

Table des figures

1.1	schéma d'un capteur sans fil.	3
1.2	Architecture d'un capteur.	4
1.3	Nœuds capteurs dispersés dans un champ de capteur	6
1.4	architecture d'un réseau de capteur sans fil	7
2.1	les sept ponts de Königsberg	14
2.2	Graphe orienté	15
2.3	Graphe non orienté	16
2.4	Graphe complet	18
2.5	Sous-graphe, graphe partiel	19
2.6	Graphe planaire	19
2.7	Graphe biparti	19

Table des matières

table des Figures	i
1 Description des réseaux de capteurs sans fil	1
1.1 Introduction	1
1.2 Motivations et Enjeux	2
1.2.1 Motivations	2
1.2.2 En jeux	2
1.3 les capteurs	2
1.3.1 Définition	2
1.3.2 Classification d'un RCSF	3
1.4 Architecture d'un nœud de capteur	4
1.5 Généralité sur les réseaux de capteurs sans fil	5
1.5.1 Définition	5
1.5.2 Caractéristiques d'un RCSF	5
1.5.3 Architecture d'un réseau de capteurs sans fil	6
1.5.4 Domaine d'application des RCSF	7
1.5.5 Contraintes de conception des RCSF	8
1.6 Points clés pour la consommation des RCSF	9
1.7 Le routage dans le RCSF	10
1.7.1 Définition de routage	10
1.7.2 Types de routage	10
1.7.3 Protocole de routage	10
1.8 Quelques définitions cruciales	11
1.9 Conclusion	13
2 théorie de graphe	14
2.1 introduction	14
2.2 Concepts de base	15
2.2.1 Définitions générales	15
2.2.2 Graphe orienté	15
2.2.3 Graphe non orienté	15
2.2.4 Arcs adjacents, arêtes adjacentes	16
2.3 Connexité dans les graphes	16
2.3.1 chaîne	16
2.3.2 Chemin	16
2.3.3 Cycle	16
2.3.4 Circuit	17

2.3.5	connexité	17
2.3.6	Forte connexité	17
2.3.7	Arbres et forêts	17
2.3.8	Point d'articulation et isthme	18
2.3.9	Coups	18
2.3.10	Flots	18
2.4	Quelques types de graphes	18
2.4.1	Graphe Complet	18
2.4.2	Sous-graphe	18
2.4.3	Sous-graphe partiel	19
2.4.4	graphe planaire	19
2.4.5	Graphe biparti	19
2.5	Notion de complexité des algorithmes	20
2.6	Coloration des graphes	20
2.6.1	Coloration des sommets d'un graphe	20
2.6.2	Coloration des arêtes d'un graphe	20
2.7	Quelques Algorithmes de recherches de couts et de flots	21
2.8	Conclusion	23

3	bibliographie	24
----------	----------------------	-----------

Chapitre 1

Description des réseaux de capteurs sans fil

1.1 Introduction

Les réseaux de capteurs sans fils (RCSF) sont des réseaux ad hoc généralement constitués d'entité autonome miniaturisés appelés nœuds capteurs pouvant communiquer par liaison radio. Les RCSF ont suscités beaucoup d'engouements dans la recherche scientifique en raison notamment des nouveaux problèmes de routage sous forte contrainte de durée de vie du réseau et de faible capacité des nœuds. [8]

Dans ce qui suit nous allons définir un capteur, son architecture ensuite on présentera des généralités sur les RCSF à savoir l'architecture des RCSF, les caractéristiques, et domaines d'applications enfin on termine par la description du routage, ses types et le protocole de communication.

1.2 Motivations et Enjeux

1.2.1 Motivations

Les avancées technologiques en matière de production de circuits électroniques, et dans Une moindre mesure, les progrès dans le domaine des batteries pour le stockage de l'énergie électrique, ont permis le développement de capteurs autonomes, de petite taille et dont le Coût de fabrication est de plus en plus faible. Les capteurs sont des appareils capables de Récolter différentes sortes d'informations dans leur rayon d'action et de communiquer avec D'autres capteurs. Les capteurs sont par conséquent des appareils peu complexes et faciles à configurer. Leur faible coût permet ainsi de déployer un grand nombre de capteurs afin de surveiller de Vastes zones accidentées ou inaccessibles. Grâce au grand nombre de capteurs qui le constitue, Un réseau de capteurs sans fil résiste plus facilement aux attaques d'un ennemi ou aux Dysfonctionnements spontanés, ce qui le rend très appropriée aux applications militaires [1].

La technologie des RCSF est un domaine de recherche nouveau, par rapport à la technologie d'internet. Cette technologie des RCSF a bénéficié d'une position centrale dans l'espace de recherche des réseaux émergents futures ces dernières années. Il y'a de plus en plus de travaux de recherche intéressants sur plusieurs aspects des RCSF : énergie, localisation, synchronisation, mobilité, et changement de topologie, qualité de service, sécurité, traitement dans le réseau... etc. mais l'axe de recherche qui a suscité le plus d'intérêt de la part de la communauté des chercheurs, jusqu'à ce jour, est celui de l'économie d'énergie[1].

1.2.2 En jeux

Dans cette section, nous décrirons deux enjeux fondamentaux dans les réseaux de capteurs : le routage et la structuration des réseaux. Le routage permet l'acheminement des informations vers une destination donnée à travers un réseau de connexion. En effet, le rôle des techniques de routage consiste à déterminer un acheminement optimal des paquets à travers le réseau au sens d'un certain critère de performance comme la consommation énergétique. Le but est de trouver l'investissement de moindre coût qui assure le routage du trafic nominal et garantit la qualité de service. Le problème qui se pose dans le contexte des réseaux de capteurs est l'adaptation de la méthode d'acheminement utilisée avec le grand nombre de nœuds existant dans un environnement caractérisé par de changements de topologies, de modestes capacités de calcul, de sauvegarde, et d'énergie. Toute conception de protocole de routage implique l'étude des problèmes suivants :

1.3 les capteurs

1.3.1 Définition

Un capteur sans fil est un petit dispositif électronique, peu coûteux, doté de ressources limitées en énergie (batterie), en puissance de calcul et en capacité de stockage. Un capteur possède la capacité de mesurer une valeur physique environnementale telle que la température, la lumière, la pression, etc. et de la transmettre en utilisant les communications sans fil à un centre de contrôle

