéditeurs dans WA-MAC dynamiquement calculer un intervalle de rendez-vous basé sur le trafic entrant Comme le montre la **figure 2.7**, l'intervalle est ajouté à l'heure de réveil en cours pour afficher l'heure de réveil suivante. Quand il n'y a pas de données envoyer, l'intervalle de rendez-vous reste le même et le récepteur devient en état de sommeil après un court intervalle. De cette manière, l'expéditeur et le récepteur ont un accord sur le moment de se réveiller. L'intervalle de rendez-vous est calculé de sorte que le relatif requis délai est garanti en moyenne pour la livraison de paquets tenu en compte les conditions de circulation. Quand le trafic devient léger, l'intervalle de rendez-vous est élargi, de sorte que l'expéditeur et le récepteur peut être hors service pendant plus longtemps pour réduire la consommation d'énergie. Lorsque le trafic devient plus lourd, ils se réveillent plus souvent pour effectuer transmission de données avec un intervalle de rendez-vous plus court.



**Figure 2.7 :** Procédure de communication du protocole WA-MAC [25]

## Chapitre 02: Protocoles MAC receiver-initiated pour les réseaux de capteur sans fil

---

### ➤ Avantages

- Protocole très simple
- Minimiser la consommation d'énergie grâce au l'accord du moment de réveil.
- Adaptable aux cas où les trafics sont légers ou les trafics sont lourds

### ➤ Inconvénients

- Le débit moyen est réduit, car seulement la période d'activité est utilisée pour la communication
- Très vulnérable aux collisions.

### 2.2.2.4 TAD-MAC [26]

#### ➤ Principe

Dans TAD-MAC, il existe deux phases : la phase d'évolution (illustrée à la **Figure 2.8**) avant d'atteindre un régime permanent, chaque nœud de transmission (TxNi) attend la balise signal du coordinateur avant de lui envoyer ses données .La balise transmise par le coordinateur contient l'identifiant du nœud spécifique. Les Autres nœuds de transmission envisagés continuer à attendre la prochaine balise si la prochaine heure de réveil est très proche, sinon ils peuvent aller en mode veille et se réveiller juste avant la prochaine balise de réveil (WUB). Le temps de prochain réveil est intégré à l'intérieur du cadre de la balise que tous émetteurs reçoivent, mais seul le nœud spécifié répondra avec les données.

Après plusieurs réveils du coordinateur, il adaptera son intervalle de réveil (WUInt) sur la base des statistiques du trafic. D'ailleurs tous les récepteurs y compris le coordinateur contiennent une banque de registre de l'état de la circulation. La deuxième phase après la convergence (illustrée à la **Figure 2.9**) indique que le récepteur (coordinateur) a adapté son programme WUInt programme de telle manière que l'écoute inactive soit minimisée.

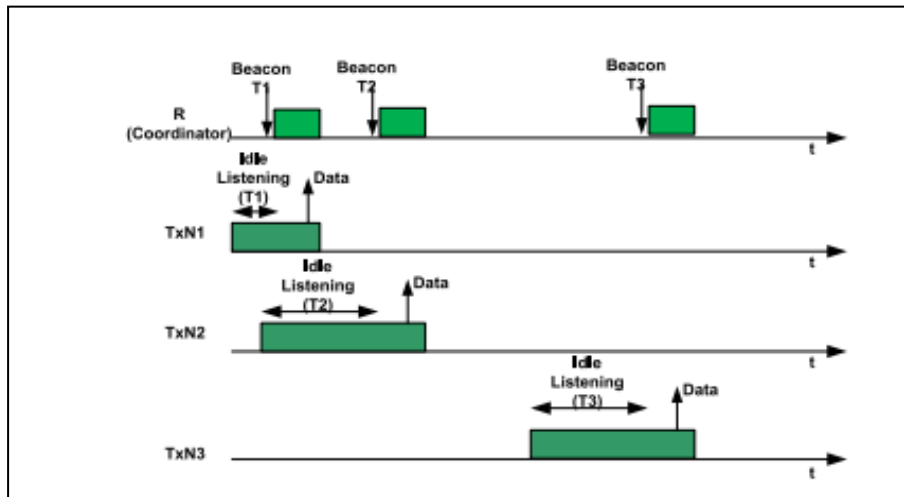


Figure 2.8 : Phase d'évolution qui est avant la convergence du protocole TAD-MAC [26]

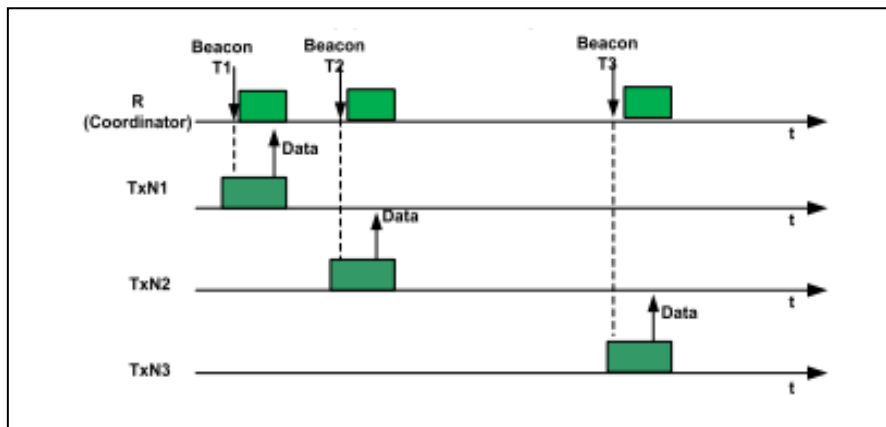


Figure 2.9 :Deuxième phase du protocole TAD-MAC qui est après la convergence [26]

### ➤ Avantages

- Utilise une bonne technique d'évitement de collision
- Presque pas de données perdu d'où moins gaspillage d'énergie
- Très efficace pour les trafics légers.

### ➤ Inconvénients

- Prend un temps relativement long avant la convergence
- Le débit moyen est réduit, d'où TAD-MAC n'est pas efficace pour les trafics denses

### 2.2.3 Adaptive Duty Cycling

L'adaptation dynamique des cycles de travail peut améliorer considérablement l'efficacité du système. Un protocole MAC avec des cycles de service adaptatifs, c'est-à-dire conscients de la structure de la topologie et des conditions de circulation ou des

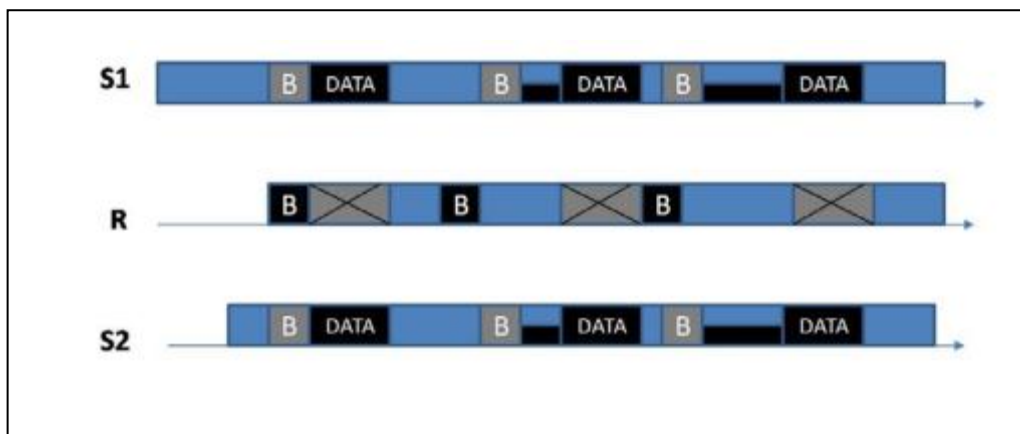
## Chapitre 02: Protocoles MAC receiver-initiated pour les réseaux de capteur sans fil

ressources des nœuds, peut utiliser plus efficacement l'énergie disponible. Par exemple, les nœuds qui sont plus proches de l'évier ont généralement plus de tâches d'expédition plutôt que les nœuds les plus loin. De plus, l'adaptation indépendante du cycle de service est essentielle WSN qui sont alimentés par l'énergie ambiante récoltée, tels que l'énergie solaire, les vibrations ou de la chaleur. Le but du système de tels réseaux est d'opérer dans un état où le l'énergie consommée est en moyenne égale à l'énergie récoltée.

### 2.2.3.1 SA-RI-MAC [27]

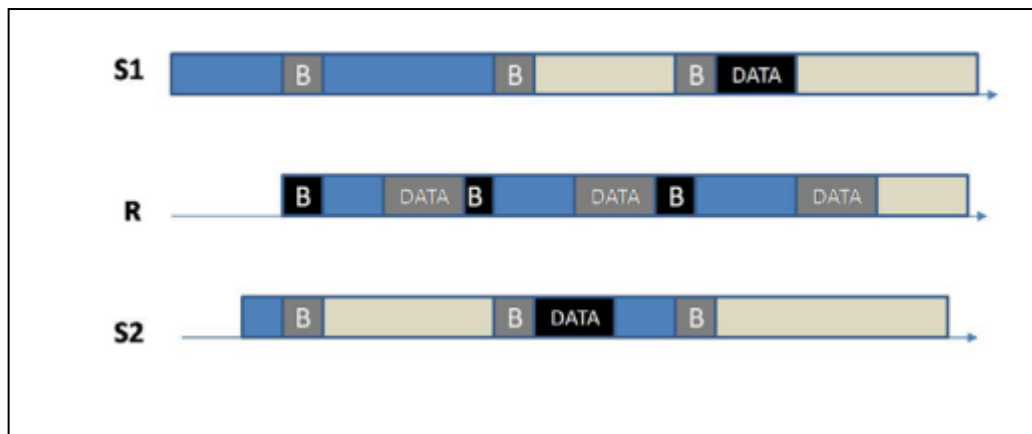
#### ➤ Principe

Quand un récepteur se réveille, il envoie une balise qui peut avoir deux champs facultatifs, le champ de destination et la taille BW. Si le champ de destination est défini dans la balise de base, cela signifie que la balise frame est un acquittement à l'expéditeur avec le champ de destination et d'autres expéditeurs peuvent traiter ceci en tant que demande d'envoyer des données. La valeur BW est spécifiée par le récepteur en fonction du niveau de contention de la destinataire. Cette valeur est utilisée comme une indication de la contention au récepteur et déclenche la coordination entre les expéditeurs en concurrence avant d'autres transmissions. Après avoir reçu la balise du récepteur, un expéditeur fait toujours un CCA (*Clear Channel Assessment*) avant la transmission afin d'éviter les collisions à la destinataire. Si aucune activité n'est détectée pendant ce temps, le récepteur R éteint sa radio.



**Figure 2.10** : Transmission des données à partir d'expéditeurs en concurrence. [27]





**Figure 2.11** : Coordination des expéditeurs pour éviter la collision. [27]

➤ **Avantages**

- SA-RI-MAC résolve le conflit aux expéditeurs lorsque la charge de trafic augmente
- Taux de livraison plus élevé
- minimiser les collisions en découplant les horloges émetteur et récepteur.

➤ **Inconvénients**

- Protocole un peu complexé
- la latence des transmissions est toujours en retard

### 2.2.3.2 ERI-MAC [28]

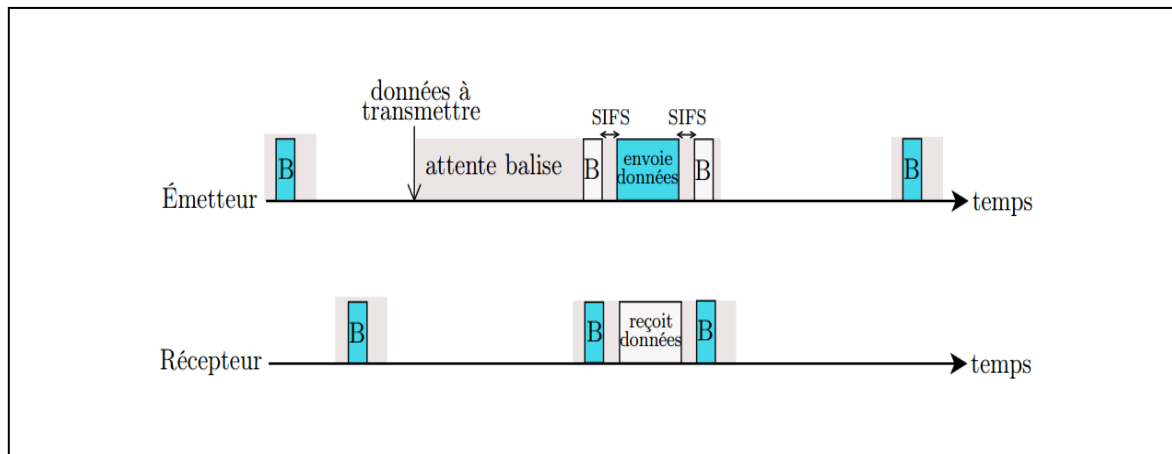
➤ **Principe**

ERI-MAC propose un mécanisme de file d'attente pour ajuster le taux d'activité des nœuds, suivant le taux de récupération d'énergie car il suppose que les nœuds sont capables de récupérer l'énergie de l'environnement. Le temps est divisé en cycle et les nœuds non-émetteurs diffusent immédiatement une trame balise après chaque réveil, puis écoutent le canal pendant une courte période pour déterminer s'il y a une potentielle trame. En outre, les émetteurs écoutent le canal pour recevoir la balise du récepteur attendu.

