

Amélioration de la fiabilité du lien sans fil pour un terminal radio cognitive mobile

Asma Amraoui, Wassila Baghli, Badr Benmammar

► **To cite this version:**

Asma Amraoui, Wassila Baghli, Badr Benmammar. Amélioration de la fiabilité du lien sans fil pour un terminal radio cognitive mobile. Les 12èmes Journées Doctorales en Informatique et Réseaux (JDIR'11), Nov 2011, Belfort-Montbéliard, France. 2011. <hal-00655173>

HAL Id: hal-00655173

<https://hal.inria.fr/hal-00655173>

Submitted on 26 Dec 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Amélioration de la fiabilité du lien sans fil pour un terminal radio cognitive mobile

Asma Amraoui, Wassila Baghli, Badr Benmammour
s-ma13@live.fr, wass-bag@hotmail.fr,
bbm@badr-benmammour.com
Laboratoire de Télécommunications Tlemcen,
Université de Tlemcen, Algérie

Résumé—La radio cognitive est née du besoin d'introduire de l'intelligence et de la flexibilité dans la gestion des ressources spectrales devenues de plus en plus précieuses avec la prolifération rapide de standards et services de radiocommunication. Elle propose d'exploiter d'une manière dynamique et opportuniste les bandes de fréquences inutilisées durant l'absence des utilisateurs prioritaires. Dans ce papier, nous proposons une nouvelle approche qui utilise la radio cognitive pour améliorer la fiabilité du lien sans fil pour un terminal mobile. Nous présentons également des scénarios d'utilisation de la radio cognitive pour améliorer la fiabilité du lien sans fil pour une application de visioconférence et nous montrons à travers une expérimentation l'intérêt de notre approche.

Mots-clés— Radio cognitive, mobilité, handover, fiabilité du lien, K plus proches voisins.

I. INTRODUCTION

La radio cognitive RC a été présentée officiellement par Joseph Mitola en 1999, et depuis, ce concept a connu un grand succès auprès des chercheurs de plusieurs domaines tels que la télécommunication, l'intelligence artificielle, et même la philosophie. Joseph Mitola a défini la RC comme étant "a radio that employs model-based reasoning to achieve a specified level of competence in radio-related domains" [1].

Les applications de la RC sont souvent incluses dans sa définition en raison du caractère impérieux et des applications uniques offertes. En outre, il existe de nombreuses techniques de radio logicielle que la RC est censée améliorer. Les éléments suivants sont souvent préconisés "applications de la radio cognitive" [2]:

- Amélioration de l'efficacité spectrale.
- Amélioration de la fiabilité du lien radio.
- Topologie avancée du réseau.
- Techniques de collaboration.
- Automatisation de la gestion des ressources radio.

La plupart des recherches sur les réseaux RC se sont concentrées sur l'exploitation du spectre non utilisé. Cependant, les nœuds de la RC possèdent les qualités nécessaires pour faire des progrès considérables dans la fiabilité des réseaux sans fil [2], qui par contre a été moins explorée, et c'est pour cela que nous sommes intéressés à l'amélioration de la fiabilité du lien sans fil.

La connexion mobile de l'utilisateur est généralement constituée d'un enchaînement de réseaux fixes et mobiles. Toute considération de la fiabilité doit tenir compte de la connexion de bout en bout. Ces notions ont longtemps été des domaines de recherche importants dans les réseaux filaires [3] et dans l'infrastructure des réseaux sans fil [4]

[5]. Toutefois, la fiabilité de bout en bout est limitée par ses composantes les plus faibles. Traditionnellement, le lien d'accès sans fil est perçue comme le maillon le plus faible, et de nombreuses techniques telles que le codage de canal et de la diversité ont été proposées à la couche physique pour améliorer la qualité de la liaison radio [6].

La problématique de nos travaux de recherche résidera dans la possibilité de proposer une technique qui permet d'améliorer la fiabilité du lien sans fil en utilisant la RC. Afin de proposer une méthode évolutive, il nous est apparu pertinent de choisir une des applications de la RC et d'imaginer le scénario sur lequel nous allons mettre en pratique notre approche. Pour cela, des techniques de l'apprentissage automatique sont utilisées.