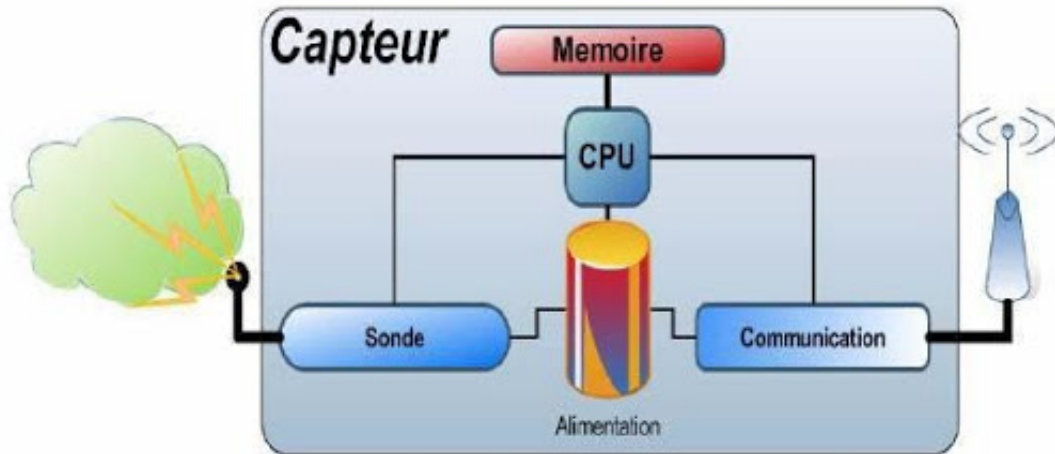


FIGURE 1.1 – schéma d'un capteur sans fil.[6]

appelé une station de base. Les nœuds capteurs peuvent être déployés dans toute application dont l'objectif est de surveiller l'environnement. [7]

1.3.2 Classification d'un RCSF

Les capteurs Actifs

Généralement, un capteur actif est un système de mesure qui nécessite une source d'énergie embarquée, la plupart du temps assurée par une batterie, et ce pour la réalisation de la phase de traitement au cours de laquelle le signal est filtré (nettoyé), amplifié et converti dans un format compatible et exploitable. Dans ce cas, le capteur doit non seulement mesurer des propriétés physiques mais doit également effectuer des tâches additionnelles au travers de circuits de traitement et de communication intégrés. Ce type de capteur est surtout utilisé pour assurer des mesures continues en temps réel. [6]

Les capteurs passifs

Les capteurs passifs sont des dispositifs qui ne possèdent pas de source d'énergie embarquée et présentent l'avantage d'être facilement intégrables. Ce type de capteur est utilisé dans des applications spécifiques (surveillance environnementale, des instruments de suivi spatial et aéronautique, des applications liées à la santé) qui nécessitent des unités de mesure miniatures, passives, de grande précision et fiables. L'objectif est d'assurer des mesures à distance des grandeurs physiques. Dans ce cas, deux différentes technologies peuvent être utilisées pour la transmission sans-fil de données : la transmission inductive et la transmission radio basée sur la réflexion (transpondeur passif). Dans ce qui suit, on présente brièvement les composants les plus répandus fondés sur ces types de technologies. [6]

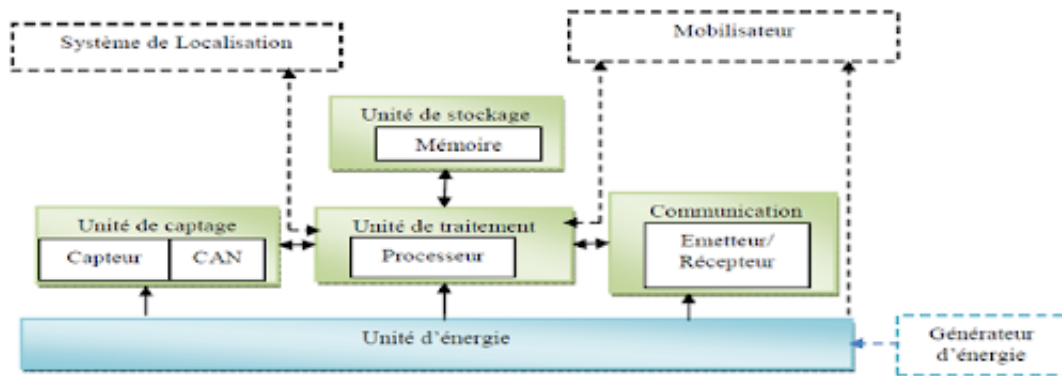


FIGURE 1.2 – Architecture d'un capteur.[10]

1.4 Architecture d'un nœud de capteur

Un capteur est composé principalement d'une unité de : captage, de traitement, de transmission, de stockage et d'énergie. Des composants additionnels peuvent être ajoutés selon le domaine d'application, comme par exemple un système de localisation tels qu'un GPS (Global Positioning-System), un générateur d'énergie (exemple : cellules solaire) ou un mobilisateur lui permettant de se déplacer [10].

- **Unité d'énergie**

Un capteur est muni d'une source d'énergie, généralement une batterie, pour alimenter toutes les composantes. Les batteries utilisées sont soit rechargeables ou non. Souvent, dans les environnements sensibles, il est impossible de recharger ou changer une batterie. Pour cela, l'énergie est la ressource la plus précieuse puisqu'elle influe directement sur la durée de vie des capteurs et donc d'un réseau de capteurs [10].

- **Unité de captage**

La fonction principale de l'unité de captage est de capturer ou mesurer les données physiques à partir de l'objet cible. Elle est composée de deux sous-unités : le récepteur (reconnaissant la grandeur physique à capter) et le transducteur (convertissant le signal du récepteur en signal électrique). Le capteur fournit des signaux analogiques, basés sur le phénomène observé, au convertisseur Analogique / Numérique (CAN). Ce dernier transforme ces signaux en données numériques et les transmet à l'unité de traitement [10].

- **Unité de traitement**

L'unité de traitement exécute les procédures permettant au nœud de collaborer avec les autres nœuds pour effectuer la tâche assignée au réseau. Cette unité est également composée d'un processeur et d'un système d'exploitation spécifique. Elle acquiert les informations en provenance de l'unité d'acquisition et les envoie à l'unité de transmission [10].

- **Unité de transmission**

Cette unité est responsable de toutes les émissions et réceptions de données via un support de communication sans fil. Les différents choix de média de transmission incluent la Radiofréquence(RF), le Laser et l’Infrarouge [10].

- **Unité de stockage(Mémoire)**

L’unité de stockage inclut la mémoire de programme (dont les instructions sont exécutées par le processeur) et la mémoire de donnée (pour conserver des données fournies par l’unité de captage et d’autres données locales). La taille de cette mémoire est souvent limitée essentiellement par les considérations économiques et s’améliorera aussi probablement au fil des années[10].