Lorsqu'un nœud reçoit la balise du récepteur attendu, il envoie sa trame en attente après un court temps SIFS. Une transmission réussie est terminée lorsqu'une balise d'accusé de réception (ACK) arrive à l'expéditeur. Cette balise sert aussi de nouvelle balise d'annonce

## Chapitre 02: Protocoles MAC receiver-initiated pour les réseaux de capteur sans fil

de disponibilité.



**Figure 2.12 :** Mécanisme de transmission dans ERI-MAC [28]

### ➤ Avantages

-Ce protocole est assez intéressant pour les applications orientées événement (event-driven) à faible trafic (tailles des trames variables).

-Adaptatif D/C

### ➤ Inconvénients

-Difficile à appliquer car ce protocole car que les nœuds sont capables de récupérer l'énergie de l'environnement

-non adaptatif aux changements topologiques

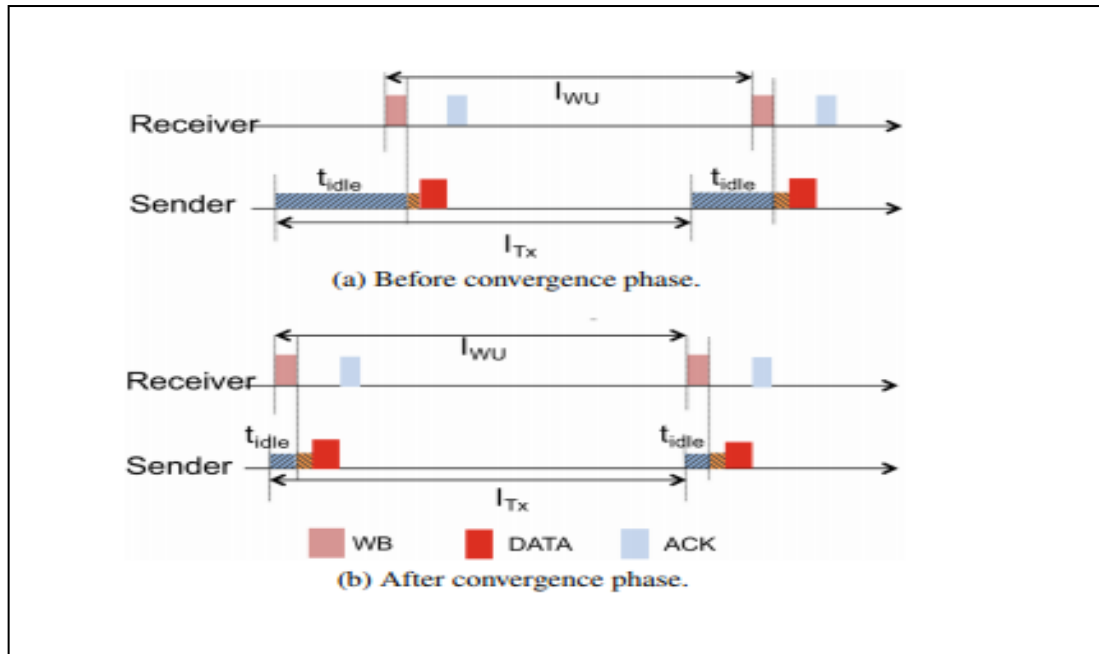
### 2.2.3.3 FTA-MAC [29]

#### ➤ Principe

Le récepteur envoie périodiquement une trame **WB** pour notifier son réveil aux autres nœuds. D'un autre côté, l'expéditeur se réveille périodiquement avec une période  $IT_x$  qui dépend de son débit. Avant envoyer les données, il attend le **WB** du récepteur. Cette période s'appelle ralenti temps d'écoute (tidle) qui est la plus grande activité de consommation d'énergie dans les Protocoles initiés par le récepteur. Une fois la **WB** reçue,

## Chapitre 02: Protocoles MAC receiver-initiated pour les réseaux de capteur sans fil

l'expéditeur envoie les données après avoir détecté le canal médium pendant un intervalle de temps appelé tCCA (Clear Channel Assessment). La session de communication se termine par un accusé de réception (ACK) du destinataire à l'expéditeur après avoir reçu avec succès La trame de données.



**Figure 2.13 :** Comportement des récepteurs et des émetteurs dans FTA-MAC avant et après la convergence [29]

### ➤ Avantages

- le récepteur est bien programmé pour se réveiller ce qui permet à l'expéditeur de réduire son écoute inactive
- diminuer la consommation d'énergie dans les nœuds émetteurs.

### ➤ Inconvénients

- le récepteur prend beaucoup de temps pour atteindre l'état stable et perd beaucoup d'énergie.
- L'estimation aveugle sans aucune information supplémentaire des nœuds d'expéditeur avant la convergence

## 2.2.4 Qualité de service

Différents types de paquets peuvent coexister dans le réseau. Selon les exigences de l'application sus jacente, ou même le protocole lui-même, chaque classe du cadre pourrait nécessiter une manipulation différente. Par exemple, les messages hautement prioritaires

## Chapitre 02: Protocoles MAC receiver-initiated pour les réseaux de capteur sans fil

pourraient être relayé avant ceux de faible priorité, les cadres pourraient être réorganisés pour minimiser les retards ou encore les messages de contrôle pourraient avoir préséance sur les messages de données le bon fonctionnement du réseau. Toutes ces techniques aimables relèvent de la définition générale de la qualité de service

### 2.2.4.1 CyMAC (Delay Bounded MAC) [30]

#### ➤ Principe

Dans CyMAC, les balises sont dédiées à tous les expéditeurs voisins. Ainsi, la période de chaque balise individuelle peut être adaptée de manière indépendante par un émetteur. Ce protocole introduit également un mécanisme dynamique d'adaptation au cycle de service qui vise à ajuster les horaires de sommeil aux conditions de trafic de données. Ainsi, lorsque le trafic est léger, les nœuds capteurs dorment plus et conservent plus d'énergie, alors que lors que le trafic est lourd, ils diffusent plus de balises pour augmenter la performance. L'algorithme d'adaptation du cycle de service fonctionne comme suit. Tous les nœuds fonctionnent à un cycle de service maximal et, tant qu'ils ne servent pas de trafic, ils augmentent exponentiellement le temps entre deux balises. L'augmentation exponentielle se poursuit jusqu'à un paquet de données arrive, ce qui déclenche le nœud pour réinitialiser la durée du cycle de service à sa valeur minimale.

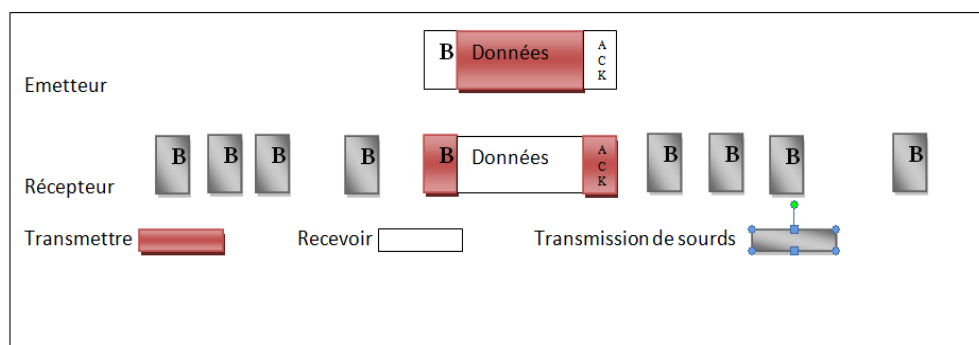


Figure 2.14 : Modèle de balisage dépendant du trafic comme indiqué dans CyMAC

#### ➤ Avantages

- Protocole simple
- Très efficace pour les trafics légers
- CyMAC assure une conservation d'énergie l'adaptation rapide au changement du trafic

## Chapitre 02: Protocoles MAC receiver-initiated pour les réseaux de capteur sans fil

### ➤ Inconvénient

-Inutile pour lorsqu'on veut échanger trop de données.

L'envoi des données sans contrôle pose le problème de collision en cas d'existence de plusieurs émetteurs réveillés en même temps

### 2.2.4.2 RP-MAC [31]

#### ➤ Principe

RP-MAC est un protocole mac initié par le récepteur, les nœuds en RP-MAC restent réveillés pour des longues durées écoutants les medium, si un récepteur est prêt pour recevoir des données il diffuse une balise, lors de la réception de la balise l'émetteur qui a des données a forte priorité envoie ses données et les autres met ces données a la file d'attente. RP-MAC a une fonction appelée Frame Reordering (FR), le système FR réduit la latence de la livraison en utilisant les informations de réveil suivantes de plusieurs récepteurs pour réorganiser le tampon de transmission de l'expéditeur.

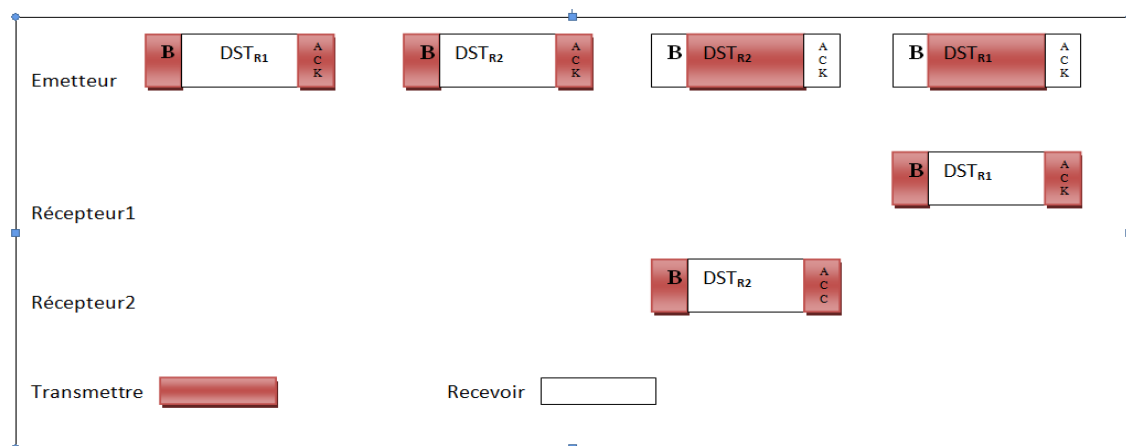


Figure 2.15 : Réorganisation du cadre dans RP-MAC [31]

#### ➤ Avantages

- Prévion de réveil ce qui implique moins consommation d'énergie

- réduire l'écoute inactive grâce à la réorganisation du cadre qui est fait selon les temps de réveil des récepteurs.

-minimiser la consommation d'énergie en réduisant le nombre d'envoi grâce au regroupement des données

#### ➤ Inconvénients

-RP-MAC reste en état de réveil pour des longues durées ce qui consomme trop d'énergie

## Chapitre 02: Protocoles MAC receiver-initiated pour les réseaux de capteur sans fil

- n'est pas efficace pour un trafic faible ou lorsque la taille des données échangés est petite.

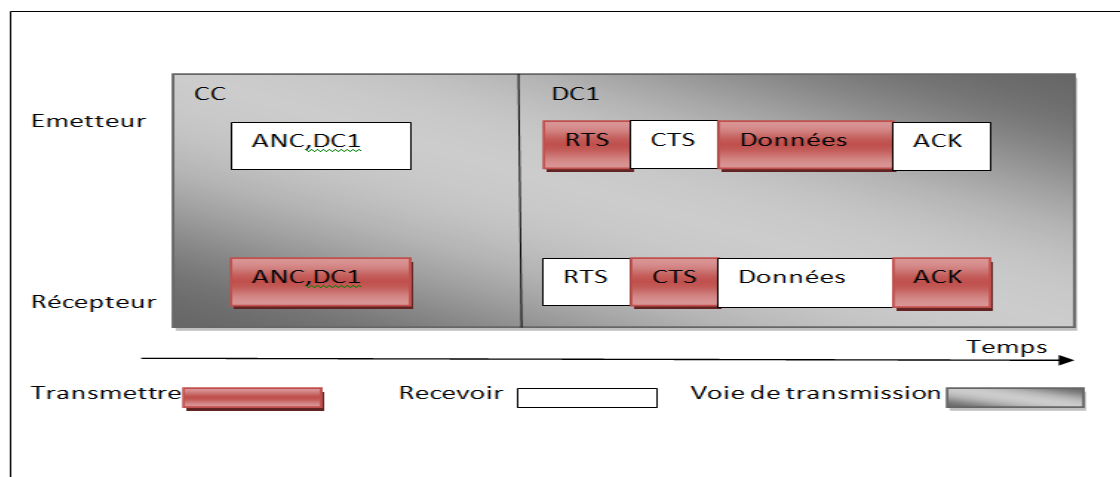
### 2.2.5 Extensions multicanaux

L'exploitation de plusieurs canaux augmente la capacité d'un lien. Par conséquent, il peut conduire à un débit plus élevé, moins de collisions et des retards plus courts dans les réseaux avec trafic relativement élevé. D'autre part, les WSN qui se chevauchent et qui utilisent le multi-canal interfèrent les uns avec les autres, car ils ne peuvent pas être réglés différents canaux orthogonaux. Les nœuds de capteurs sans fil sont généralement limités par une seule unité radio. Par conséquent, les protocoles MAC ne peuvent pas fonctionner sur plusieurs canaux simultanément pour transmettre et recevoir en parallèle. Une série de multi-canal Les protocoles MAC qui utilisent le paradigme initié par le récepteur sont ensuite étudiés.