Dans ce papier, nous commençons par présenter un état de l'art sur la fiabilité traditionnelle dans les réseaux filaires. Nous présentons, ensuite, le cycle de cognition modifié pour la gestion des échecs pour un lien sans fil dans un contexte RC. Enfin nous décrivons les scénarios proposés et les résultats de l'expérimentation.

II. FIABILITE TRADITIONNELLE DANS LES RESEAUX FILAIRES

La fiabilité du réseau est un facteur majeur de la conception des réseaux filaires due en partie aux attentes des clients. Elle implique la fiabilité du réseau, qui généralement dans un réseau de communication est liée à la capacité de [5]:

- Prévenir l'apparition de défaillances.
- Résoudre et récupérer les erreurs.

A. Mécanismes de prévention

Les réseaux utilisent les mécanismes de prévention pour diminuer l'apparition ou la gravité des pannes. La plupart de ces approches sont basées sur l'utilisation de matériels fiables et de logiciels pour les liaisons de transmission. D'autres solutions telles que le choix des environnements les moins dangereux et d'équiper les câbles de communication avec les gaines de protection sont également classés comme des méthodes de prévention.

L'objectif d'un mécanisme de prévention est de retarder l'apparition de défaillances. Les indicateurs de performance les plus appropriés pour évaluer un mécanisme de prévention sont donc le nombre d'occurrences dans une période de panne (taux d'échec), la probabilité d'une occurrence de défaillance (fiabilité) et la durée entre deux échecs consécutifs connus (temps moyen entre pannes du système) [7].

B. Mécanismes de récupération

Les mécanismes de récupération sont divisés en méthodes de protection et méthodes de restauration. Les méthodes de protection sont des techniques de conception de réseau et d'allocation des capacités [5] qui affectent des ressources de sauvegarde à l'avance, alors que les méthodes de restauration tentent de trouver une solution après un échec. Habituellement, les mécanismes de récupération sont hybrides et utilisent un mélange des deux approches.

B.1 Méthodes de protection :

En général, les méthodes de protection spécifient certaines ressources (de rechange, de sauvegarde) qui seront utilisées en cas de panne. La substitution des ressources peut être faite automatiquement par le réseau ou manuellement par un administrateur réseau.

B.2 Méthodes de restauration :

Dans les méthodes de restauration, quand une ressource tombe en panne, il n'y a pas de ressources de sauvegarde pré-assignées et les ressources de substitution doivent être trouvées d'une manière dynamique.

III. RESEAUX RCS ET LA FIABILITE DES LIENS SANS FIL

Dans ce contexte, l'objectif principal est de concevoir une architecture de système sans fil qui peut remédier aux défaillances et améliorer la fiabilité des liens sans fil du réseau en utilisant des approches similaires à celles actuellement en place dans les réseaux filaires. Compte tenu ses fonctions cognitives, la RC a les attributs nécessaires pour la réalisation de cet objectif. Le cycle de la RC modifié présenté dans la fig.1 illustre la capacité inhérente des réseaux RC à prévenir ou récupérer les erreurs pour améliorer la fiabilité du réseau sans fil.

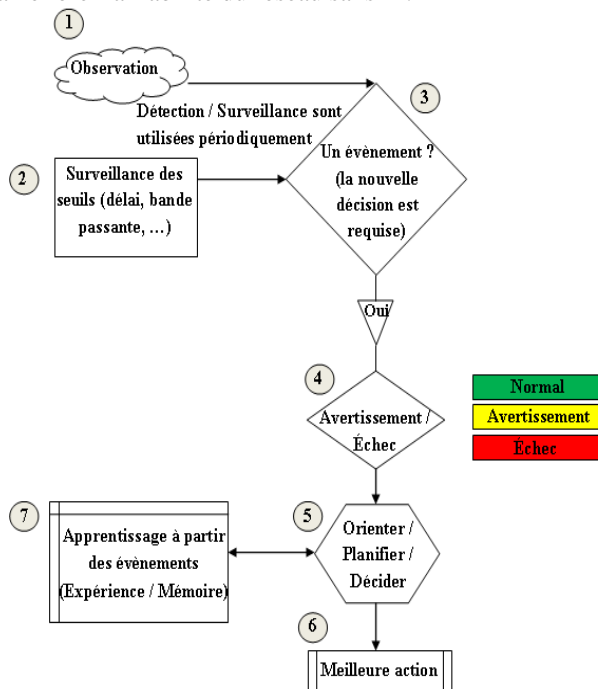


Fig. 1. Cycle de cognition modifié pour la gestion des échecs [7]

Les phases 1 et 2 comprennent l'observation de l'environnement et le suivi de la performance et les paramètres de QoS, à la phase 3, la RC détecte si un nouvel événement (un échec) s'est produit ou peut se produire dans

un proche avenir. Pour faire la décision la plus appropriée, le nœud RC classe les nouveaux événements comme un avertissement à la phase 4.