1.5 Généralité sur les réseaux de capteurs sans fil

Les réseaux de capteur sans fil constituent une classe de réseaux ad hoc composés de nœuds capteurs mobile et/ou statique pouvant être déployés dans des environnements connus ou inconnus. Ces capteurs disposent d’une capacité énergétique leurs permettant de fonctionner de manière autonome et intelligente, et de communiquer via des liaisons radio selon des mécanismes et de routage établis préalablement. [5]

1.5.1 Définition

Un RCSF est un réseau composé de plusieurs nœuds de capteurs pouvant communiquer entre eux par liaison sans fil. La distribution de ces nœuds dans un champ d’observation permet d’obtenir des informations concernant un phénomène mesuré à différentes positions et en temps réel. Ces informations sont ensuite transmises à une Station de Base (BS) par liaison directe en mono-saut, ou par l’intermédiaire des autres nœuds de capteur en multi-saut. La BS peut stocker localement les données pour acheter les mesures des capteurs. Elle peut également rendre ces mesures disponibles en ligne à d’autres utilisateurs. [4]

1.5.2 Caractéristiques d’un RCSF

Un RCSF présente les caractéristiques suivantes :

- **Absence d’infrastructure** : Les réseaux ad-hoc en général, et les réseaux de capteurs en particulier se distinguent des autres réseaux par la particularité d’absence d’infrastructure préexistante et de tout genre d’administration centralisée.
- **Taille importante** : Un réseau de capteurs peut contenir des milliers de nœuds.

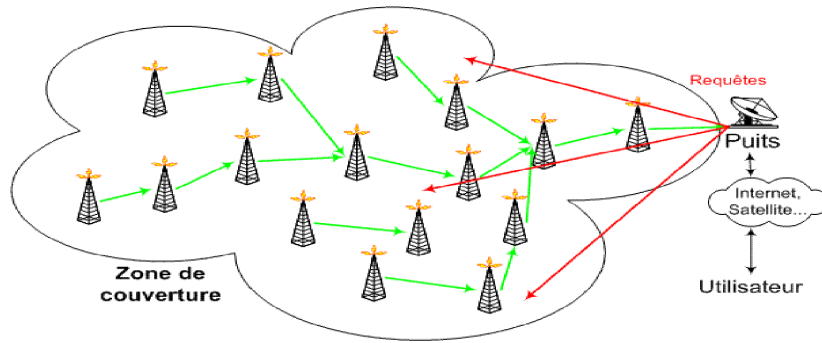


FIGURE 1.3 – Nœuds capteurs dispersés dans un champ de capteur[12]

- **interférences** : Les liens radio ne sont pas isolés, deux transmissions simultanées sur une même fréquence, ou utilisant des fréquences proches, peuvent interférer.
- **Topologie dynamique** : Les capteurs peuvent être attachés à des objets mobiles qui se déplacent d'une façon libre et arbitraire rendant ainsi la topologie du réseau fréquemment changeante.
- **Sécurité physique limitée** : Les réseaux de capteurs sans fil sont plus touchés par le paramètre de sécurité que les réseaux filaires classiques. Cela se justifie par les contraintes et limitations physiques qui font que le contrôle des données transférées doit être minimisé.
- **Bande passante limitée** : Une des caractéristiques primordiales des réseaux basés sur la communication sans fil est l'utilisation d'un médium de communication partagé. Ce partage fait que la bande passante réservée à un nœud est limitée.
- **Contrainte d'énergie** : de stockage et de calcul La caractéristique la plus importante dans les réseaux de capteurs est la ressource énergétique. Car chaque capteur du réseau possède de faibles ressources en termes d'énergie (batterie). Afin de prolonger la durée de vie du réseau, une minimisation des dépenses énergétiques est exigée chez chaque nœud du réseau. [9]

1.5.3 Architecture d'un réseau de capteurs sans fil

Un réseau de capteur sans fil (RCSF) présenté dans la Figure 1.2, est généralement constitué d'un ensemble de nœuds capteurs, variant de quelques dizaines à plusieurs milliers, déployés dans une zone géographique ou un environnement d'intérêt, communiquant entre eux par ondes radio afin d'acheminer les données captées vers un nœud collecteur appelé station de base (sink). La station de base, qui peut être un ordinateur, reçoit les données des capteurs et les transmet à l'utilisateur final par d'autres réseaux tels que Internet ou par satellite pour analyser ces données et prendre des décisions. Dans le cas le plus simple, les nœuds capteurs seront dans le voisinage direct de la station de base (communication à un saut). Cependant, dans le cas d'un réseau à grande échelle, ils ne sont pas tous dans le voisinage de la station de base et les données seront acheminées d'un nœud source vers la station de base en transitant par plusieurs nœuds, selon un mode de communication multi-sauts.

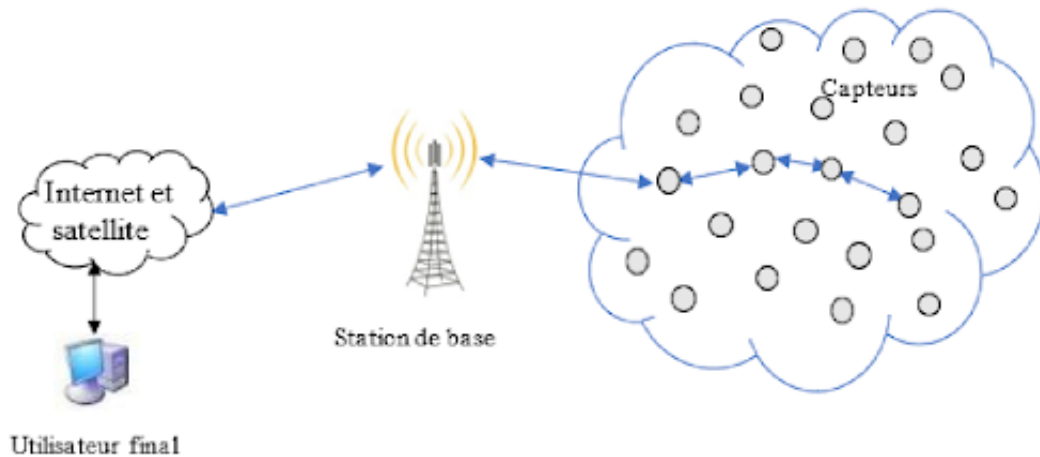


FIGURE 1.4 – architecture d'un réseau de capteur sans fil [7]

En fonction de la taille et de la topologie du réseau, il pourrait y avoir une ou plusieurs stations de bases qui peuvent être fixes dans des positions ou mobiles dans la zone du réseau. La station de base est habituellement supposée avoir une grande capacité de calcul et elle n'a pas de contraintes en termes d'énergie et de stockage. La tâche d'un nœud capteur comprend la création des paquets de données captées et la transmission sans fil de ces données à la station de base ou à d'autres nœuds capteurs. Lorsque le nœud capteur consomme toute son énergie (sa batterie est épuisée), il ne peut fournir aucun service, y compris la détection, le traitement des données ou la communication de données. Si cela se produit, le nœud capteur est considéré comme un nœud mort et il sera retiré de la topologie du réseau. [7]

1.5.4 Domaine d'application des RCSF

Grace aux évolutions de la technologie touchant les domaines : électronique, informatique industrielle, instrumentation, réseaux et télécommunication, le champ d'applications des réseaux de capteurs sans fils est de plus en plus en élargissement. Parmi les applications des RCSF nous trouvons [3] :

— Les applications militaires

Comme la plupart des technologies, les applications militaires étaient les premières à intégrer les RCSFs. Ils sont déployés dans un secteur stratégique ou difficile d'accès, pour y surveiller tous les mouvements (alliés ou ennemis), pour analyser le champ de bataille avant d'y envoyer du renfort, la détection des attaques biologiques ou chimiques, ... etc .