#### 2.2.5.1 DCM-MAC [32]

##### ➤ Principe

DCM définit trois types de canaux, un seul canal de commande (CC), une série de canaux de données (DC) et un canal de diffusion unique (BC). Un expéditeur qui veut transmettre écoute activement le CC pour les balises entrantes, appelées annonces (ANC). Lorsqu'il est prêt à recevoir, le récepteur transmet un ANC sur le CC et se déplace vers le DC sélectionné aléatoirement et écoute un cadre Ready To Send (RTS). L'expéditeur après la réception de l'ANC, passe également sur le canal annoncé. La communication suit ensuite une communication RTS - CTS - DATA - ACK typique.



**Figure 2.16 :** Approche multicanal dans DCM. Un canal de contrôle (CC) un canal de données spécifique (DCx) [32]

## Chapitre 02: Protocoles MAC receiver-initiated pour les réseaux de capteur sans fil

---

### ➤ Avantages

- évitement de collision grâce au choix aléatoire du canal DC
- une latence de livraison faible

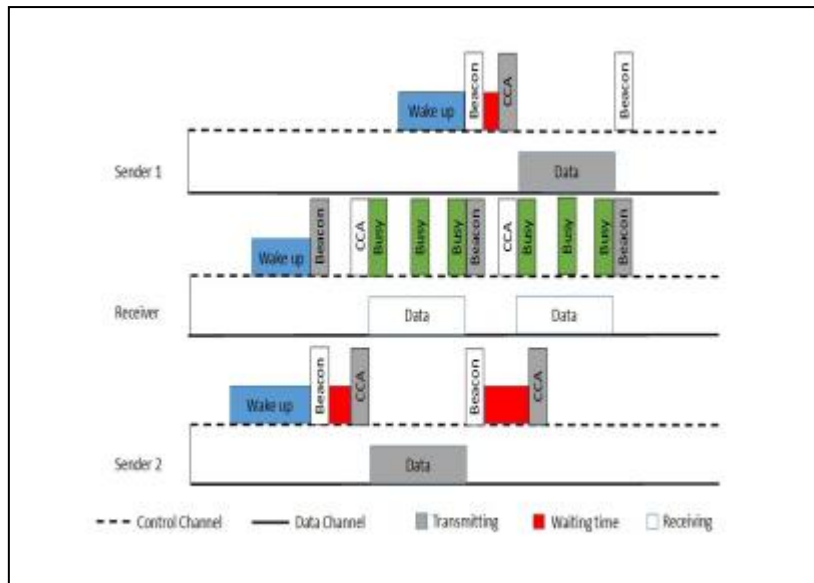
### ➤ Inconvénients

- Protocole complexé
- Temps de diffusion lente

### 2.2.5.2 DURI-MAC [33]

#### ➤ Principe

DURI-MAC se base sur deux concepts : Le premier est le double canal et la seconde est l'heure unique du CCA (Clear Channel Assessment). Le protocole DURI-MAC utilise un double canal, un pour le contrôle et l'autre est le canal de données. Le canal de contrôle effectue toutes sortes d'échanges de paquets de contrôle. D'autre part le canal de données est chargé de l'échange de paquet des données. Selon DURI-MAC, tous les nœuds se réveillent périodiquement en fonction de son propre calendrier pour vérifier s'il y a des entrants Des trames de données qui lui sont destinées. Si un nœud se réveille, diffuser une balise dans le canal de contrôle indiquant que le nœud est éveillé et prêt à recevoir le paquet de données. À la réception de la balise l'expéditeur a généré un temps CCA unique et effectue un CCA dans canal de contrôle pour déterminer si le canal est occupé ou libre. Si le canal est libre, l'expéditeur commence à envoyer son paquet de données dans le canal de données. Lorsque le récepteur commence à recevoir le paquet de données, il diffuse la balise occupée de son canal de contrôle d'éviter la collision de données



**Figure 2.17** : Schéma illustre le principe de fonctionnement du DURi-MAC [33]

### ➤ Avantages

- Eviter la collision de données grâce aux messages de contrôles échangés entre l'émetteur et le récepteur
- Réduire l'écoute inactive en effet, minimiser la consommation d'énergie

### ➤ Inconvénients

- Protocole complexé.
- Non recommandé lorsque le taux d'échange de données est faible
- Dans RP-MAC lorsque l'on ajoute un nouveau nœud, il y a toujours le risque que ce nouveau nœud adopte un autre cycle, obligeant ainsi ces voisins à se synchroniser sur ce cycle en plus de celui qu'ils suivaient déjà, dégradant ainsi leurs performances en termes de consommation d'énergie

## 2.3 Critères de choix d'un protocole

Tous les protocoles étudiés dans ce chapitre définissent les mécanismes et les caractéristiques peuvent être ajoutées au paradigme de base pour optimiser ses performances, ca devrait être noté que de telles caractéristiques peuvent être utilisées dans différentes combinaisons au-delà de la définition de chaque protocole individuel. En fonction des propriétés d'une application spécifique on peut combiner des fonctionnalités, introduites par différents protocoles afin d'optimiser la performance globale du système. Les réseaux de capteurs sont principalement caractérisés par les ressources limitées de ses



## Chapitre 02: Protocoles MAC receiver-initiated pour les réseaux de capteur sans fil

---

nœuds. Une conception de réseau holistique est essentielle pour l'utilisation efficace des ressources limitées, le protocole MAC, en tant qu'une partie fondamentale de la pile réseau, il doit être configuré en ce qui concerne la structure topologique du réseau, la source d'énergie des nœuds, les caractéristiques et les exigences de l'application en cours d'exécution.

Une décision de conception est entre les cycles de service statiques et adaptatifs, autant des fonctionnalités présentées ne sont pas compatibles avec les deux. Les cycles de service adaptatifs ne devraient être bénéfiques que dans des conditions de réseau dynamiques, sinon. Le profil énergétique des nœuds, qui est la combinaison du profil d'entrée d'énergie et de consommation d'énergie joue un rôle clé. Lorsque le profil énergétique des nœuds du système est déséquilibré, les cycles de service statiques introduiraient des goulots d'étranglement dans le réseau. Une consommation d'énergie équilibrée le profil implique une topologie statique soigneusement conçue et une génération de trafic stable, de telle sorte que les devoirs de tous les nœuds sont équilibrés. Une entrée d'énergie équilibrée le profil implique que les nœuds sont alimentés par des batteries ayant des ressources énergétiques similaires.

### 2.4 Evaluation globale des protocoles étudiés

Une énergie significative peut être sauvée en prédisant le prochain réveil en utilisant un schéma de prédiction de secours qui suppose des cycles de service statiques, comme **PW-MAC** ; **TAD-MAC** S'il n'y a pas d'autres réseaux déployés dans la même zone, de multiples canaux peuvent encore augmenter les performances, Dans le cas contraire, par ex. topologies dynamiques, applications avec trafic ou des nœuds qui sont alimentés par des sources d'énergie imprévisibles récoltées à partir de l'environnement, une approche dynamique du cycle de service est recommandée.

En outre l'utilisation des caractéristiques spécifiques du cycle de service adaptatif, le cas échéant **SA-RI-MAC** et **CyMAC**. L'écoute à vide peut être réduite soit en prédisant le prochain réveil en utilisant l'approche de **WA-MAC** en utilisant intervalle de rendez-vous ou en utilisant l'approche d'écoute cyclique comme **EE-RI-MAC**. De plus, si l'utilisation de plusieurs canaux est possible, l'approche décrite dans **DCM-MAC** et **DURI-MAC** peuvent être adoptées. Indépendamment de l'organisation du cyclisme. En cas de toute forme du mécanisme de prévision de réveil est utilisé, cette information peut être

## Chapitre 02: Protocoles MAC receiver-initiated pour les réseaux de capteur sans fil

utilisée pour optimiser le tampon de transmission en tant que fonction de réorganisation de trame de **RP-MAC**.

D'autre part, si aucun mécanisme de prévision de réveil n'est utilisé, les coopérations opportunistes proposées par **OC-MAC** réduisent l'écoute inactive. Sinon, la notion de Backoff, comme décrit dans **RI-LPP** et aussi dans **OC-MAC** peut être utilisée de telles méthodes constituent des mécanismes actifs d'évitement des collisions. Le reste des fonctionnalités fournit des services pour l'application ou les protocoles à un niveau plus élevé par conséquent, ne devrait être utilisé que si ces services sont nécessaires et le réseau est capable de gérer le surcoût supplémentaire. L'approche de **CyMAC** peut être utilisée pour la différenciation du trafic et les applications avec des exigences de priorité.

### 2.4 Classification des protocoles selon leur défi et les techniques utilisées

<b>Défi</b>	<b>Technique</b>	<b>Protocoles</b>
Écoute à vide	Prévision de réveil	<b>PW-MAC ; TAD-MAC ; WA-MAC ; RIX-MAC</b>
	cyclisme d'écoute	<b>EE-RI-MAC</b>
	Interaction entre couches	<b>OC-MAC</b>
	Adaptation de la période de balise	<b>SA-RI-MAC</b>
Évitement de collision	Le choix aléatoire	<b>OC-MAC ; ERI-MAC ; DCM-MAC ; RI-MAC</b>
	La coopération	<b>OC-MAC</b>
	Agrégation de données	<b>ERI-MAC</b>
	Adaptation de la période de balise et Réservation de créneaux horaires	<b>SA-RI-MAC ; WA-MAC</b>
	Extensions multicanaux	<b>DCM-MAC ; DURIMAC</b>
Cyclisme adaptatif	Basé sur le trafic	<b>SA-RI-MAC ; CyMAC</b>
	Basé sur l'énergie	<b>ERI-MAC</b>
Qualité de service	Réorganisation du cadre	<b>CyMAC, RP-MAC</b>

**Tableau 2.1** : Défi de chaque protocole et les différentes techniques utilisées.

### 2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques protocoles MAC receiver-initiated asynchrones dédiés aux réseaux de capteurs sans fil qui ont un objectif commun : la minimisation de consommation d'énergie et l'évitement des collisions, nous avons donné l'essentiel de chaque protocole spécifiquement ses idées de base et les différents mécanismes utilisés ainsi ses avantages et ses limites. On a constaté que leur but commun est l'amélioration des performances des RCSF. Dans le prochain chapitre nous focalisons sur la catégorie de protocoles MAC basés sur la contention, et nous proposons un protocole MAC receiver-initiated asynchrone basé sur accès aléatoire économe en énergie et nous comparant sa validité avec les protocoles RP-MAC et RIX-MAC à l'aide d'une simulation.

### 3.1 Introduction

La principale exigence pour le réseau de capteurs sans fil (WSN) protocole est d'étendre la durée de vie du réseau. D'où la durée de vie des nœuds capteurs qui sont alimentés par des batteries qui sont difficiles à être remplacés ou rechargés, la nécessité de l'efficacité énergétique dans Les protocoles MAC est dominante; Les protocoles emploient différents mécanismes afin d'améliorer l'efficacité énergétique, ces techniques sont divers entre le cyclisme de service et la prédiction de réveil...et chaque protocole développé est basé sur un autre avec certaines modifications dans le but d'améliorer le rendement en terme de différents critères.

Dans le chapitre précédent on a étudié différents protocoles MAC, et maintenant dans ce chapitre qui a un objectif qui se présente de la conception et la validation par simulation d'un protocole MAC qui soit le mieux adapté aux spécificités des RCSF doit prendre en considération les propriétés suivantes:

- L'optimisation d'énergie ;
- L'évitement des collisions ;
- Le temps d'attente (latence).

### I. Première partie

### 3.2 Description général des idées de base

Au cours des dernières années, un certain nombre de protocoles MAC ont été proposé pour RCSF, et comme mentionné dans le chapitre précédent, les protocoles MAC asynchrones étudiés sont catégorisés dans le MAC initié par le récepteur. Notre protocole proposé prend son principe de fonctionnement a partir des idées de divers protocoles tel que l'alternance entre le réveil et le sommeil de l'émetteur pendant des courtes périodes comme EERI-MAC, ainsi l'accord entre l'émetteur et le récepteur du temps du prochain réveil est similaire à celle de RIX-MAC. Pour l'évitement de collision le protocole proposé utilise des différentes techniques comme le Backoff qui est utilisé par plusieurs protocoles MAC tel que RI-MAC mais avec un paramétrage spécifique. De plus notre protocole utilise les mécanismes d'organisation et du regroupement des données comme le RP-MAC

### 3.3 Présentation général du protocole proposé

Notre protocole **ADPW-MAC** est un protocole **MAC** basé sur la contention avec cyclisme de service et prédiction de réveil, qui utilise une technique **SIFS** (Short Inter

Frame Space) qui joue le rôle d'écoute du canal par l'émetteur et un ralenti avant la transmission qui empêche les collisions. En outre, ADPW-MAC utilise une file d'attente qui lui permet de regrouper ou réorganiser des données avant les envoyées où ces deux opérations minimisent considérablement la consommation d'énergie et les collisions.

Chaque nœud du réseau a le même cycle opérationnel qui est divisé en deux états: l'état de réveil et de sommeil. L'état de réveil est un état actif pour un nœud peut recevoir ou transmettre des données avec la radio activée, et l'état de veille pour qu'un nœud enregistre son alimentation en éteignant la radio. L'état de réveil est divisé en deux périodes: le Selsched-Wakeup (réveil autoprogrammé) et Synch-wakeup (réveil synchronisé), où la période Synch-Wakeup est facultative lorsqu'un nœud souhaite transmettre des trames de données.