Dans le premier cas, le déploiement des mesures de prévention échoue. Par exemple, si une station RC mobile détecte que sa distance de la station de base est en augmentation, elle peut passer à un plus faible niveau de modulation et de codage pour prévenir la perte de trajet. Dans l'autre cas, le nœud RC caractérise l'échec et utilise la protection appropriée et les techniques de restauration (phase 5 et 6). Le nœud RC peut également apprendre de l'expérience actuelle et des observations pour élaborer des plans plus efficaces à l'avenir (phase 7) [7].

A. Mécanismes de prévention

Les techniques de transmission avec un haut niveau de fiabilité sont utilisées dans les réseaux RCs pour réduire la probabilité de défaillance du lien (taux d'échec) ou sa gravité. Par exemple, les techniques de transmission à large bande, tels que l'étalement de spectre, saut de fréquence et OFDMA sont utilisées pour augmenter la fiabilité du réseau sans fil dans des environnements avec des niveaux élevés d'interférence. Quand un nœud RC détecte un environnement avec un haut niveau d'ingérence ou un réseau primaire qui utilise des technologies à large bande, il reconfigure la couche physique à une large bande plus appropriée de la technologie. De même, les paramètres de transmission tels que le type de codage de canal, le taux de signalisation et la modulation sont ajustés pour augmenter la fiabilité des utilisateurs distants fonctionnant avec un niveau de bruit plus élevé, ou pour atténuer l'impact des interférences.

B. Mécanismes de détection

Une caractéristique importante de la RC est sa capacité de détecter des fréquences. Un canal d'exploitation de fréquence fiable peut donc être choisi en fonction de son niveau de bruit (des utilisateurs primaires ou secondaires), son atténuation, son observation, etc... Des algorithmes de détection sont utilisés pour améliorer la précision.

C. Données historiques et prédéfinies

Le nœud RC peut enregistrer plusieurs événements grâce à l'apprentissage. Par exemple, la géographie et l'information environnementale peuvent être obtenues grâce à un GPS dans le nœud RC. Ceci implique qu'une fois que le nœud RC s'approche de la zone où les coordonnées géographiques ont été enregistrées, une alarme est générée pour informer la RC de prendre les mesures adéquates pour prévenir l'échec.

IV. SCENARIOS ET SOLUTIONS PROPOSEES

A. Scénario

La fig.2 suivante illustre un chemin suivi par un abonné mobile quand il commute vers une zone où la qualité du signal chute à un niveau inacceptable (montré en rouge) en raison d'un écart de la couverture, nous supposons que ce client utilise la visioconférence durant ce trajet.



Fig. 2. Qualité du signal associée à une radio cognitive

B. Solution proposée

Après plusieurs incidents, la RC devrait être consciente du problème. Ensuite, par le biais de certaines géolocalisations ou de la capacité d'apprentissage de l'heure de la journée où cela se produit, la radio peut anticiper l'écart de la couverture et connaître le signal nécessaire à la station de base pour modifier les caractéristiques des signaux quand l'utilisateur s'approche de la couverture déficiente.

C. Qualité de service dans la visioconférence

Avec l'apparition de nouveaux services tels que la visioconférence et le streaming vidéo, la nécessité de traiter les trames une par une et savoir différencier les services devient primordiale.

Dans la littérature nous avons trouvé que pour avoir une bonne QoS dans la visioconférence, il faut que :

- **Le débit** soit > 384 Kbps. Cependant, à partir de **160 Kbps**, on peut parler de QoS acceptable.
- **La latence** soit < 200 ms.
- **La gigue** soit < 30 ms.
- **La perte de paquets** soit $< 1\%$.

Cependant, et comme nous ne disposons pas de données réelles utilisables sur la RC et c'est le cas de toute la communauté, nous étions obligés de jouer le rôle de l'expert pour attribuer les données nécessaires à notre simulation.