— Les applications médicales

Le suivi des personnes dépendantes est un véritable défi. Les RCSFs proposent un système de suivi pour les personnes dépendantes vivant seules à domicile ou dans un établissement²⁴

h /24. Ce système est basé sur la présence d'un réseau multi-capteurs déployé dans le cadre de vie de la personne surveillée couplé à un système d'identification sans fil et un algorithme d'apprentissage.

— **Les applications environnementales**

Ces types de RCSF peuvent servir à l'observation d'un site susceptible de subir les effets d'une pollution, ou bien d'éventuel incendie, inondation, volcan ou tsunami. La construction en temps réel d'une cartographie grâce à des capteurs, disséminés sur le site capable de relever des informations sur la pollution, la température, le niveau d'eau et d'oxygène... , etc. Ces informations doivent être relayées vers les services spécialisés.

— **Les applications industrielles**

Dans ce domaine, les réseaux de capteurs sans fil offrent une grande flexibilité d'emploi puisqu'ils permettent de s'affranchir des contraintes liées aux câblages. Il est alors possible de satisfaire des contraintes de poids, de mobilité, de facilité de déploiement, ... etc .

Parmi les applications des réseaux de capteurs sans fil dans le milieu industriel, nous citons la surveillance de l'état de santé d'un ouvrier ou du risque de le voir exposé à des conditions de travail dangereuses (exposition à la radioactivité), la gestion des stocks, contrôle des machines à distances, etc.

1.5.5 Contraintes de conception des RCSF

Les principaux facteurs et contraintes influençant l'architecture des réseaux de Capteurs peuvent être résumés comme suit [11] :

- **La tolérance de fautes** : Certain nœuds peuvent générer des erreurs ou ne Plus fonctionner à cause d'un manque d'énergie, un problème physique ou une interférence. Ces problèmes n'affectent pas le reste du réseau, c'est le principe de la tolérance de fautes. La tolérance de fautes est la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau sans interruptions dues à une erreur intervenue sur un ou plusieurs capteurs.
- **L'échelle** : Le nombre de nœuds déployés pour un projet peut atteindre le million. Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de transmissions inter nodales et nécessite que le puits "sink " soit équipé de beaucoup de mémoire pour stocker les informations reçues.
- **Les coûts de production** : Souvent, les réseaux de capteurs sont composés d'un très grand nombre de nœuds. Le prix d'un nœud est critique afin de Pouvoir concurrencer un réseau de surveillance traditionnel. Actuellement un nœud ne coûte souvent pas beaucoup plus que 1. A titre de comparaison, un nœud Bluetooth, pourtant déjà connu pour être un système low-cost, revient environ à 10 dollar .
- **L'environnement** : Les capteurs sont souvent déployés en masse dans des endroits tels que

des champs de bataille au-delà des lignes ennemies, à l'intérieur de grandes machines, au fond d'un océan, dans des champs biologiquement ou chimiquement souillés, ... Par conséquent, ils doivent pouvoir fonctionner sans surveillance dans des régions géographiques éloignées.

- **La topologie de réseau :** Le déploiement d'un grand nombre de nœuds nécessite une maintenance de la topologie. Cette maintenance consiste en trois phases : Déploiement, Post-déploiement (les capteurs peuvent bouger, ne plus fonctionner,...), Redéploiement de nœuds additionnels.
- **Les contraintes matérielles :** La principale contrainte matérielle est la taille du capteur. Les autres contraintes sont que la consommation d'énergie doit être moindre pour que le réseau survive le plus longtemps possible, qu'il s'adapte aux différents environnements (fortes chaleurs, eau,...), qu'il soit autonome et très résistant vu qu'il est souvent déployé dans des environnements hostiles.
- **Les médias de transmission :** Dans un réseau de capteurs, les nœuds sont reliés par une architecture sans-fil. Pour permettre des opérations sur ces réseaux dans le monde entier, le média de transmission doit être normé. On utilise le plus souvent l'infrarouge (qui est license-free, robuste aux interférences, et peu onéreux), le bluetooth et les communications radioZigBee.
- **La consommation d'énergie :** Un capteur, de par sa taille, est limité en énergie ($< 1.2V$). Dans la plupart des cas le remplacement de la batterie est impossible. Ce qui veut dire que la durée de vie d'un capteur dépend grandement de la durée de vie de la batterie. Dans un réseau de capteurs (multi-sauts) chaque nœud collecte des données et envoie/transmet des valeurs. Le dysfonctionnement de quelques nœuds nécessite un changement de la topologie du réseau et un re-routage des paquets. Toutes ces opérations sont gourmandes en énergie, c'est pour cette raison que les recherches actuelles se concentrent principalement sur les moyens de réduire cette consommation.

1.6 Points clés pour la consommation des RCSF

Comme nous venons de le mentionner, la source d'alimentation des noeuds des RCSF présente un handicap devant l'évolution de ces systèmes. A l'épuisement de la source d'alimentation, le noeud se déconnecte du réseau. En plus, dans le cas de communication multi-hop, la déconnexion d'un noeud engendre la déconnexion de tous les noeuds qui communiquent grâce à lui. Pour ce, nous avons pensé à étudier la gestion de la consommation dans ces systèmes afin de l'optimiser et par suite, augmenter la durée de vie du noeud et du réseau tout entier. Dans la littérature, il existe plusieurs méthodes qui permettent d'obtenir un système à faible consommation. Généralement elles sont classées en trois catégories suivant qu'elles touchent le matériel et/ou le logiciel. La première consiste à concevoir des composants spécifiques conçus pour consommer le minimum d'énergie : ceci est réalisé à base des techniques matérielles. Alors que la seconde méthode est basée sur des techniques logicielles qui consistent à optimiser le code afin de réduire sa consommation. Enfin la dernière méthode consiste à réaliser une synergie entre le logiciel et le matériel afin

d'optimiser la consommation totale du système. Elle s'appuie sur des mécanismes matériels pour diminuer la consommation mais utilise aussi le logiciel pour réaliser une adaptation dynamique de la consommation en fonction de la charge courante du système.[2]

1.7 Le routage dans le RCSF

1.7.1 Définition de routage

Le routage est un processus qui permet de sélectionner des chemins dans un réseau pour transmettre des données depuis un expéditeur jusqu'à un ou plusieurs destinataires. On parle de routage dans différents domaines : réseaux téléphoniques, réseaux électroniques (comme Internet), réseaux de transports. Le routage est le mécanisme par lequel des chemins sont sélectionnés dans un réseau pour acheminer les données d'un expéditeur jusqu'à un ou plusieurs destinataires. Le routage est une tâche exécutée dans de nombreux réseaux, tels que le réseau téléphonique, les réseaux de données électroniques comme l'Internet, et les réseaux de transports. Sa performance est importante dans les réseaux décentralisés, c'est-à-dire où l'information n'est pas distribuée par une seule source, mais échangée entre des agents indépendants. Le terme routage désigne l'ensemble des mécanismes mis en œuvre dans un réseau pour déterminer les routes qui vont acheminer les paquets d'un terminal émetteur à un terminal récepteur. On distingue généralement deux entités :

- * L'algorithme de routage.
- * Le protocole de routage[13].