### 3.4 Hypothèses

- Le cycle de service d'ADPW-MAC n'est pas fixe, mais dynamique.
- La génération des événements se fait de manière aléatoire.
- Chaque nœud émetteur connaît initialement le nombre de ces voisins d'où le nombre des récepteurs qu'il va les communiquer
- Un nœud peut modifier l'heure de son réveil autoprogrammé à tout instant à partir des données sur l'état du trafic

### 3.4 Design du protocole :

Dans cette partie on va donner une description du fonctionnement de notre protocole ADPW-MAC dans différents cas. Le tableau ci-dessous regroupe les différentes abréviations utilisées dans cette section afin de faciliter la compréhension avant les expliquer en détail plus tard

<b>Abréviation</b>	<b>Signification en Anglais</b>	<b>Signification en Français</b>
<b>SIFS</b>	Short InterFrame Space	intervalle inter-trame court
<b>TCDS</b>	Time Corresponding to the Data Size	Temps correspondant à la taille des données
<b>DWT</b>	Data Waiting Time	Temps d'attente des données

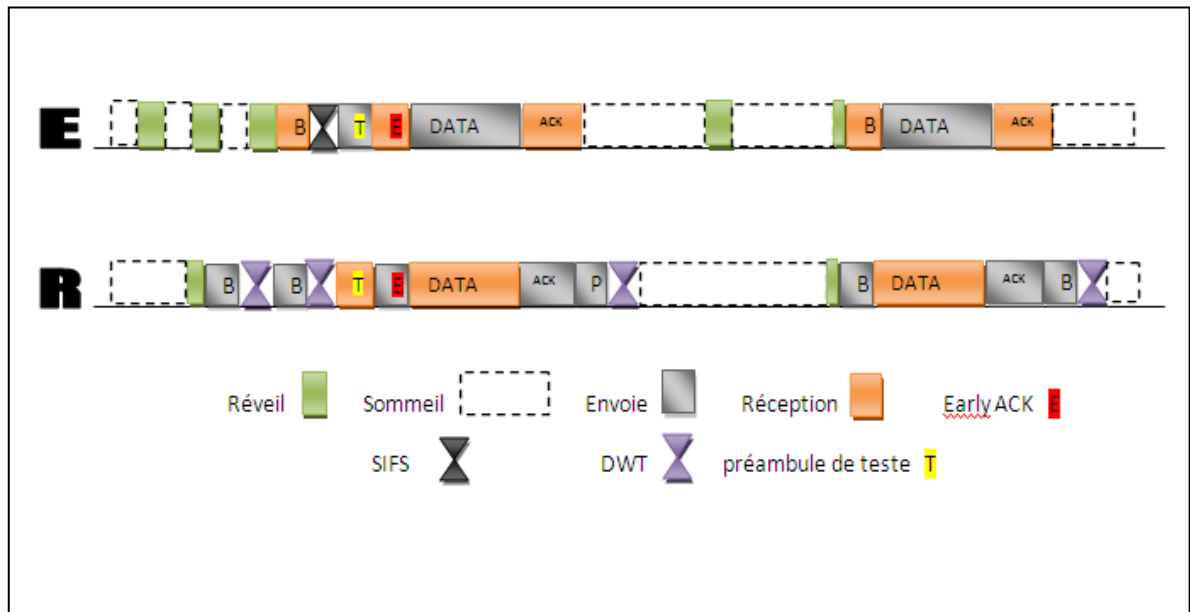
<b>B</b>	<b>Beacon</b>	Balise
<b>TP</b>	<b>Testing Preamble</b>	Préambule de teste
<b>CDT</b>	<b>Collision Detection Time</b>	Temps de détection de collision
<b>ACK</b>	<b>Acknowledgment</b>	Acquittement de réception
<b>SPST</b>	<b>Semi Programmed Sleep Time</b>	Temps de sommeil semi programmé
<b>BackOff (BO)</b>	BackOff	BackOff

**Tableau 3.1** Abréviation et signification des termes utilisés dans notre protocole.

### 3.4.1 Cas général : Emetteur-Récepteur

Les opérations de base de **ADPW-MAC** sont illustrées à la **Figure 3.1** Le nœud émetteur alterne entre le sommeil et le réveil dans un court temps pour chaque mode en attendant le réveil du récepteur, ce dernier lors de son réveil envoie un court **Beacon B** signalant son réveil suivi d'un autre **B** s'il n'y a pas de réponse pour le premier après un temps **DWT** et attend la réception des données sinon il revient en état de sommeil. Le **B** envoyé contient deux champs : **C1** contient l'**ID** d'émetteur qui a lui donné l'heure de ce réveil est l'autre champ **C2** contient la taille maximale de donnée qui est prêt à recevoir. Si un émetteur reçoit le **Beacon B**, il attend un temps **SIFS** ; Si le canal reste toujours libre il envoie immédiatement un préambule de teste **TP** et écoute le canal pendant un court temps **CDT** si le récepteur répond par **Early ACK** d'où l'absence de collision, l'émetteur alors commence à envoyer ses données et le récepteur par la suite envoie un **ACK** qui joue à la fois le rôle d'un accusé de réception et un calendrier du prochain réveil, par conséquent l'émetteur enregistre le calendrier reçu et entre en sommeil jusqu'à un réveil programmé de son propre calendrier ou un réveil synchronisé avec un récepteur. Juste après l'envoi de l'**ACK**, le récepteur diffuse un **Beacon** et attend un **DWT** S'il n'y a pas d'expéditeur, il entre en état de sommeil.

Dans le deuxième cycle de communication, l'émetteur qui a rendez vous avec le récepteur se réveille (un réveil synchronisé) simultanément avec le réveil du récepteur, cette fois l'émetteur envoie son trame de données juste après la réception du **B** sans aucun test et le reste de la communication se fait d'une façon similaire de celle du premier cycle.



**Figure 3.1** : model d'une communication en cas d'absence de concurrence au récepteur

### 3.4.2 Cas de Plusieurs Emetteurs et un seul récepteur

En cas de plusieurs émetteurs veulent communiquer le même récepteur au même instant, d'autres techniques sont également intervenu en outre de celles utilisées dans le cas émetteur-récepteur pour assurer le bon fonctionnement du protocole sans perdre d'énergie et sans collision.

On prend le scénario montré dans **la figure 3.2** où il y a trois émetteurs et un récepteur, le troisième émetteur **E3** fait son réveil synchronisé avec le récepteur **R** qu'il a effectué déjà une communication avec lui, tandis que les autres ont fait leurs réveils autoprogrammés de leur propre calendrier mais les trois veulent transmettre des données a ce récepteur .

Lors du réveil du récepteur, il diffuse un court Beacon **B**, **E3** en tant que le propriétaire du rendez-vous il a la priorité et le droit d'envoyer ses données immédiatement sans aucune attente et la communication se faite normalement et se termine par un **ACK**. Les autres émetteurs **E1** et **E2** lors de la réception du **B** écoutent le canal dans un **SIFS** ; La durée du **SIFS** est calculé en fonction de trois facteurs : la taille du donnée à envoyer, le nombre de transition de l'état de sommeil au état de réveil sans envoie de donnée et un facteur aléatoire. Après le **SIFS**, **E1** et **E2** détectent que le canal est occupé, alors ils misent leurs données à la file d'attente et reviennent à l'état de sommeil et attendant la disponibilité du récepteur.

## Chapitre 03: Contribution et Simulation

Comme on déjà montré dans la partie précédente lors de la fin d'une communication avec un émetteur, le récepteur diffuse un **B** pour notifier de son disponibilité et attende un **DWT**. Les émetteurs **E1** et **E2** reçoivent ce **B** et l'émetteur qui fait un plus court **SIFS** aura l'occasion d'envoyer ses données avant l'autre. Dans notre cas le **SIFS** fait par **E2** est inférieur de celle du **E1** d'où il va transférer un **TP**, et tant qu'il n'y a pas de collision il envoie ses données après faire son **CDT**. **E1** après son **SIFS** détecte l'occupation du récepteur et en même temps il a une autre donnée à envoyer à ce récepteur, il va par la suite concaténer les deux données et les mettre à la file d'attente et revient encore en état de sommeil. A la fin de la communication entre l'émetteur **E2** et le récepteur, **E1** reçoit le **B** du récepteur, fait un **SIFS** ensuite il envoie un **TP**, attend pour un **CDT**, en fin il envoie ses données, la communication se termine par **ACK** et le récepteur se passe en mode sommeil tant qu'il n'a pas de réponse à son dernier **B**.

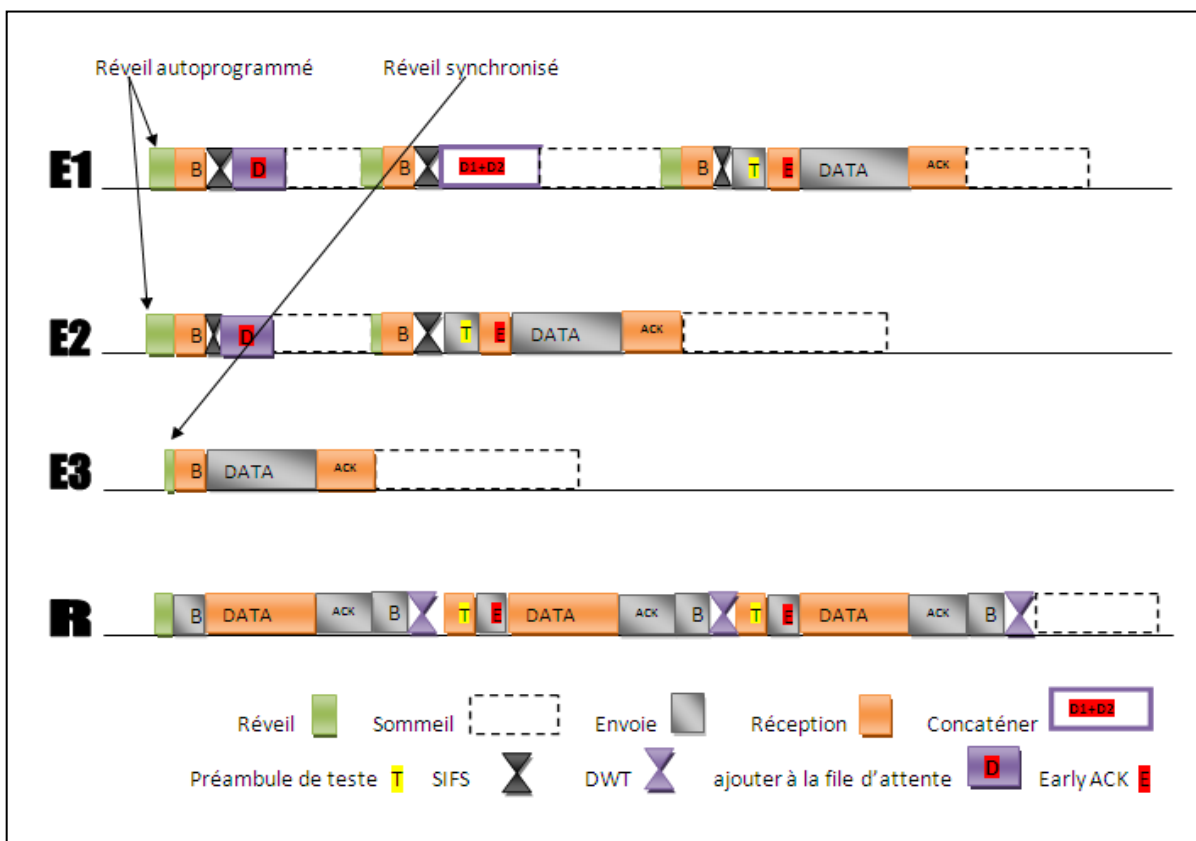


Figure 3.2 : Gestion des communications avec plusieurs émetteurs



### 3.4.3 Règlement des collisions

Le scénario ci-dessous montre une situation de collision et comment le ADPW-MAC la régler, d'après le principe général du fonctionnement du notre protocole qui donne l'avantage à un émetteur d'envoyer ses données premièrement selon la taille de cette trame de donnée et qui fait plus de tentatives d'envoi.

A un instant **T** le récepteur fait son réveil et diffuse un Beacon **B** indiquant son disponibilité pour recevoir des données ; les Emetteurs **E1** et **E2** reçoivent le **B** et tout les deux ont attend un **SIFS** avant envoyer le préambule testant de la collision, dans ce cas là, les émetteurs **E1** et **E2** ont fait un temps d'attente **SIFS** égal et par conséquent l'envoi du **TP** des deux émetteurs seras simultanément ce qui génère une collision à la réception de ce préambule. Comme on a dit les parties précédentes, un émetteur lors de l'envoi du **TP** attend un court temps **CDT**, c'est le temps où le récepteur déclare l'absence de la collision par la diffusion d'un Early ACK aux ces émetteurs

Après le **CDT**, **E1** et **E2** ne reçoivent aucune message alors les deux émetteurs détectent automatiquement l'existence de la collision d'où ils attendent un **TCDS** et l'un qui a fait plus un court **TCDS** soit le premier envoyant et l'autre passe en état de sommeil presque bien déterminé **SPST** car il connaît à peu près la taille de donnée de son concurrent d'où il connait le temps de l'envoyer et l'heure de prochaine disponibilité de ce récepteur.