D. Application

Comme indiqué précédemment, nous allons utiliser la visioconférence dans le cas d'un utilisateur mobile qui doit emprunter un chemin où la qualité du signal chute à un niveau inacceptable en raison d'un écart de couverture, donnant une QoS très faible. Ceci peut être remédié en utilisant la RC, mais la problématique se pose ; **QUAND** et **POURQUOI** utiliser la radio cognitive ?

Après avoir fait des recherches sur la QoS de la visioconférence, nous avons choisi le paramètre " débit " comme critère pour notre application. Pour cela, une classification des débits est nécessaire, et vu que nous jouons le rôle de l'expert, nous avons créé notre propre base de données suivant certaines règles afin de pouvoir appliquer notre approche. La base de données a été divisée en deux parties, une pour l'apprentissage et l'autre pour le test.

Le débit est variable durant la journée même sur le même trajet, c'est pour cela que des mesures ont été prises en

considération pendant 5 semaines à 3 intervalles différents de la journée (8h - 11h ; 11h - 15h ; 15h - 17h) et ceci hors week-end.

Nous avons proposé d'affecter les débits de la base aux 3 classes suivantes :

- **Gold** concerne les échantillons où le débit est supérieur à **384 Kbps**, assurant une qualité de 100% de satisfaction de l'utilisateur.
- **Silver** concerne les échantillons où le débit est entre **160 Kbps** et **384 Kbps**, de qualité acceptable.
- **Bronze** concerne les échantillons où le débit est inférieur à **160Kbps**. Ça veut dire que la visioconférence n'est pas satisfaisante, et c'est la classe qui nous intéresse le plus car c'est à ce moment que l'on doit utiliser la RC.



Fig. 3. Classes de la base de données

D.1 Première question QUAND ?

Pour la classification des données, nous avons utilisé trois algorithmes différents issus du domaine de l'apprentissage automatique.

- L'algorithme des *K plus proches voisins* (k-ppv) qui est un algorithme de classification supervisée, que nous avons programmé sous l'environnement java.
- L'algorithme du perceptron multi couche (réseaux de neurones), sous weka (Waikato Environment Knowledge Analysis).
- L'algorithme C4.5 des arbres de décision, sous Weka.

Parmi ceux-ci, l'algorithme des k-ppv a été testé avec plusieurs valeurs de K sur la base de test et à chaque fois le résultat différait mais ce dernier reste satisfaisant jusqu'à la valeur de K=6. Nous avons opté pour cet algorithme, vu qu'il a donné de meilleurs résultats (par rapport aux autres algorithmes), montrés ci-dessous :

Valeur de K	Instances correctement classées		Instances mal classées	
	Count	Percentage	Count	Percentage
K=1	20	100%	0	0%
K=2	18	90%	2	10%
K=3	18	90%	2	10%
K=4	18	90%	2	10%
K=5	18	90%	2	10%
K=6	18	90%	2	10%

Tab. 1. Classification obtenue avec l'algorithme des k-ppv

Dans l'environnement Weka, l'algorithme k-ppv, appelé IBK a donné les résultats ci-dessous :

Valeur de K	Instances correctement classées		Instances mal classées	
K=1	20	100%	0	0%
K=2	19	95%	1	5%
K=3	19	95%	1	5%
K=4	18	90%	2	10%
K=5	18	90%	2	10%
K=6	18	90%	2	10%

Tab. 2. Classification obtenue avec Weka

Pour **k=1** : Tous les exemples de débit ont été bien affectés dans leur classe appropriée, comme le montre la matrice de confusion, ainsi que le graphe ci-dessous :