1.7.2 Types de routage

Le routage dans les réseaux de capteurs sans fil se classe généralement en :

- Routage plat
- Routage hiérarchique
- Routage basé sur la localisation
- Routage proactif
- Routage réactif
- Routage hybride (à la fois proactif et réactif) [13]

1.7.3 Protocole de routage

Nous pouvons définir deux types de protocole de routage selon la topologie du réseau et le modèle de trafic :

A. Les protocoles de routage non hiérarchiques

- * Les protocoles de routages proactifs

Ce sont des protocoles qui construisent leurs tables de routage avant que la demande en

soit effectuée, ils se basent suivant l'état des liens (distances, obstacles, nombre de sauts, énergie restante, des nœuds distinaires, etc.) entre le nœud émetteur et les autres nœuds. Il identifie la topologie du réseau à chaque instant. En cas de problème de perte de données ou erreurs de transmission de bout en bout. La technique traditionnelle de retransmission est appliquée. Chaque nœud met à jour sa table de routage en échangeant des paquets se contrôle avec les nœuds voisins.

* Les protocoles de routage réactifs

Ce sont des protocoles qui construisent une table de routage lorsqu'un nœud en effectue la demande. Il ne connaît pas la topologie du réseau, il détermine le chemin à prendre pour accéder à un nœud du réseau lorsque on lui demande. Ils tiennent compte de l'évolution des trafics et beaucoup d'autre paramètres dans le réseau afin de déduire le chemin optimal pour transmettre l'information d'un nœud a un autre. Un nœud qui veut transmettre des données a un autre nœud, commence d'abord par faire une requête à tous les membres de réseau. Après la réception de la requête, le nœud destination envoie un message repense qui remonte vers la source. Alors le nœud source peut transmettre les données en suivant le chemin suivi par la repense à la requête [14].

B. Les protocoles de routage hiérarchiques

Le protocole de routage hiérarchique est un protocole qui se base sur le partitionnement dynamique du réseau en un ou plusieurs sous-ensemble. il doit assurer un fonctionnement optimal du réseau par minimisation de la consommation des ressources en termes d'énergie et des délais d'acheminement de l'information. Dans ce type de protocoles, la vue du réseau devient locale ; des nœuds spéciaux peuvent avoir des rôles supplémentaires [14].

1.8 Quelques définitions cruciales

A. Energie

L'énergie est considérée comme la principale et fondamentale contrainte dans les réseaux de capteurs sans fil. Chaque nœud fonctionne grâce à une batterie ayant une capacité limitée dû à sa petite taille mais également non rechargeable. L'utilisation de ces capteurs se fera, dans la plupart des cas, dans des environnements hostiles ou difficiles d'accès, ce qui ne permettra pas la récupération de celles-ci. Nous pouvons donc dire que toute utilisation de la technologie du réseau de capteur sans fil doit prendre en compte principalement de la problématique « consommation énergétique [13].

B. Durée de vie

C'est l'intervalle de temps qui sépare l'instant de déploiement du réseau de l'instant où l'énergie du premier nœud s'épuise. Selon l'application, la durée de vie exigée pour un réseau peut varier entre quelques heures et plusieurs années [13].

C. Puits (Sink)

Le puits est le nœud final du réseau. C'est à lui qu'est envoyé l'ensemble des valeurs mesurées par le réseau. Il peut arriver qu'il y ait plusieurs puits sur un même réseau de capteurs [13].

D. Déploiement des nœuds

C'est un facteur dépendant de l'application qui affecte grandement les protocoles de routage. Le déploiement peut être déterministe ou aléatoire. Dans la première stratégie, les capteurs sont placés manuellement et les données peuvent donc être acheminées via des chemins prédéterminés. En revanche, avec une approche aléatoire, les capteurs sont éparpillés (lâchés d'un avion). Dans le cas d'une répartition non uniforme, une stratégie de groupement (clustering) peut s'avérer nécessaire [13].

1.9 Conclusion

Les réseaux de capteur constituent un sujet de recherche relativement récent et pour tenter de résoudre tous les problèmes soulevés dans ce contexte de nombreuses directions en termes d'algorithmes, protocoles, . . . etc. les aspects énergétiques et routage constituent les contraintes majeures.

Ce chapitre nous a permis d'avoir une vue globale sur les réseaux de capteurs sans fil notamment sur les routages et ses protocoles qui présentent un intérêt considérable vu l'évolution connue récemment dans ce domaine.

Pour répondre à notre objectif primordial qui est l'optimisation de la consommation de l'énergie dans un RCSF nous allons concevoir un algorithme optimal qui fera l'objet du chapitre qui suit.

Chapitre 2

théorie de graphe

2.1 introduction

La théorie des graphes est un outil puissant de modélisation et de résolution de problèmes concrets. A l'origine, la théorie des graphes était présentée comme une curiosité mathématique ; Euler lors d'une de ses promenades nocturnes a voulu tracer un itinéraire circulaire dans la ville de Königsberg. Partant d'un point donné, il voulut visiter les sept ponts de cette ville (disposés selon le schéma ci-dessous) une seule fois seulement, puis retourner à son point de départ.

Les points A, B, C et D sont des rives. Ensuite la théorie des graphes a été utilisée pour modéliser des circuits électriques (Kirch-hoff), puis de nombreuses applications dans différents domaines tels : la chimie, la psychologie, etc [19].