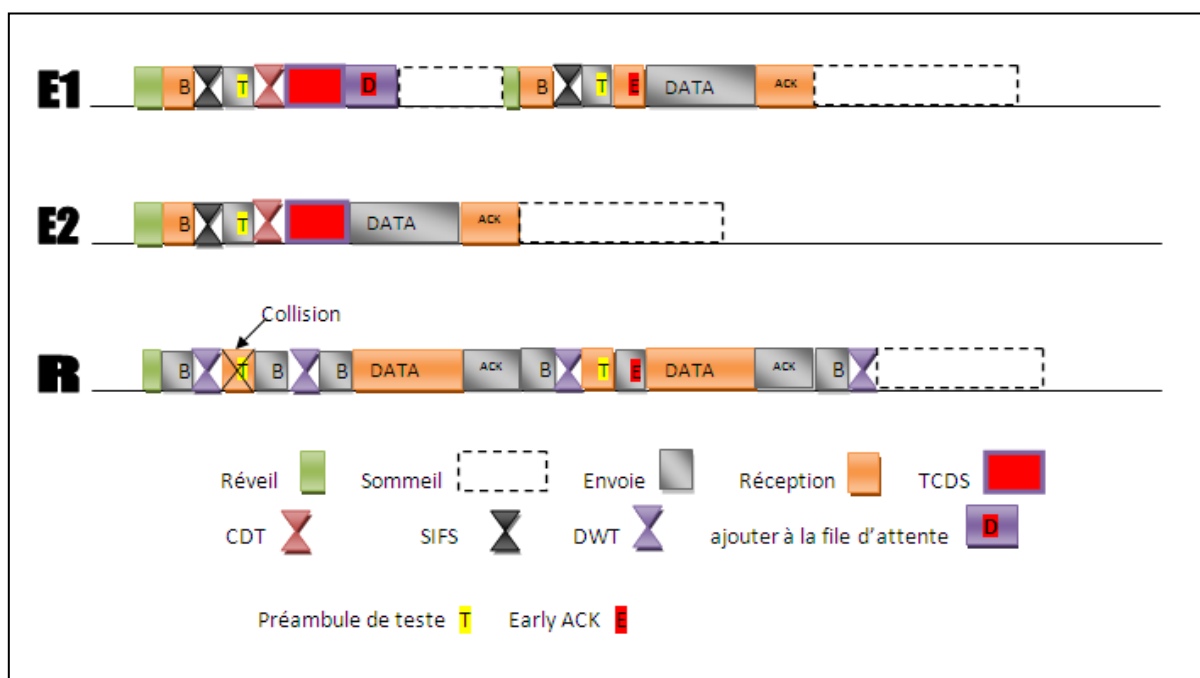


Figure 3.3: Résoudre le problème des collisions.

### 3.5 Explication détaillée des concepts du protocole ADPW-MAC

Initialement le nœud émetteur alterne entre le sommeil  $S_T$  et réveil  $W_T$  pendant des durées égaux  $\omega$  pour chaque mode où :

$W_T$ : le temps de réveil

$S_T$  : le temps de sommeil

Un émetteur  $E$  peut modifier  $W_T$  et  $S_T$  après chaque communication avec un nouveau récepteur selon le nombre des récepteurs qui a des données lui destinées et qui n'a pas effectué aucune communication avec lui, car celui qui a reçu déjà des données de  $E$ ,  $E$  enregistre son calendrier de réveil et par conséquent il va faire un réveil synchronisé qui sera simultanément à l'heure de réveil de ce récepteur tandis que le réveil autoprogrammé consacré à la détection du réveil d'un nouveau récepteur. On donne :

- $N$  : le nombre initial des récepteurs voisins d'un émetteur.
- $N_T$  : le nombre des récepteurs qu'ont effectué une communication avec un émetteur jusqu'à l'instant  $T$
- $\omega$  : durée initial de sommeil et de réveil
- $\delta$ : la variation, calculée comme suit :

$$\delta = (N_T * \omega) / N$$

D'où  $W_T$  et  $S_T$  deviennent

$$W_T = W_T - \delta$$

$$S_T = S_T + \delta$$

Un émetteur lors de chaque transition de l'état de sommeil à l'état de réveil incrémente un compteur  $C$  pour calculer le nombre de transition en réveil sans envoyer de donnée, la valeur de  $C$  est réinitialisé par 0 après l'effectuation d'une communication

**SIFS** : L'intervalle inter-trame court (short interframe space en anglais), est le temps (en microsecondes) nécessaire à une interface sans-fil pour traiter une trame et répondre avec une trame de réponse. Cet intervalle est défini par la différence de temps entre le dernier symbole d'une trame reçue, et le premier symbole envoyé en réponse sur le medium radio. Dans TX un intervalle SIFS correspond au trois facteur : TCDS (Temps correspondant à la taille des données), la valeur du  $C$  est **DAA** La durée d'attente aléatoire du backoff

➤ **TCDS** est calculé comme suit :  $TCDS = \sigma / S_{DATA}$  tel que

- $\sigma$  : un nombre entier fixe
- $S_{DATA}$  : la taille des données
- $C$  : nombre de transition sans envoi
- $DAA = 2\theta - (CW * random(0, CW) * SlotTime)$ 
  - $\theta$  : le temps d'envoyer une unité de donnée.
  - $Radom(0, CW)$  est une variable aléatoire uniforme comprise entre 0 et  $CW$ .
  - $CW$  est la taille de la fenêtre de contention,  $CW = [CWminCWmax]$

Lors de la première tentative de transmission,  $CW = CWmin$ ; et à la fois suivante (en cas de collision)  $CW$  est doublée jusqu'à ce qu'elle atteigne  $CWmax$ .

Donc  $SIFS = (C/\alpha + DAA + TCDS)/3$

- $\alpha$  : un nombre entier fixe.

De cette façon on donne une priorité d'envoi l'émetteur :

-Qui a alterné plusieurs fois entre le sommeil et le réveil et par conséquent son énergie résiduelle se diminuée.

-Qui a fait plus de tentative d'envoi.

-Qui a plus grandes quantité de données à envoyer.

**SPST**: est un temps de sommeil, différent  $S_T$  par son indépendance de nombre de récepteur, il lié beaucoup plus au **TCDS**. Un émetteur qui reçoit un Beacon **B**, s'il trouve le canal occupé lors de son **TCDS**, il peut déduire approximativement le temps d'envoi des données (c'est évident qui sont supérieurs aux ses données) d'émetteur occupant le canal, en basant sur cette information il entre en état sommet pour un temps **SPST**.

$$\text{▪ } SPST = S_{DATA} * \theta + T_{TP} + CDT + T_{ACK} + \epsilon$$

$$T_{TP} = CDT = \theta \text{ d'où}$$

$$SPST = \theta (S_{DATA} + 2) + \epsilon \text{ tel que :}$$

- $\theta$  : le temps d'envoyer une unité de donnée
- $T_{ACK}$  : le temps d'envoyer un **ACK**
- $T_{TP}$  : le temps d'envoyer un **TP**
- $\epsilon$  : un court temps de valeur aléatoire

**DWT** : ou le temps d'attente des données, c'est le temps qu'un récepteur s'attend la réception d'une trame de donnée lors de l'envoi de son Beacon **B**. **DWT** est égal à deux fois de la valeur initial du  $W_T$  et  $S_T$  ou  $\omega$

$$DWT = \frac{2\omega}{3}$$

De cette manière, nous assurons que la plus part des **B** diffusés par un récepteur aura un émetteur à recevoir. Si le premier **B** convient à l'état de sommeil de l'émetteur, le deuxième est sûrement convient à son réveil.

**Beacon B** : est une courte balise envoyée par le récepteur lors de son réveil, **B** contient deux champs : le premier champ contient l'identificateur d'émetteur qui a lui donné cette heure de réveil dès qu'une communication précédente pour l'informer qu'il est autorisé d'envoyer ses données sans aucune attente.

Le deuxième champ contient la taille maximal des données qu'il est prêt à recevoir, l'utilité de ce champ est d'empêcher les émetteurs qui ont une trame de donnée où le temps sa transmission dépasse l'heure d'un prochain rendez vous avec un autre émetteur (un émetteur qui fait son réveil synchronisé envoie ses données même si  $S_{DATA} > S_{MAX}$

**TP** : est un très court préambule envoyé par l'émetteur vers le récepteur dont son but est de tester l'existence d'autre émetteur concurrent entraîne d'envoyer ses données a cette instant, le temps d'envoi de **TP** est égal au temps d'envoi d'une seule unité de temps  $T_{TP} = \theta$

**CDT** : c'est le temps qu'un émetteur doit attendre après l'envoi du TP, s'il n'a reçue aucun réponse dans cette période c-à-dire qu'il y a une collision, s'il n'a reçue un Early ACK il commence à envoyer ses données :  $CDT = \theta$  .

**ACK**: où l'acquiescement des données, est une réponse du récepteur à l'émetteur pour l'informer que ces données envoyées sont bien reçues, dans ADPW-MAC l'ACK contient un champ pour donner à l'émetteur l'heure du prochain réveil

**Early ACK** : est un acquiescement de réception du préambule teste qui indique l'absence de collision

**La file d'attente** : Un nœud émetteur utilise la file d'attente pour différents raisons, d'abord si un émetteur reçue un **B** et il prépare son paquet de donnée pour l'envoyer, en cas où il trouve le canal après le **SIFS** c'est mieux en terme de la consommation d'énergie de mettre ses données à la file d'attente et passe en état de sommeil que rester réveillé et attendre la fin du communication d'émetteur occupant le canal avec le récepteur. Une autre utilité de la file d'attente, c'est la possibilité de concaténer les données en cas de

nouveaux données et l'organisation des données destinées vers différents récepteurs selon le récepteur qui a un réveil plus proche .

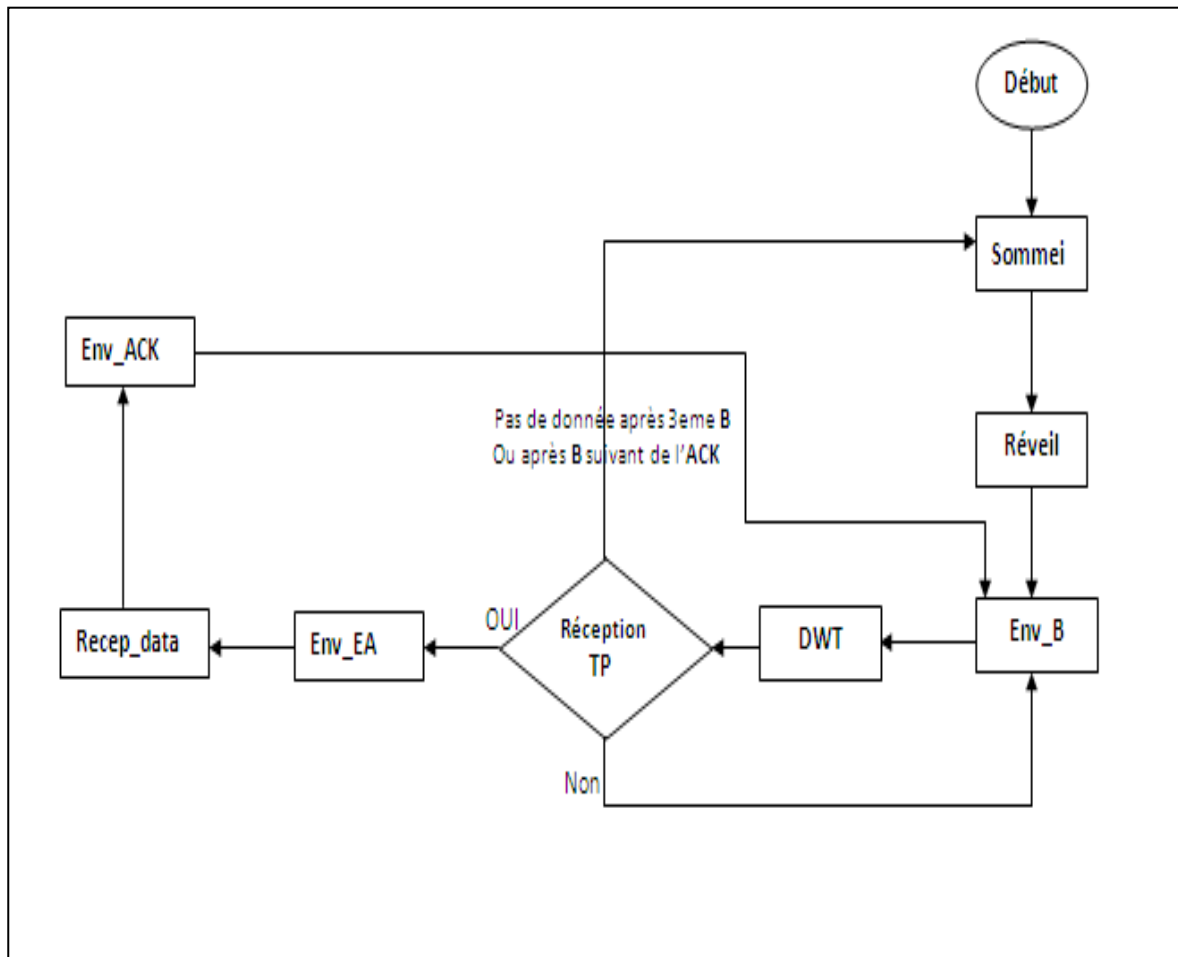
**La concaténation des données** : est une opération de regroupement des données destinées au même récepteur dont le but est de minimiser les messages de contrôle entre l'émetteur et le récepteur d'où la minimisation de la consommation d'énergie : au lieu d'envoyer deux données en deux communications indépendantes il vaut mieux de le faire en une seule communication et les données concaténées ont une seule entête donc :

$$S_{DATA1} + S_{DATA2} < S_{conc(DATA1+DATA2)}$$

Un nœud avant de regrouper deux données teste si la taille  $S_{conc(DATA1+DATA2)} > S_e$  alors il ne concatène pas ces données.