a	b	c	
2	0	0	a Gold
0	10	0	b Silver
0	0	8	c Bronze

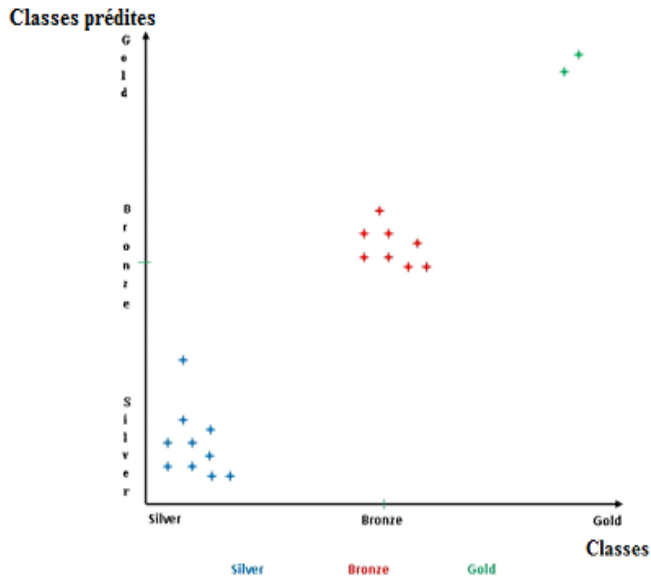


Fig. 4. Résultats et matrice de la classification avec k=1

Par contre avec **k=2**, un échantillon a été mal classé, nous remarquons cela dans la matrice de confusion et dans le graphe.

a	b	c	
2	0	0	a Gold
0	10	0	b Silver
0	1	7	c Bronze

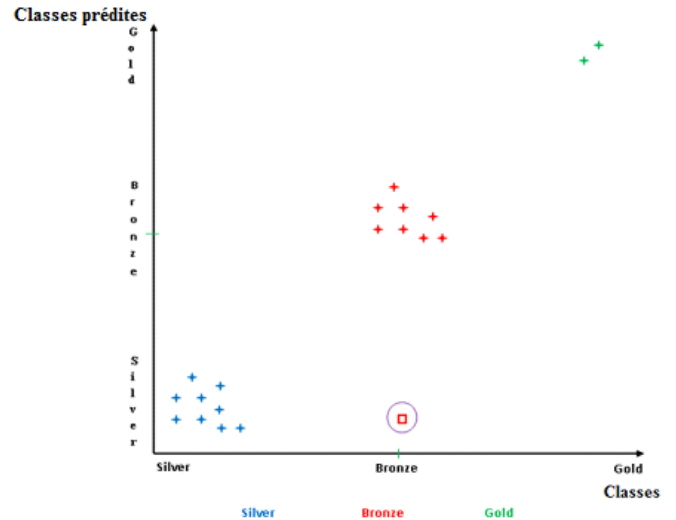


Fig. 5. Résultats et matrice de la classification avec k=2

Remarque : les éléments proches du seuil d'une classe sont mal classés, par exemple l'instance qui a un débit de 159Kbps appartenant à la classe Bronze a été classée dans la Silver, pour les autres K supérieur c'est encore plus divergent.

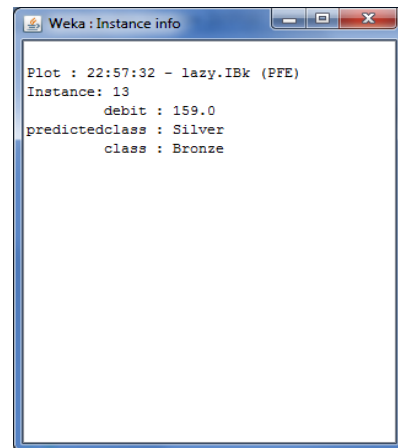


Fig. 6. Instance mal classée avec Weka

Constat : d'après les résultats obtenus par la classification, la radio cognitive va être activée chaque premier jour de semaine de 8h à 11h et de 15h à 17h, et chaque mercredi de 8h à 17h vu qu'à ces intervalles le débit appartient à la classe bronze < 160Kbps. Donc à travers ce résultat, la question *Quand* est répondu.

Pour avoir des règles plus générales, il serait intéressant de prendre en compte les autres paramètres de QoS de la visioconférence et de classifier ces données en utilisant d'autres méthodes de l'intelligence artificielle telles que la logique floue et les algorithmes génétiques.

D.2 Deuxième question POURQUOI ?

Dans ce qui suit, nous allons justifier l'utilité de la RC, ceci en supposant que la détection du spectre est déjà faite par le récepteur de notre terminal mobile qui est dans ce cas un multimode wireless communication terminal (MWCT), donc capable de supporter plusieurs technologies d'accès telles que GSM, WiMAX ou UMTS.

Vu que le spectre n'est pas utilisé à 100%, nous pouvons représenter les bandes de fréquence en deux ensembles : un

qui contient les bandes occupées et l'autre qui contient les bandes libres.

Le terminal mobile doit basculer vers une fréquence libre parmi celles disponibles dans l'ensemble des bandes libres.