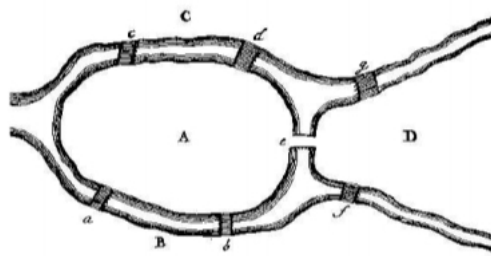


FIGURE 2.1 – les sept ponts de Königsberg

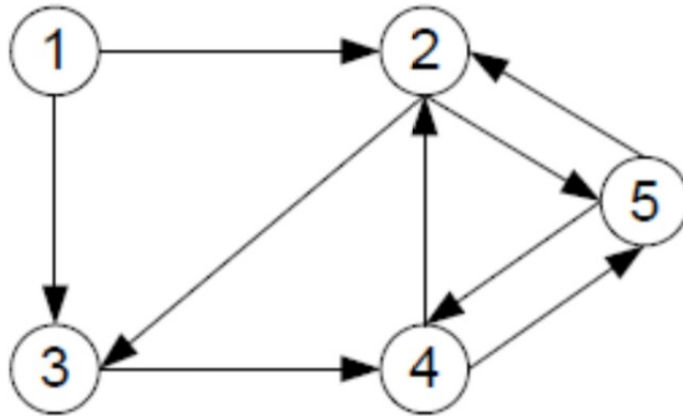


FIGURE 2.2 – Graphe orienté

2.2 Concepts de base

2.2.1 Définitions générales

Les graphes sont des concepts mathématiques utilisés pour modéliser des relations binaires entre des objets d'un même ensemble. Ils sont fréquemment utilisés pour modéliser des systèmes qui se présentent sous la forme d'un réseau. Il existe deux types de graphes : les graphes orientés et les graphes non orientés [19].

2.2.2 Graphe orienté

Un graphe orienté est un couple $(X;U)$, où X est l'ensemble des sommets du graphe et U , l'ensemble de ses arcs. X et U sont finis. L'arc est une relation entre deux sommets, dotée d'une orientation :

Si $u = (x;y)$ est un arc de U , avec $x, y \in X$, la relation est orientée de x vers y . Le graphe G est noté $G = (X;U)$ [19].

2.2.3 Graphe non orienté

Un graphe non orienté est défini par le couple $(X;E)$, où X est l'ensemble des sommets du graphe et E , l'ensemble de ses arêtes .

Si x, y sont en relation, cette dernière est durite par l'arête $e=(xy)$.

Ici, le sens de la relation n'est pas invoqué.

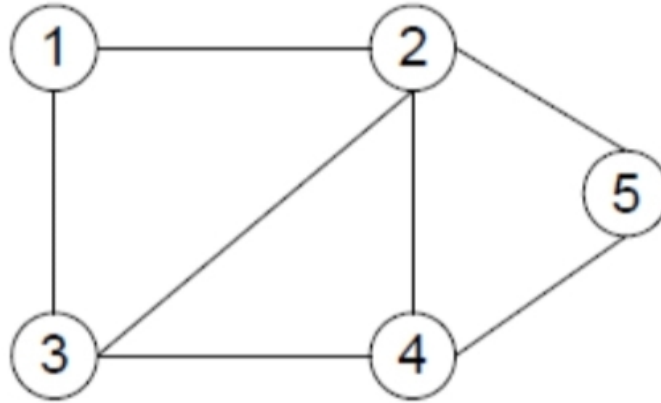


FIGURE 2.3 – Graphe non orienté

Les figures 2.2 et 2.3 représentent, respectivement, un exemple d'un graphe orienté et un exemple d'un graphe non orienté [19].

2.2.4 Arcs adjacents, arêtes adjacentes

Deux arcs (resp.arêtes) sont adjacents (resp.adjacentes) en un sommet x , si x est une extrémité commune aux deux [19].

2.3 Connexité dans les graphes

2.3.1 chaîne

Soit $G=(X, U)$ un graphe. Une chaîne joignant deux sommets x_0 et x_k dans G est une suite de sommets tels que deux sommets successifs sont reliés par une chaîne. On la note (x_0, x_1, \dots, x_k) . x_0 et x_k sont les extrémités de la chaîne commune.

On la note : $(x_0, x_1, x_2, \dots, x_k)$ et on dit que x_0 et x_k sont les extrémités de la chaîne[19].

2.3.2 Chemin

C'est la suite de sommets et d'arcs $(x_i, u_i, x_{i+1}, \dots, x_k, u_k, x_{k+1}, \dots, x_j)$ tels que $x_k = I(u_k)$ et $x_{k+1} = T(u_k)$ [19].

2.3.3 Cycle

Un cycle est une chaîne simple dont les extrémités coïncident. On le note $(x_0, x_1, x_2, \dots, x_k = x_0)$ [19].

2.3.4 Circuit

Un circuit est un chemin dont les extrémités sont confondues. On le note par $(x_0, x_1, x_2, \dots, x_k = x_0)$ [19].

2.3.5 connexité

Un graphe est connexe si $\forall x, y \in X$, il existe une chaîne entre x et y [19].

2.3.6 Forte connexité

On définit la forte connexité dans un graphe par une relation entre deux sommets de la manière suivante :

Deux sommets x et y ont une relation de forte connexité

$$\Leftrightarrow$$

Il existe un chemin de x à y et un chemin de y à x ; ou bien $x=y$ [19].

2.3.7 Arbres et forêts

Un arbre est un graphe connexe et acyclique (c'est-à-dire un graphe sans cycle) , Ainsi un arbre est nécessairement simple, une chaîne élémentaire est en particulier un arbre. Les arbres ont des propriétés, on distingue toujours par nG et mG où n le nombre de sommets d'un arbre et m son nombre d'arêtes [15].

Forêts Une forêt est un graphe acyclique (donc nécessairement simple). Un arbre est donc une forêt ainsi les composantes connexes d'une forêt sont des arbres. Une feuille dans une forêt est un sommet de degré égal à 1 [15].

Caractérisation des arbres

soit $G = (V; E)$ un arbre, alors :

1. G est acyclique et on a $|V| - 1$ arêtes
2. G est un graphe connexe minimal (chaque arête est un isthme [un isthme est une arête dont la suppression rend le graphe non connexe])
3. G est un graphe maximal sans cycles (l'addition d'une arête quelconque crée un cycle),
4. Toute paire de sommets de G est connectée par une chaîne unique [15].

Arbres couvrants d'un graphe

un arbre couvrant d'un graphe $G = (V; E)$ est un graphe $A(V'; E')$ partiel de G qui est un arbre et dont $V' = V$ [15].

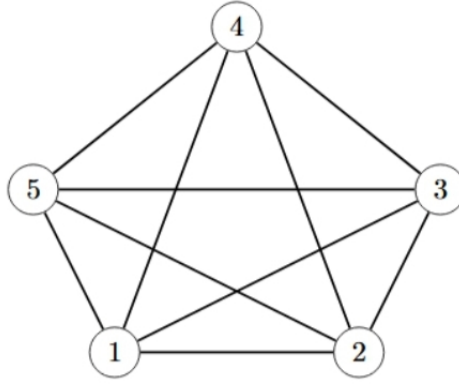


FIGURE 2.4 – Graphe complet

2.3.8 Point d'articulation et isthme

Un point d'articulation (resp. isthme) est un sommet (resp. une arête) dont la suppression augmente le nombre de composants connexes du graphe [17].