- $S_e$  : la seuil de la fil d'attente.

### 3.6 Schéma d'opération du protocole ADPW-MAC



**Figure 3.4** : Diagramme de fonctionnement du ADPW-MAC, coté récepteur

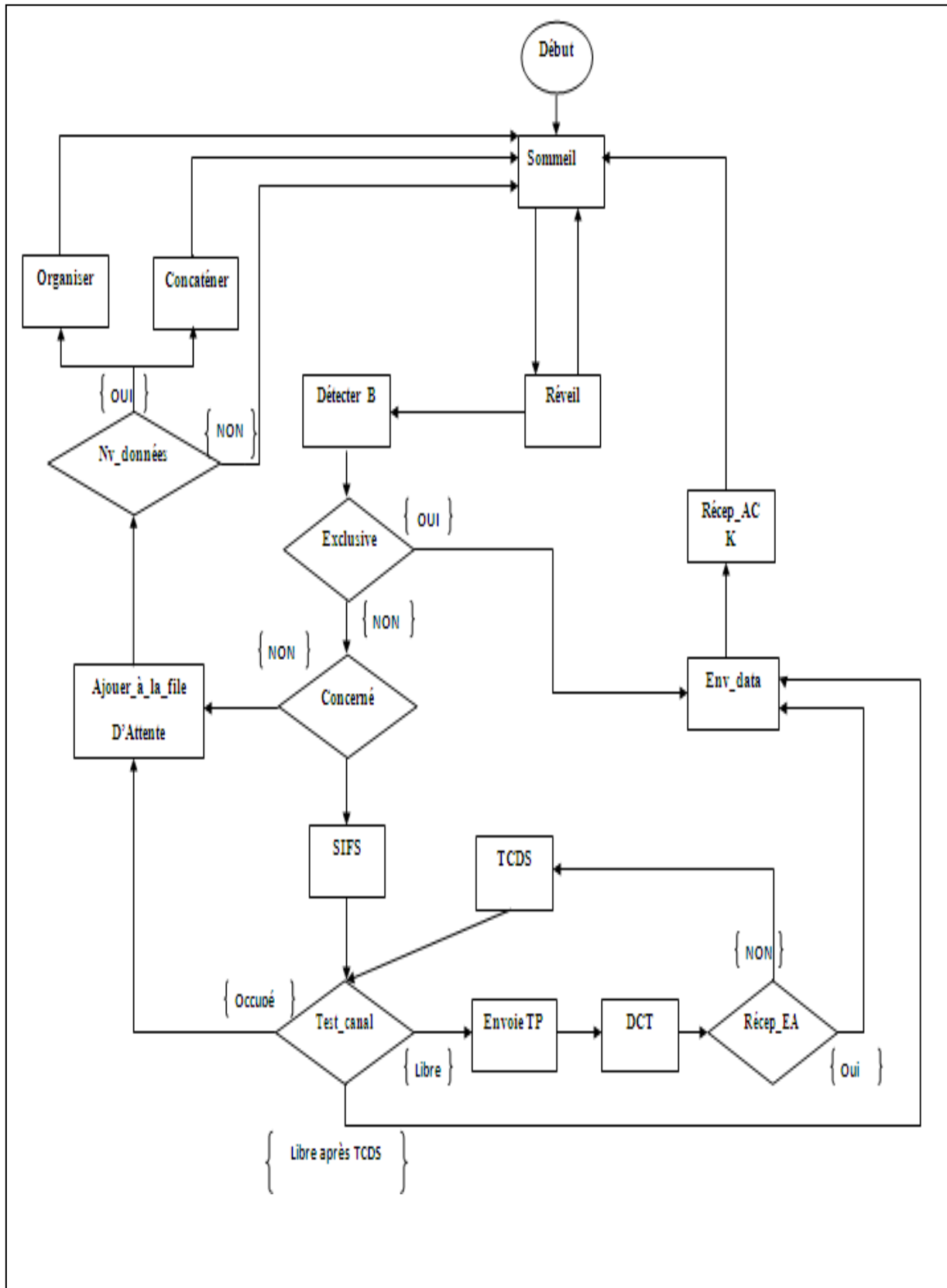


Figure 3.5 : Diagramme de fonctionnement du ADPW-MAC, coté émetteur

## 3.7 Algorithmme du protocole ADPW-MAC

```

Début
Function1() {
  Répéter
  Sommeil (N_emetteur , WT) ;etat_E =rev ;

  Reveil (N_emetteur , ST) ;etat_E=som ;
  Jusqu'à (Diffuse (N_recepteur , B)&& etat_E==rev) || (T==TRDV) }
  Si (T==TRDV) alors
    Function2 () {
      Envoie (N_emetteur , DATA) ; Recevoir (N_recepteur,DATA) ;
      Envoie (N_recepteur , ACK) ; Recevoir (N_emetteur,ACK) ;
      Function1 () ;}
    Finsi
    Si (SDATA < S_MaxDATA) alors
      Wait (N_Emetteur , SIFS) ;
      Si (etat_canal == libre) alors
        Envoie (N_Emetteur , TP) ;
        Wait (N_emetteur , DCT) ;
        Si (Envoie (N_recepteur , EA))
          Nbr_Voisin-- ; Function2 () ;
        Sinon
          Wait (N_Emetteur , TCDS)
          Si (etat_canal == libre) alors
            Nbr_Voisin-- ; Function2 () ;
          Sion
            Aj_File_Attente (N_emetteur , DATA) ;
            Function1() ;
          Finsi
        Finsi
      Sinon
        Aj_File_Attente (N_emetteur , DATA) ;
        Function1() ;
      Finsi
    Sinon
      Aj_File_Attente (N_emetteur , DATA) ; Function1() ;
    Finsi
  Finsi
Fin

```

### 3.8 Evaluation préliminaire du protocole ADPW-MAC :

Les nœuds en **ADPW-MAC** suivent un rythme d'alternance entre le réveil et le sommeil comme plusieurs autres protocoles **MAC** mais avec une touche supplémentaire dans **ADPW-MAC** c'est qu'il règle la durée de chaque phase intelligemment en basant sur plusieurs facteurs en outre de l'utilisation d'autres techniques afin d'optimiser la consommation d'énergie et minimiser les collisions qui s'apparurent dans les points suivants :

#### 3.8.1 Optimisation d'énergie

- La reprogrammation des durées de sommeil et de réveil après chaque communication avec un nouveau récepteur
- l'enregistrement de l'heure du prochain réveil de chaque récepteur lors de chaque communication
- l'estimation du temps d'occupation du canal.
- l'organisation des données destinés aux différents récepteurs dans la file d'attente selon le récepteur qui a un réveil plus proche d'où un émetteur ne perd aucun réveil synchronisé sans envoyer des données s'il a les
- la concaténation des données destinés au même récepteur peut raccourcir deux envois en une seule d'où moins de messages de contrôles
- la taille des messages de contrôle est presque négligeable car l'essentiel est l'envoi du message lui-même pas son contenu du message

#### 3.8.2 Minimisations des collisions

- Aucun nœud ne peut envoyer ses données simultanément avec le nœud propriétaire du RDV et chaque RDV concerné un seul pair d'émetteur et récepteur.
- s'il n'y a pas de RDV la priorité est à l'émetteur qui fait un plus court temps pour le SIFS
- S'il y a deux émetteurs ont le temps SIFS, la collision ne se fait pas à l'envoi des données mais elle se fait au niveau d'un petit préambule TP et le BackOff régler le problème pour un envoi sain de donnée et sans collision.



### II. Deuxième partie

Cette partie est consacrée à la simulation et l'évaluation des performances de notre contribution et ainsi sa validation. Nous présenterons dans ce qui suit l'environnement de simulation choisi ainsi que les paramètres qui sont pris pour évaluer et comparer les performances de ADPW-MAC avec celles de RI-MAC

#### 3.9 Environnement de développement

En même temps, il faut impérativement tenir compte des principales contraintes et besoins propres à l'application envisagée.

Avec l'évolution des réseaux de capteurs sans fil et leurs applications, toute une panoplie de simulateurs a été développée pour tester leurs performances avant de les mettre en service dans un environnement réel. Parmi ces derniers nous pouvons citer : Network Simulator (NS2), OMNet++, GlomoSim et JSim. Pour simuler nos protocoles, nous avons tentés d'utiliser l'un des simulateurs les plus populaires et répondus dans le domaine de la simulation des réseaux de capteurs sans fil, à savoir NS2. Malheureusement nous n'avons pas pu l'utiliser ni d'autres simulateurs vu leurs complexités et le temps énorme que nécessite leurs apprentissage et leurs maîtrise. Par conséquent, nous nous sommes tourné vers une solution qui consiste à utiliser un langage de programmation qui fourni et offre la possibilité d'utiliser le même concept ou un concept proche de celui utilisé par ce genre de simulateurs (l'orienté objet dans la majorité des solutions).

#### 2.10 Présentation du simulateur NS2 :

Notre choix s'est porté sur le simulateur du réseau NS2 et ceci pour les raisons suivantes:

- NS2 est un outil de recherche très utile pour le design et la compréhension des protocoles. Il sert aussi bien dans l'étude des protocoles de routage qu'à l'étude des réseaux mobiles ou les communications par satellites. Il permet à l'utilisateur de définir un réseau et de simuler les communications entre les nœuds.
- Son modèle libre permet l'ajout rapide de modèles correspondant à des technologies émergentes. Ceci le rend le meilleur simulateur par évènements discrets d'après les spécialistes de télécommunications.

NS2 est aujourd'hui le simulateur de réseau probablement le plus utilisé par la communauté scientifique des réseaux. NS2 est un outil logiciel de simulation des réseaux

informatiques. Il permet la simulation d'un grand nombre de réseaux locaux et/ou étendus, filaires ou sans fil. C'est un moyen de modélisation qui est à la portée de tous le monde (open source). Le logiciel est exécutable sous Linux et Windows. Le simulateur utilise le langage orienté objet TCL pour la description des conditions de simulation sous forme d'un script. Dans le script l'utilisateur fournit la topologie du réseau, les caractéristiques des liens physiques, les protocoles utilisés, le type de trafic généré par les sources, les événements, etc. NS2 est en réalité un programme relativement complexe écrit en C++ et interfacé via TCL. Pour modifier le comportement d'objets existants, il est donc nécessaire de modifier le code C++ qui en réalise l'implémentation.

### ➤ **Fichier trace**

Le fichier trace est un fichier qui retrace tous les évènements qui sont produits pendant la simulation à savoir émission, réception, énergies des nœuds, temps simulé auquel chaque évènement est arrivé.

### ➤ **Modèle de réseau**

Sous NS Un modèle de réseau sous NS est constitué:

- Nœuds du réseau: présente les différentes machines du réseau, qui peuvent être des postes fixes, des routeurs, des nœuds mobiles, etc.
- Liens: représentent les connexions entre les nœuds. Ils modélisent le système de transmission. On peut régler le type de lien d'être filaire ou sans fil.
- Agents : rattachés à des nœuds ils définissent les producteurs et les consommateurs de paquets IP comme par exemple : TCP, UDP
- Applications : rattachées à un agent producteur, elles permettent de générer du trafic comme par exemple: CBR.
- Les paramètres d'énergie : ils permettent de donner l'énergie initiale des nœuds et de définir les énergies d'émission, de réception, d'écoute et de sommeil.

### **3.11 Etapes de réalisation de l'algorithme proposé**

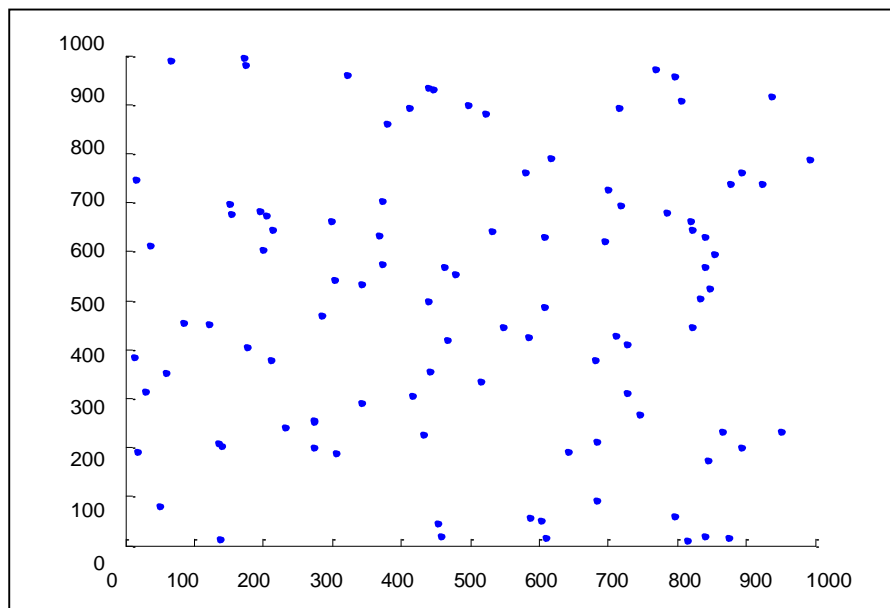
L'implémentation de notre protocole passe par plusieurs étapes à savoir :

- Le modèle du réseau

Dans notre modèle de réseau on a :

-**Une station de base** : Responsable de la collecte de données issues des différents nœuds de réseau. Elle Doit être active et illimitée d'énergie

- **Les nœuds de capteurs** : qui sont densément répartis de façon aléatoire dans une zone quelconque chacun avec un certain nombre de voisins.
- Les nœuds de capteurs alternent entre mode sommeil et actif. Durant la période d'activité le nœud peut détecter l'activité du canal pour détecter éventuelles transmissions, ou bien envoyer des données.