Pour notre approche, des scénarios ont été étudiés pour montrer l'utilité de la RC, ceci en se basant sur le nombre de bandes libres et le temps d'utilisation de chacune, nous avons pu identifier 3 scénarios possibles:

- **Favorable (meilleur des cas) :** le récepteur détecte une bande libre et l'utilise durant tout le trajet sans aucune interruption causée par l'utilisateur primaire.
- **Défavorable (pire des cas) :** le récepteur ne détecte aucune bande libre (ensemble vide) ou alors il détecte quelques bandes mais leur utilisation interfère avec les utilisateurs primaires. Dans ce cas la RC n'est pas utilisée car l'utilisateur secondaire ne doit pas déranger les utilisateurs primaires.
- **Fréquent (*n fréquences avec n sauts*) :** le terminal utilise une bande libre b1 puis il y a une interruption causée par l'utilisateur primaire, donc il bascule vers une autre bande libre b2 (il a effectué un saut). Si l'utilisateur primaire de b2 a besoin de sa bande, l'utilisateur secondaire doit basculer une autre fois, et ainsi de suite, jusqu'à la fin de la condition où il opte pour la RC (avant de revenir à sa bande de fréquence initiale), il aura ainsi effectué n sauts.

Pour notre application, nous nous sommes basées sur le nombre de sauts effectués par la RC durant tout le trajet de l'utilisateur secondaire. Dans chacun des scénarios cités précédemment nous avons calculé le temps d'interruption qui est le temps nécessaire pour que le terminal puisse accéder à une bande libre et l'utiliser.

Le temps d'interruption sera défini ainsi : **T.interruption = (T.detection + T.établissement) x nombre de sauts.**

Le temps de détection est le temps nécessaire pour détecter une bande libre, il est négligeable par rapport au temps d'établissement, il est même inclus au temps d'établissement pour certains algorithmes qui traitent le handover diagonal (passage entre réseaux sans fil qui utilisent des technologies sous-jacentes communes comme la norme IEEE 802) ou le handover vertical (passage d'une technologie d'accès à une autre).

Dans la littérature, nous avons trouvé que le temps d'établissement nécessaire pour exploiter une bande de fréquence libre d'une autre technologie est de 5 secondes en moyenne [8] et [9].

T.detection << **T.établissement**, ce qui nous donne :

T.interruption = T.établissement x nombre de sauts.

On appelle temps de rupture : le temps nécessaire pour revenir à la bande de fréquence initiale, soit la somme du temps d'interruption et du temps d'utilisation de chaque bande, sachant que le temps d'utilisation peut différer d'une bande à une autre selon l'utilisateur primaire.

T.rupture = T.interruption + T.utilisation

D.3 Résultats de l'expérimentation

Pour appuyer notre proposition et mieux comprendre cela, nous avons comparé la QoS avec et sans la radio cognitive (cas sans radio cognitive signifie que le terminal concerné

possède une seule technologie d'accès et utilise la même bande de fréquence).

Les graphes ci-dessous illustrent cette comparaison. Afin qu'ils soient lisibles, nous avons supposé que le temps de rupture maximal est de 5 min et que l'ensemble des bandes libres contient 7 bandes.