2.3.9 Coups

Soit X', X'' une partition de X , i.e. $X' \cup X'' = X$ et $X' \cap X'' = \emptyset$. L'ensemble des arcs ayant leur extrémité initiale dans X' et leur extrémité finale dans X'' forme une coupe. La capacité de la coupe est : $C(X', X'') = \sum_{j \in \text{coupe}(X', X'')} c_j$ [17].

2.3.10 Flots

Un flot c'est une quantité quelconque qui peut être acheminée d'un point à un autre ou d'un sommet à l'autre en utilisant les arcs.

- $0 \leq F(a) \leq C(a)$.
- $\sum F^+ = \sum F^-$ [17].

2.4 Quelques types de graphes

2.4.1 Graphe Complet

Un graphe G est dit complet si tous les sommets sont deux à deux adjacents c'est-à-dire tous les sommets du graphe sont reliés entre eux comme le montre la figure 1.6 [20].

2.4.2 Sous-graphe

Un sous-graphe est une partie d'un graphe. Un sous-graphe $H(U, F)$ de $G(V, E)$ est un graphe tel que :

- U est un sous-ensemble de V ($U \subseteq V$) (figure 1.7) [20].

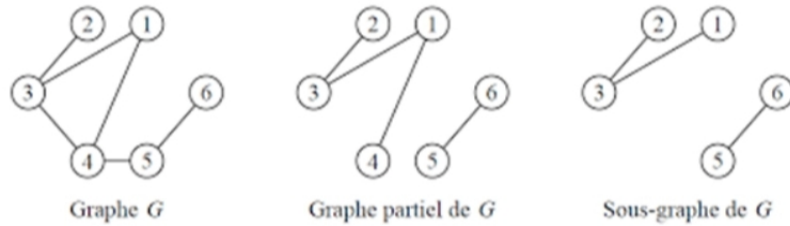


FIGURE 2.5 – Sous-graphe, graphe partiel

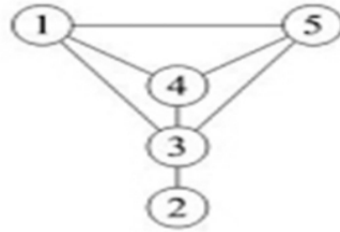


FIGURE 2.6 – Graphe planaire

2.4.3 Sous-graphe partiel

Il s'agit d'un sous graphe. C'est concrètement un graphe au quel on a enlevé des sommets et leurs arêtes incidentes (figure 1.7). Un sous-graphe partiel de $G = (V; E)$ est un graphe partiel d'un sous-graphe [20].

2.4.4 graphe planaire

Un graphe est planaire s'il peut être tracé dans un plan sans qu'aucun croisement entre les arêtes (figure 1.9) [20].

2.4.5 Graphe biparti

Un graphe $G = (V; E)$ est dit biparti si l'ensemble de ses sommets V peut être partitionner en deux sous-ensembles V_1 et V_2 , de sorte que les sommets de même sous ensemble ne sont pas adjacents [20].

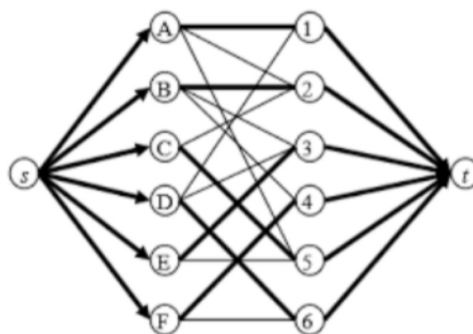


FIGURE 2.7 – Graphe biparti

2.5 Notion de complexité des algorithmes

Les problèmes de graphes se rattachent à la grande classe des problèmes d'optimisation combinatoire, il faut bien voir que le fait de dire qu'un algorithme est fini peut être d'un intérêt nul sur le plan opérationnel.

- problème classe P dit facile si on peut le résoudre avec des algorithmes polynomiaux.
- problème classe NP si on peut le résoudre avec des algorithmes polynomiaux.
- problème classe NP-complet dit difficiles, si on ne peut pas le résoudre avec des algorithmes polynomiaux.

On peut dire aussi que tous les problèmes se répartissent en deux catégories :

- ceux qui sont résolus optimalement par des algorithmes efficaces (rapides)
- ceux dont la résolution peut prendre un temps exponentiel [17].

2.6 Coloration des graphes

2.6.1 Coloration des sommets d'un graphe

Définition

Colorer les sommets d'un graphe $G=(S,A)$ consiste à leur associer des couleurs, ou tout autre identifications [numéro, noms, codes, ...] de telle sorte que deux sommets adjacents n'ait pas la même couleurs [numéro, noms, codes,...].

si k couleurs sont utiliser on parle de k -coloration de G [16].

Le nombre chromatique de G

Le nombre chromatique de G noté $\gamma(G)$ est la plus petite valeur de k pour laquelle il existe une k -coloration des sommets de G [16].

remarque

une coloration des sommets d'un graphe G en $\gamma(G)$ couleur est dite minimale[16].

2.6.2 Coloration des arêtes d'un graphe

Colorier les arêtes d'un graphe simple non orienté $G=(S,A)$ consiste à leur associer des couleurs de telle sorte que deux arêtes adjacents n'aient pas la même couleur. Si k couleurs sont utilisées on parle d'une k -coloration des arêtes de G [16].

L'indice chromatique d'un graphe

L'indice chromatique de G noté $X(G)$ est la plus petite valeur k pour laquelle il existe une k -coloration des arêtes de G . Une coloration des arêtes en $X(G)$ couleurs est minimale [16].

2.7 Quelques Algorithmes de recherches de couts et de flots

Algorithme de Kruskal (Bis)(1956)

En reprenant l'algorithme d'énumération des arbres, on descend l'arborescence à gauche (contraction de l'arête) en choisissant l'arête de longueur minimale à chaque étape. On s'arrête lorsque tous les sommets du graphes sont connectés-ou, ce qui revient au même,lorsque le nombre d'arêtes retenue égale $n-1$

C'est un algorithme glouton, i.e., il fait un choix optimal localement dans l'espoir que ce choix mènera à la solution optimale globalement. Ici, il rajoute à chaque étape l'arête de poids minimal à la forêt qu'il construit. L'arbre obtenu est unique si toutes les arêtes sont initialement de valeurs différentes [17].

Algorithme de Kruskal(Bis) :

Recherche de l'arbre de poids min.

Données : graphe connexe $G(S,A,P)$.

résultats : ensemble d'arcs A .

Début

Renommer les arcs dans l'ordre de poids " décroissant"

$P(a_1) \leq P(a_2) \leq \dots \leq P(a_m)$.

Initialisé $A = \emptyset$.

Pour tout $j = 1, 2, \dots, m$ faire

si $G_j = (S, A \cup \{a_j\})$ ne contient pas de cycle

alors. poser $A = A \cup a_j$;

fin si ;

fin pour FIN

Complexité : $O(m \log m)$ [17].