**Figure 3.6** : Topologie du réseau

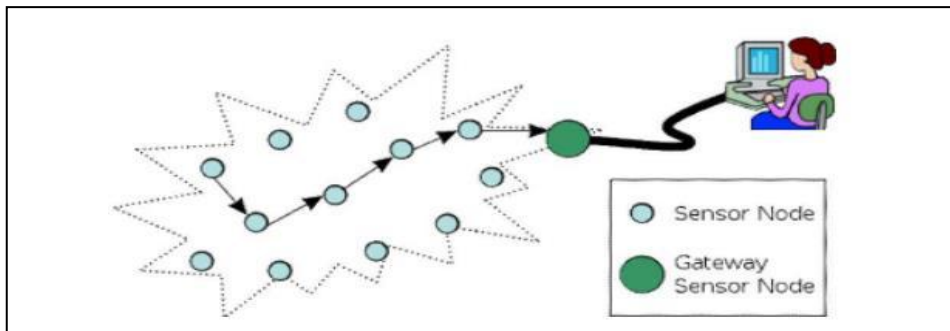
-**Le flux de trafic de données** est événementiel : les capteurs envoient des paquets aux destinations lorsqu'ils détectent un événement. Quand un événement survient ; le nœud encapsule et transmet les données vers le nœud de destination ou le nœud sink par le chemin multi-sauts. Nous supposons que le réseau de capteurs sans fil est connecté.

- Dans notre réseau chaque nœud a un **ID** unique (numéro d'identification) sur la base de sa position.

- Supposant qu'avec certain protocole de routage, il existe un ou plusieurs chemins entre les expéditeurs et de récepteurs, de sorte que chaque nœud comporte au moins un chemin multi-sauts vers le nœud de destination lorsqu'un événement se produit, ce qui réduit la latence de l'établissement

### ➤ **La découverte de voisins et chemins**

Dans notre modèle, chaque nœud a un voisin au minimum, et chaque nœud voulant transmettre des données diffuse le paquet de données à ses voisins avec un nœud précis concerné par l'acheminement. Ensuite ce dernier l'achemine par la route vers la station de base.



**Figure.3.7** : Schéma d'acheminement de paquet

### 3.11 Principe de CSMA/CA

CSMA/CA de la norme IEEE 802.11 CSMA/CA est une méthode d'accès de la même famille que CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) [19] puisqu'elle impose à un émetteur de s'assurer que le canal est libre avant d'émettre. Dans CSMA/CA, les collisions ne peuvent pas être détectées comme dans le CSMA/CD, un nœud essaie d'éviter les collisions (sans vraiment les éviter à 100 %). Ceci à cause de l'effet d'aveuglement du médium sans fil (Near Far Effect) qui empêche une entité de recevoir quand elle est en train d'émettre.

### 3.12 Paramètres d'évaluation du système

La quantité des protocoles MAC proposés dans la littérature impose l'utilisation des métriques communes pour l'évaluation de leurs performances et leurs comparaisons.

Les principales métriques à prendre en considération sont :

#### 3.12.1 Consommation énergétique

Elle se présente souvent en joules/bits et se calcule comme étant le ratio entre l'énergie totale consommée sur le nombre total de bits de données transmis. Plus cette valeur sera petite plus le protocole sera efficace

#### 3.12.2 Délai de bout-en-bout

Le délai de bout-en-bout (E2ED) ou la latence, c'est le temps pris par un paquet de données depuis son émission jusqu'à sa réception finale, il comporte aussi les temps d'attente et de traitement dus à la chaîne de transmission. La latence est souvent liée aux besoins applicatifs.

$$\mathbf{E2ED = Temps d'arrivée - Temps de départ (s)}$$

### 3.12.3 Taux de délivrance des paquets (PDR packet delivery ratio)

Le taux de délivrance est défini comme le rapport entre le nombre de paquets reçus par la destination finale divisé par le nombre total de paquets envoyés.

Chaque valeur de PDR est calculée chaque 10 secondes.

### 3.13 Paramètres de simulation

Les paramètres	Les valeurs
Le temps de simulation	<b>200s</b>
La bande passante	<b>38,400bps</b>
L'énergie initiale	<b>1000j</b>
La longueur des données	<b>[100 octet -1000 octet]</b>
L'énergie consommée en mode actif e	<b>0.020 w</b>
L'énergie de transmission	<b>0.090 w/100 octet</b>
L'énergie d'écoute	<b>0.075 w</b>
L'énergie consommée en mode sommeil	<b>0.003 w</b>
le transfert entre le mode sommeil et actif	<b>0.005s</b>
$W_T$ et $S_T$ initial	<b>0.6s</b>
[min, max]( $W_T$ , $S_T$ )	<b>[0.08s, 1.25s]</b>
Le temps d'attente des données Dwt	<b>0.4s</b>
Temps requis pour transmettre ACK	<b>10.05 ms</b>
Temps requis pour transmettre TP	<b>3.07 ms</b>
Temps requis pour transmettre EA	<b>3.07 ms</b>
Nombre total de nœuds	<b>40</b>
Distance entre les nœuds	<b>18 m</b>

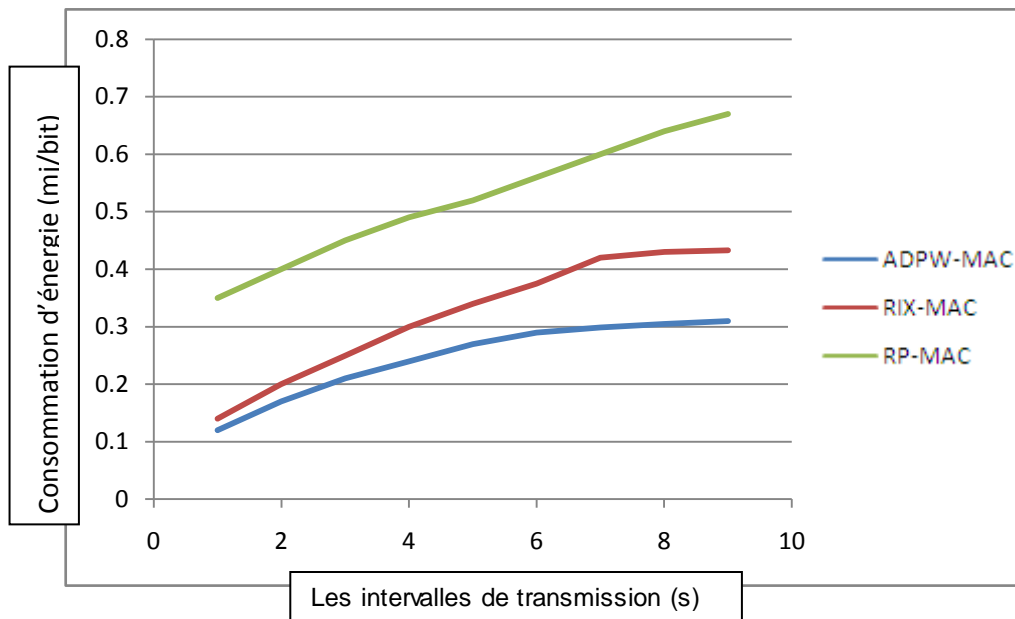
**Tableau 3.2** Paramètres de simulation

### 3.14 Etude des résultats de simulation

#### 3.14.1 Comparaison de l'énergie consommée

Les graphes suivants représentent l'énergie moyenne consommée par les nœuds capteurs durant la simulation dans les trois protocoles RIX-MAC, RP-MAC et ADPW-MAC. On remarque que l'énergie consommée dans RP-MAC s'augmente linéairement avec le temps à cause des longues durées qui les prend en réveil et les opérations complexe qu'il fait au début et qui consomme beaucoup d'énergie où les nœuds tentent de prendre des images sur toute les voisins, alors que l'énergie consommée par les protocoles RIX-

MAC et ADPW-MAC s'augmente au fur et à mesure avec le temps avant de se converger vers la stabilisation.



**Figure 3.8 :** consommation d'énergie par les nœuds

On remarque aussi que l'efficacité énergétique de ADPW-MAC est mieux que celle de RIX-Mac, ceci est à cause de la touche supplémentaire du ADPW-MAC par rapport au RIX-MAC: c'est la modification des durées de sommeils et de réveils lors d'une nouvelle communication tant que RIX-MAC ne le fait pas ainsi le regroupement des données où le ADPW-MAC envoie plus grande quantité de donnée avec moins de messages de contrôles d'où moins consommation d'énergie.

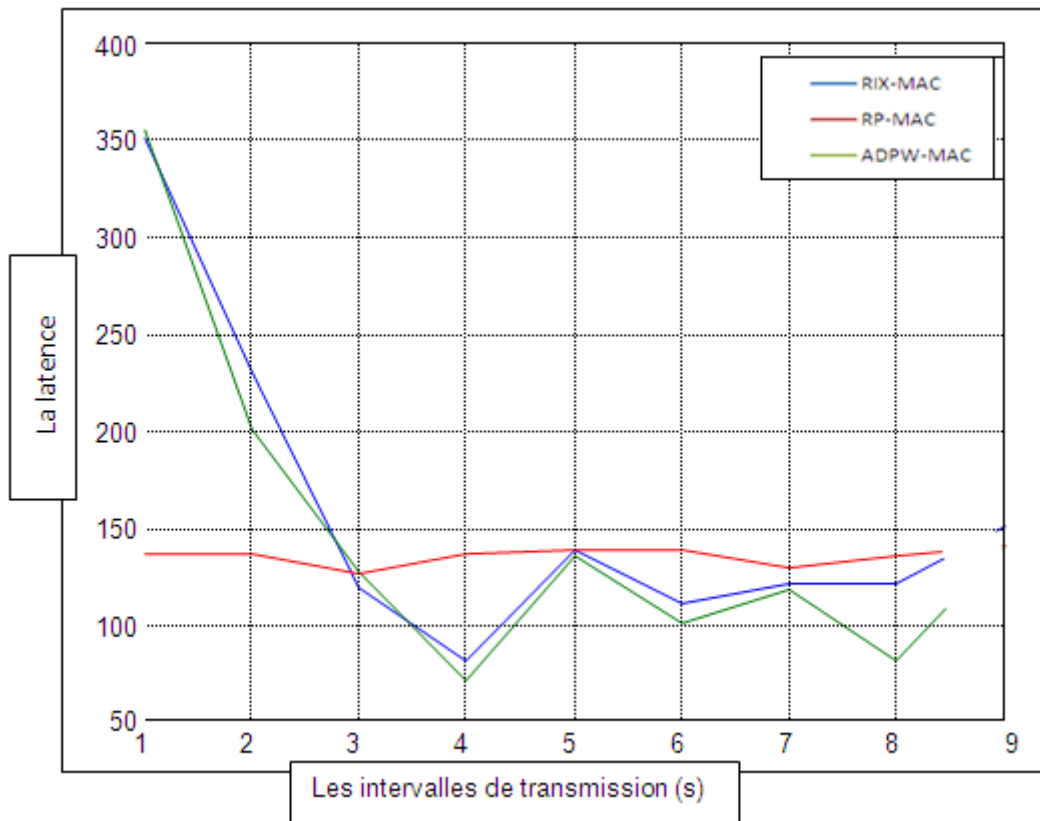
### 3.14.2. Comparaison de la latence de bout-en-bout

La Figure suivante illustre la latence de transmission depuis le moment où l'évènement se produit jusqu'au moment de sa réception par la station de base. On remarque qu'au début c.-à-dire. dans les premiers cycles la latence de transmission est relativement importante car les nœuds suivent leurs propres cycles de sommeil- réveil, mais avec le temps elles se réduisent considérablement ; contrairement au protocole RP-MAC qui est relativement constante et progresse avec le temps de façon linéaire .

Puisque les nœuds en RP-MAC font de longues durées de réveils d'où émetteurs détectent presque toute disponibilité des récepteurs donc son travail est presque comme les protocoles asynchrones ou les nœuds connaissent les cycles de réveil-sommeil de leurs voisins, et la latence de transmission est inférieure à

un protocole MAC asynchrone au début de la communication.

Dans les deux cas (consommation d'énergie et latence) on a constaté que le chemin de routage (le nombre de sauts) a un effet sur la latence et la durée d'arrivée de paquets de données.