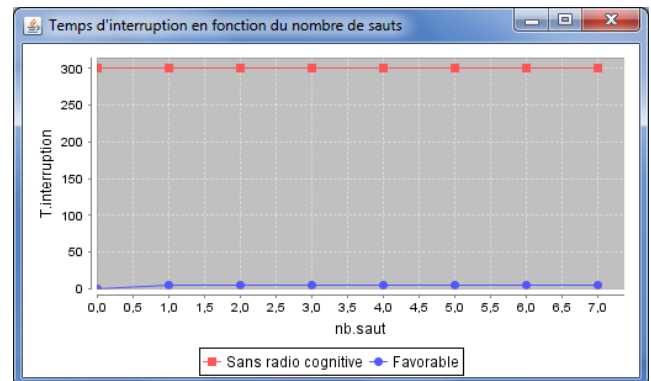


Fig. 7. Comparaison entre le scénario favorable et le cas sans radio cognitive

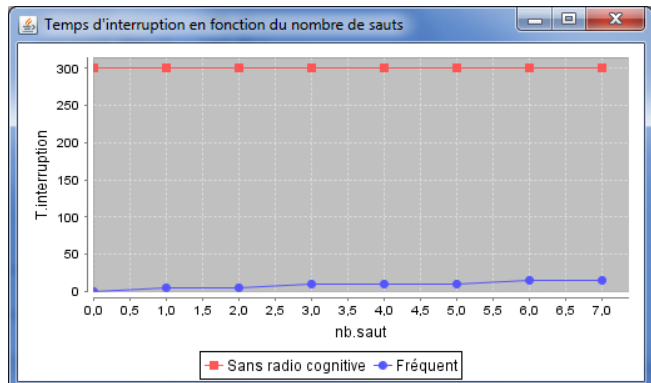


Fig. 8. Comparaison entre le scénario fréquent et le cas sans radio cognitive

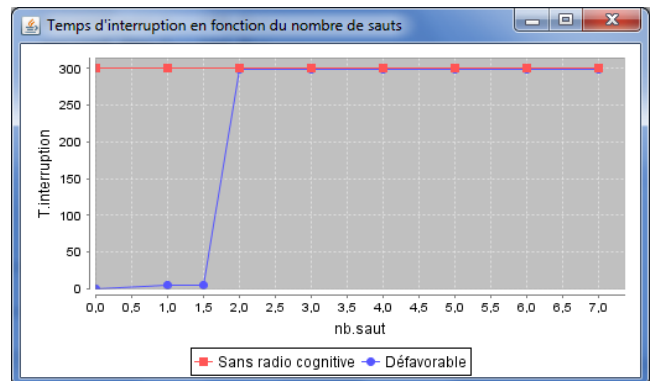


Fig. 9. Comparaison entre le scénario défavorable et le cas sans radio cognitive

D.4 Interprétation des résultats

Les graphes modélisés ci-dessus représentent le temps d'interruption en fonction du nombre de sauts effectué. Nous remarquons que quelque soit le nombre de sauts, le cas avec la RC reste bien meilleur que celui sans RC.

D'après le premier graphe, certes nous avons perdu 5 secondes pour se connecter à la nouvelle bande mais on voit que la RC nous a fait gagner 295s qui est le temps sans interruption.

Pour le deuxième graphe, nous avons effectué 3 sauts, c'est-à-dire que le temps d'interruption est de 5s x 3 sauts : 15s. Malgré cela, le cas avec RC reste toujours meilleur.

Concernant le troisième graphe, un seul saut a été effectué mais la connexion a été interrompue par l'utilisateur primaire dès le début, donc nous avons profité de la RC durant quelques secondes.

Résultat : quel que soit le nombre de sauts effectués, l'utilisation de la radio cognitive reste toujours plus efficace.

D.5 Diagramme récapitulatif

En résumé, les étapes suivies pour aboutir au résultat final sont décrites une à une ci-après :

Nous avons spécifié deux objectifs consistant à utiliser la RC quand le débit est de classe Bronze et de prouver ensuite l'importance de son utilisation. Ensuite, nous avons choisi la visioconférence pour appliquer notre approche.

Puis, vient l'étape de la collecte d'informations qui identifie les sources de données disponibles mais, ne disposant pas de données réelles, nous avons joué le rôle de l'expert pour attribuer les mesures et les étiqueter.

Après cela, une modélisation du problème s'est imposée. Pour cela nous avons utilisé des techniques d'apprentissage automatique tels que l'algorithme des *k plus proche voisin*, le *perceptron multi couche* et l'algorithme *C4.5*. Suite aux résultats nous avons retenu des règles du genre : **Si "Mercredi" et "8h-11h" alors "utiliser la radio cognitive"**.

Enfin une comparaison a été faite pour montrer que la RC est utilisée pour l'amélioration du lien sans fil. Et bien sûr une évaluation sera obligatoire une fois que l'on dispose de mesures réelles.