Algorithme de Prim (Bis)(1957)

principe :

— on part d'un arbre initial A réduit à un seul sommet s (e.g., $s=1$) ;

— ensuite, à chaque itération , on augmente l'arbre A en le connectant au " plus proche" sommet libre au sens des poids.

Algorithme de Prim(Bis) :

Recherche de l'arbre de poids min.

Données :

graphe connexe $G(S,A,P)$.

résultats :

ensemble d'arcs A . Debut
 Initialisé $A = \emptyset$.
 Tant que G admet deux sommets ou plus
 choisir le sommet puits $s \in S$, choisir un arc " a " adjacent à " s " ne forme pas une boucle et de poids maximum
 poser :
 $A = A \cup a$
 $G = c_a(G)$.
 fin tant que ;
 FIN.
 Complexité : $O(m \log n)$ [17].

Algorithme de Kruskal (1956) :

En reprenant l'algorithme d'énumération des arbres, on descend l'arborescence à gauche (contraction de l'arête) en choisissant l'arête de longueur maximale à chaque étape. On s'arrête lorsque tous les sommets du graphes sont connectés-ou, ce qui revient au même, lorsque le nombre d'arêtes retenue égale $n-1$
 C'est un algorithme glouton, i.e., il fait un choix optimal localement dans l'espoir que ce choix mènera à la solution optimale globalement. Ici, il rajoute à chaque étape l'arête de poids maximale à la forêt qu'il construit. L'arbre obtenu est unique si toutes les arêtes sont initialement de valeurs différentes.

Algorithme de Kruskal :

Données :

graphe connexe $G(S, A, P)$.

résultats :

ensemble d'arcs A . Début
 Renuméroter les arcs dans l'ordre de poids "décroissant"
 $P(a_1) \geq P(a_2) \geq \dots P(a_m)$.
 Initialisé $A = \emptyset$.
Pour tout $j = 1, 2 \dots m$ *faire*
 si $G_j = (S, A \sqcup a_j)$ ne contient pas de cycle
 alors. poser $A = A \cup a_j$;
 fin si ;
 Fin pour FIN
 Complexité : $O(m \log m)$ [17].

Algorithme de Ford-Fulkerson¹ :

Données : graphe connexe $G(S,A,C,V)$.

résultats : Flots max avec ensemble d'arcs "A" à cout min.

Début

A/ Partir d'un flot réalisable sur $G=(S,A,C,V)$.

B/ à l'itération courante k , soit f^k le flot obtenu de retour $f^k(a_0)$ et de cout minimum.
Soit $G[f^k]$ le graphe d'écart relatif à f^k , on attribue aux arcs de $G[f^k]$ les couts $\bar{\gamma}$ et les capacités suivantes :

- $a=(i,j) \in Atq : 0 \leq f^k(a) < V(a)$.
alors l'arc $a^+ = (i, j)$ a un cout $\bar{\gamma}(a^+)=C(a)$ et une capacité $\bar{V}(a^+)=V(a)-f(a)$.
- $a=(i,j) \in Atq : 0 \leq f^k(a) < V(a)$.
alors $a^- = (j, i)$ a un cout $\bar{\gamma}(a^-)=-C(a)$ et une capacité $\bar{V}(a^-) = f^k(a)$.

C/ Recherche un chemin de cout minimum entre s et p . Poser :

$$f^{k+1}(a) = \begin{cases} f^k(a) + \epsilon^k, & \text{si } a \in (\sqcup_d)_p^s; \\ f^k(a) - \epsilon^k, & \text{si } a \in (\sqcup_I)_p^s; \\ f^k(a), & \text{sinon.} \end{cases} \quad (2.1)$$

$k \leftarrow k + 1$; et retourner en B.

Complexité : $O(m \log m)$ [17].

2.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons défini les différentes notions et définitions relatives à la théorie des graphes ainsi, nous avons proposé quelques algorithmes de base que nous allons utiliser dans le chapitre suivant.

Chapitre 3

bibliographie

Bibliographie

- [1] KECHAR Bou Abdellah, Problématique de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteur sans fil, mémoire fin d'étude université d'Oran, 2010
- [2] KHAOULA Lahmar, M F MEGDICHE, C. BELLOUDY, M. ABID, M AUGUIN, Estimation de la consommation dans les réseaux de capteurs sans fils : étude de cas, article.
- [3] conception d'un RCSF, mémoire pour le projet d'étude à université Mohammed V école normale supérieure d'enseignement technique, RABAT 2015.
- [4] Jean Mickaël Lebreton, Systèmes et protocoles de télé-réveil appliqués à l'optimisation énergétique des réseaux de capteurs sans fil, thèse de doctorat, université de réunion, 2017.
- [5] Youcef Touati, A. ALI cherif, et B. Daachi, « gestion énergétique dans les réseaux de capteurs sans fil » livre de collection réseaux et Télécommunications, 2017.
- [6] KHALILI Zeyneb, BOUCHRA Meryem « Une technique d'optimisation de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil », mémoire fin d'étude université ahmed-Draia, Adrar, 2019.
- [7] « gestion de la mobilité dans les réseaux de capteur sans fils », thèse de doctorat Lyon 1
- [8] Cheicktidjanekone, « conception de l'architecture d'un réseau de capteur sans fil de grande dimension », thèse.
- [9] Mehdi Bouallegue. « Protocoles de communication et optimisation de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil » thèse de doctorat, université Bretagne Loire 2016
- [10] « Routage à basse consommation énergétique dans les réseaux de capteur sans fil à base de l'algorithme de dijkstra », mémoire fin d'étude à l'université de Bejaia, 2014.
- [11] YACINE CHALLAL, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/fr/>, site.
- [12] « Optimisation d'accès au médium afin d'économiser de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fils ».
- [13] « Techniques de conservation d'énergie pour les réseaux de capteur sans fil » mémoire fin d'étude université de Saida.
- [14] Frank Itoua Engoti, « Réalisation d'une plate-forme pour l'optimisation de réseaux de capteurs sans fil appliqués au bâtiment intelligent »
- [15] Mémoire de Fin d'études Master Filière : Informatique Thème : « Reconnaissance des motifs dans des graphes EMF » Juillet 2019 Université de 8 Mai 1945 – Guelma -
- [16] Cour M. Taaouinet 2018
- [17] Mémoire de Fin de Cycle thème : « Problèmes d'optimisation de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil » à l'université de Bejaia, 2012.
- [18] Cour M. Taaouinet 2008

- [19] MÉMOIRE DE MASTER 2 en MATHÉMATIQUES Thème : « Algorithmes linéaires du nombre de broadcast domination de quelques classes de graphes » UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU 2014/2015.
- [20] MÉMOIRE DE MASTER Thème : « Appariement de Graphes Pondérés Approche Spectrale » UNIVERSITÉ Dr. TAHAR MOULAY SAIDA, 2019