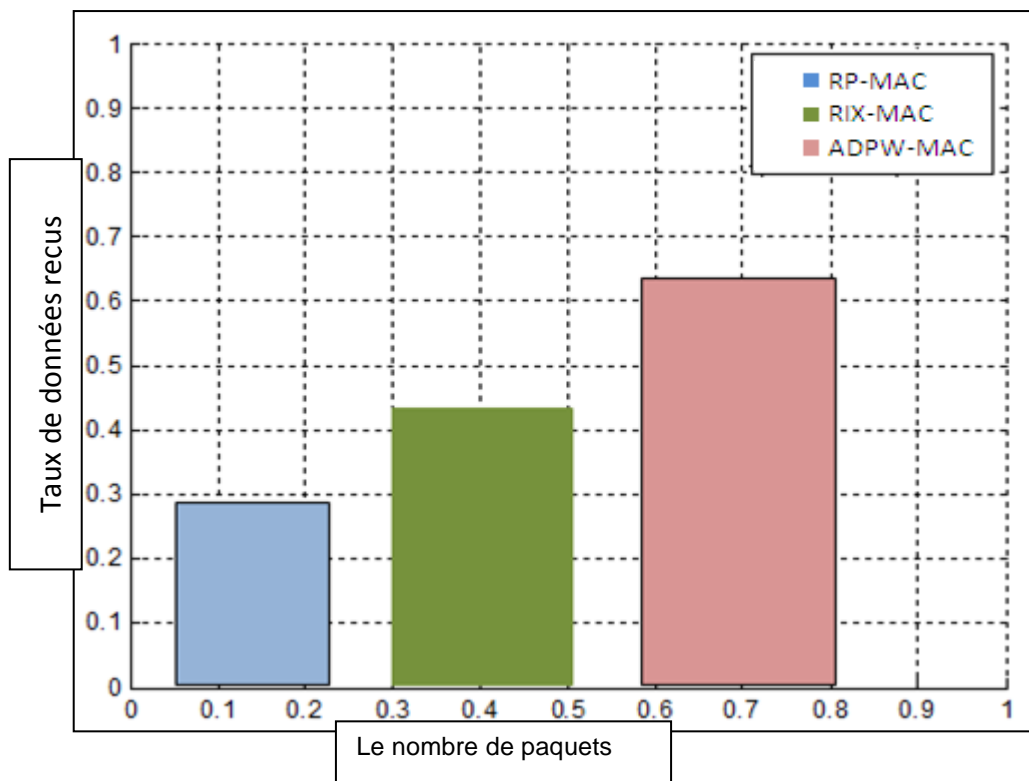


**Figure.3.9** la latence de bout-en-bout

### 3.14.3. Comparaison du taux de paquets délivrés

La figure suivante montre le taux de paquets délivrés des différents protocoles ; on remarque que le taux de paquet délivré de ADPW-MAC est plus grand que celui des autres protocoles. Et le taux de RIX-MAC est légèrement plus grand de celui de RP-MAC

On déduit que le taux est affecté par la latence. Plus la latence est réduite plus le nombre de paquets reçus est grand. Et la probabilité de débordement des paquets de files d'attente est réduite, puisque le temps de latence d'attente est réduit, finalement, réduisant la perte de paquets de données.



**Figure.3.10**Taux de paquets délivrés

### 3.15. Conclusion

Ce chapitre a constitué le cœur de notre travail. Car il est consacré à notre contribution dans ce projet. Après avoir étudié les différents mécanismes d'accès au médium par les protocoles basés sur la contention. Une catégorie des protocoles initiés par le récepteur a attiré nos attentions pour proposer un protocole asynchrone nommé ADPW-MAC. Notre objectif était la minimisation d'énergie du radio et la latence de bout-en-bout causés par les alternances entre mode-sommeil et actif et ainsi le résoudre du problème des collisions.



## Conclusion générale et perspectives

Dans ce mémoire, nous avons étudié un certain nombre de protocoles MAC et particulièrement ceux qui sont initiés par le récepteur de la classe des protocoles basés sur la contention en les classant selon leurs différentes propriétés. Ces protocoles se différencient par leurs techniques et mécanismes déployés mais le but reste unique : une meilleure performance du réseau, on a constaté qu'une technique spécifique pourrait être très bonne dans un scénario et désastreuse dans le prochain. Le principal but de ce travail est de collecter d'informations suffisamment sur les protocoles receiver-initiated de sorte qu'on peut baser sur des idées de certains protocoles et les combinés afin de réaliser un nouveau protocole.

Dans notre proposition on a donné un algorithme MAC receiver-initiated asynchrone de la classe de protocoles basés sur la contention qui est basé sur l'accès aléatoire au médium en CSMA/CA. Dans ce protocole chaque nœud capteur suit son propre ordonnancement qui est généré de façon aléatoire. Ce protocole utilise le mécanisme de *Duty cycle* afin de minimiser l'alternance entre mode actif/sommeil qui consomme de l'énergie, ainsi on ajoute d'un mécanisme d'évitement de collision qui se fonctionne d'une manière où il donne un avantage à quelques nœuds selon des facteurs déterminés avec la conservation de l'aspect d'accès aléatoire au médium qui distingue les protocoles basés sur la contention.

Après une étude comparative entre ADPW-MAC, RIX-MAC et RP-MAC, les résultats de simulation ont montré une meilleure gestion d'énergie pour ADPW-MAC c'est-à-dire une maximisation de la durée de vie du réseau par rapport aux autres protocoles RIX-MAC et RP-MAC.

Enfin, comme perspectives nous proposons de faire une extension du protocole dans un réseau sans fil où il y a plus de contraintes tels que d'ajouter des messages de coordination entre les émetteurs et choisir le coopérant selon des critères convenables par exemple celui qui a une énergie résiduelle plus élevée doit être le coopérant, ainsi l'amélioration du mécanisme de prédiction qui soit le plus convenable avec le modèle de notre protocole et la combinaison entre plusieurs protocoles de différentes catégories, et cela dépend du besoin.



# Bibliographie

- [1] Boubiche.Djallel Eddine, “ Une approche Inter-Couches (cross-layer) pour la Sécurité dans les R.C.S.F ”, thèse de doctorat en Sciences en Informatique, Université de Batna Faculté des Sciences, 2013.
- [2] H. Namgoog, D. Lee, and D. Nam."Energy efficient topology for wireless microsensor networks".ACM, PE-WASUN ,October 2005.
- [3] Yacine CHALLAL ,Hatem BETTAHAR ,Abdelmadjid BOUABDALLAH “Les Réseaux de capteurs (WSN: Wireless Sensor Networks) ” cours, Université de Technologie de Compiègne, France 2001
- [4] Moad. Sofiane, “Optimisation de la consommation d’énergie dans les réseaux de capteurs sans fil”, rapport de stage, Université : IFSIC-Rennes 1, Laboratoire de recherche : DYONISOS-IRISA, 2008.
- [5] H. Gong, M. Liu, L. Yu and X.Wang.An event driven tdma protocol for wireless sensor networks. In International Conference on Communications and Mobile Computing, pages 62-69, Kunming, Yunnan, Chine, 2009.
- [6] J. Li and G. Y. Lazarou. A bit-map-assisted energy-efficient mac scheme for wireless sensor networks. In proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Symposium on Information Processing in sensor Networks, pages 55-60, Berkeley, CA, USA,2004.
- [7] H. Gong, M. Liu, L. Yu and X.Wang.An event driven tdma protocol for wireless sensor networks. In International Conference on Communications and Mobile Computing, pages 132-136, Kunming, Yunnan, Chine, 2009.
- [8] V. Rajendran, K. Obraczka, and J. J. Garcia-Luna-Aceves.Energy-efficient, collision-free medium access control for wireless sensor networks. In Proceedings of 1<sup>st</sup>ACM Conference on Embedded networked Sensor Systems, pages 181-192, Los Angeles, CA, USA, 2003.
- [9] D. Wu, G. Wang, and X. Li. Distributed tdma scheduling protocol based on conflict-free for wireless sensor networks. In International Conference on Intelligent Computing and Integrated Systems (ICICS), pages 876-879, Guilin, China, 2010.

- [10] Fayez. Alfayez, Mohammad. Hammoudeh, Abdelrahman. Abuarqoub, "A survey on MAC protocols for duty-cycled wireless sensor networks". In The International Conference on Advanced Wireless, Information, and Communication Technologies (AWICT 2015), Procedia Computer Science 73 ( 2015 ) 482 – 489.
- [11] M. I. Brownfield. Energy-efficient Wireless sensor network MAC Protocol. PhD thesis, faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, 2006.
- [12] Y. Liua and M. Lionel. A new mac protocol design for long-term applications in wireless sensor networks. In 13<sup>th</sup> International Conference on Parallel and Distributed Systems, 2007.
- [13] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin. An energy-efficient protocol for wireless sensor networks. In IEEE International Conference on Computer Communications (INFCOM), pages 1567-1576, New York, USA, 2002.
- [14] Anouar. DARIF, "Contributions à l'amélioration des performances des Réseaux de Capteurs sans fil à base d'IR-UWB", UNIVERSITÉ MOHAMMED V, FACULTÉ DES SCIENCES, Rabat, 2015.
- [15] Fei Tong; Wan Tang; Rong Xie; Lei Shu; Young-Chon Kim, "P-MAC : A Cross-Layer Duty Cycle MAC Protocol Towards Pipelining for Wireless Sensor Networks," Communications (ICC), 2011 IEEE International Conference on , vol., no., pp.1,5, 5-9 June 2011.
- [16] S. Ziane and A. Mellouk. "A swarm intelligent scheme for routing in mobile ad networks". Systems Communications, IEEE, Aug 2005.
- [17] Beaudaux, J., et al., "Thorough Empirical Analysis of X-MAC over a Large Scale Internet of Things Testbed". Sensors Journal, IEEE, 2013. PP(99): p. 1-1.
- [18] Vigneshwar, G. and T. Senthil. Life time maximization analysis with application to LL MAC & RI-MAC protocol in wireless sensor networks. in Information & Communication Technologies (ICT), 2013 IEEE Conference on. 2013.
- [19] Fayez. Alfayez, Mohammad. Hammoudeh, Abdelrahman. Abuarqoub, "A survey on MAC protocols for duty-cycled wireless sensor networks". In The International Conference on Advanced Wireless, Information, and Communication Technologies (AWICT 2015), Procedia Computer Science 73 ( 2015 ) .

- [20] **Y. Sun, O. Gurewitz, D. B. Johnson**, RI-MAC: A Receiver-Initiated Asynchronous Duty Cycle MAC Protocol for Dynamic Traffic Loads in Wireless Sensor Networks, in: Proc. 6th ACM Int. Conf. on Embedded Networked Sensor Syst. (SenSys), ACM, 2008, pp.1–14.
- [21] **X. Wang, Q. Zhang**, Opportunistic Cooperation in Low Duty Cycle Wireless Sensor Networks, in: Proc. IEEE Int. Conf. on Commun. (ICC), IEEE, 2010, pp. 1–5
- [22] **Y.-T. Yong, C.-O. Chow, J. Kanesan, H. Ishii**, EE-RI-MAC: An energy efficient receiver-initiated asynchronous duty cycle MAC protocol for dynamic traffic loads in wireless sensor networks, International Journal of Physical Sciences 6 (2011) 2633–2643.
- [23] **L. Tang, Y. Sun, O. Gurewitz, D. B. Johnson**, PW-MAC: An Energy Efficient Predictive-Wakeup MAC Protocol for Wireless Sensor Networks, in: Proc. 30th Ann. Joint Conf. IEEE Comput. and Commun. Soc. (INFOCOM), IEEE, 2011, pp. 1305–1313.
- [24] **M. Buettner, Y. Gary, V., E. Anderson, and R. Han**. RIX-MAC: A short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks. In Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems, pages 307–320. 2015
- [25] Jie Tiana , Yi Wang b , Xiaoyuan Lianga , Guiling Wanga , Yujun Zhang b. WA-MAC: A weather adaptive MAC protocol in survivability-heterogeneous wireless sensor networks, Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, PR China .2017
- [26] Muhammad Mahtab Alam, Olivier Berder, Daniel Menard, Olivier Sentieys . TAD-MAC: Traffic-Aware Dynamic MAC Protocol for Wireless Body Area Sensor Networks, IRISA, University of Rennes, 2014
- [27] **D. Yang, Y. Qiu, S. Li, Z. Li**, RW-MAC: An asynchronous receiver-initiated ultra low power MAC protocol for Wireless Sensor Networks, in: Proc. IET Int. Conf. on Wireless Sensor Network (IET-WSN), IET, 2010, pp. 393–398.
- [28] **K. Nguyen, V. Nguyen, D. Le, Y. Ji, D. A. Duong, and S. Yamada**. A receiver-initiated mac protocol for energy harvesting sensor networks. In Ubiquitous Information Technologies and Applications, pages 603–610. Springer, 2014.
- [29] **X. Fafoutis, N. Dragoni**, FTA: Fast Traffic Adaptive - Wireless Sensor Networks,

- in: Proc. 8th ACM Symp. On Performance Evaluation of Wireless Ad-Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks (PE-WASUN), ACM, 2011, pp. 49–56.
- [30] **Y. Peng, Z. Li, D. Qiao, W. Zhang**, Delay-Bounded MAC with Minimal Idle Listening for Sensor Networks, in: Proc. 30th Ann. Joint Conf. IEEE Comput. and Commun. Soc. (INFOCOM), IEEE, 2011, pp. 1314–1322.
- [31] **Q. Hu, Q. Tian, Z. Tang**, RP-MAC: A Passive MAC Protocol with Frame Reordering for Wireless Sensor Networks, *Int. J. of Wireless Inform. Networks* 20 (2013) 74–80.
- [32] **J. Li, D. Zhang, L. Guo, S. Ji, Y. Li**, an Asynchronous Receiver-initiated Multichannel MAC Protocol with Duty Cycling for WSNs, in: Proc. 29th IEEE Int. Performance Computing and Commun. Conf. (IPCCC), IEEE, 2010, pp. 114–121.
- [33] **Paolo Baronti, Prashant Pillai, Vince W.C. Chook, Stefano Chessa, Alberto Gotta, and Y. Fun Hu**. *Wireless sensor networks : A survey on the state of the art and the 802.15.4 and zigbee standards*. Computer Communications, Wired/Wireless Internet Communications, 2015.