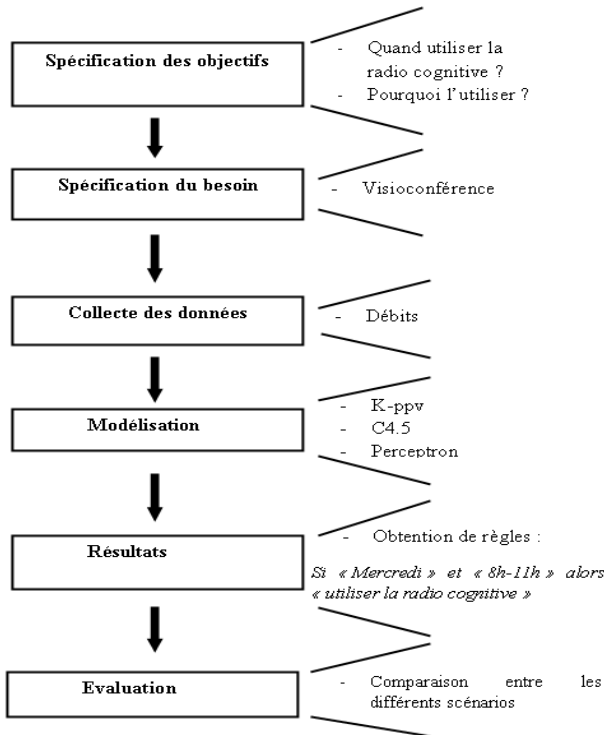


Fig. 10. Diagramme récapitulatif

V. CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce papier une nouvelle approche qui utilise la radio cognitive pour améliorer la fiabilité du lien sans fil pour un terminal radio cognitive mobile. Notre contribution se positionne dans l'étape 7 (apprentissage à partir d'événements) du cycle de cognition modifié. Notre rôle d'expert nous a permis de choisir le paramètre débit pour effectuer une classification qui permet au terminal

utilisé d'acquérir de l'expérience pour les prochains événements, c'est-à-dire qu'il saura l'heure et la date durant la quelle il activera la radio cognitive.

L'utilité de la radio cognitive est une hypothèse qu'on a pu prouver en se basant sur le temps nécessaire pour qu'une connexion à une nouvelle bande de fréquence s'établisse et ceci quel que soit le nombre de bandes de fréquences qu'un terminal utilise pour remédier à un échec de connexion.

Dans nos futurs travaux, nous chercherons à réduire l'impact de la mobilité sur les communications radio cognitive par construction de modèles de prédiction de la mobilité en se référant à des travaux déjà réalisés comme ceux de [10] et [11].

REFERENCES

- [1] J. Mitola, Cognitive radio – model-based competence for software radios, Licentiate Thesis, KTH, Stockholm (September 1999).
- [2] J. Neel, "Analysis and Design of Cognitive Radio Networks and Distributed Radio Resource Management Algorithms", Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, September 2006.
- [3] J-P. Vasseur, M. Pickavet, and P. Demeester, "Network Recovery: Protection and Restoration of Optical", SONET-SDH, IP, and MPLS, Elsevier, Ed. Morgan Kaufman, 2004.
- [4] A. P. Snow, U. Varshney, and A. D. Malloy, "Reliability and survivability of wireless and mobile networks," Computer, vol. 33, no. 7, Jul. 2000.
- [5] D. Tipper, T. Dahlberg, H. Shin, and C. Charnsripinyo, "Providing fault tolerance in wireless access networks," IEEE Commun. Mag., vol. 40, no. 1, Jan. 2002.
- [6] D. Tse and P. Viswanath, "Fundamentals of Wireless Communications". Cambridge University Press, 2005.
- [7] A. Azarfar, J-F Frigon, and B. Sanso, "Improving the Reliability of Wireless Networks Using Cognitive Radios". Mars 2011.
- [8] S. Busanelli, M. Martalò, G. Ferrari, and G. Spigoni, "Vertical Handover between WiFi and UMTS Networks: Experimental Performance Analysis", International Journal of Energy, Information and Communications Vol. 2, Issue 1, February 2011.
- [9] Z. Daia, R. Fracchia, J. Gosteau, P. Pellat, G. Viviera, "Vertical handover criteria and algorithm in IEEE 802.11 and 802.16 hybrid networks", Laboratoire de Motorola Paris.
- [10] N. Samaan, B. Benmammar, F. Krief, A. Karmouch. "Prediction-based Advanced Resource Reservation in a Mobile Environment". 18th IEEE Annual Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, CCECE05, May 1-4, 2005, Saskatoon Inn, Saskatoon, Saskatchewan Canada.
- [11] B. Benmammar and F. Krief. "Resource Management for End-to-End QoS in a Mobile Environment". 2nd IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob 2006). Montréal, Canada. June 19-21, 2006.