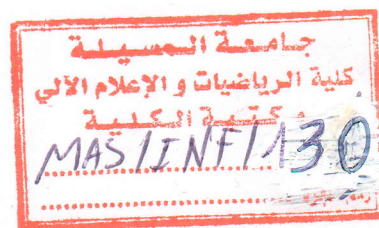




Ordre N°: .....

**UNIVERSITE DE M'SILA**  
**FACULTE DES MATHÉMATIQUES ET DE**  
**L'INFORMATIQUE**  
Département de l'informatique



Ce mémoire a été présenté  
Pour l'obtention du degré de Master en informatique  
Option: Réseaux  
Par: BELBECIR Ahmed Salim

**Sujet**

**Implémentation d'une Radio Logicielle**

Membres de jury :

.....  
.....  
.....

Encadré par:

DEBBI Aimad-eddine

Promotion: 2013 /2014

## TABLE DES MATIÈRES

---

Liste des Figures	iii
Liste des Tables	v
Introduction	1
<b>Chapitre 1: Présentation de la radio logicielle</b>	<b>3</b>
1.1 La diversité des normes . . . . .	3
1.2 Les réseaux sans-fil . . . . .	4
1.3 C'est quoi la radio logicielle? . . . . .	7
1.4 Ce que promet la radio logicielle . . . . .	8
1.5 Les types de la radio logicielle . . . . .	9
1.6 Domaines d'applications . . . . .	12
1.7 Avantages de la radio logicielle . . . . .	15
1.8 Architecture d'une radio logicielle . . . . .	16
1.9 Architecture des antennes . . . . .	19
1.10 Composantes logicielles . . . . .	20
1.11 Architecture et normes logicielles pour SDR . . . . .	21
1.12 Environnements de simulation et de développement . . . . .	26
<b>Chapitre 2: SDR spécifications matérielles et logicielles</b>	<b>28</b>
2.1 Introduction . . . . .	28
2.2 Composantes matérielles du SDR . . . . .	30
2.3 Plateformes existantes pour l'SDR . . . . .	42

2.4	SDR professionnelles . . . . .	43
2.5	SDR grand public . . . . .	44
2.6	USRP . . . . .	45
2.7	GNU Radio . . . . .	53
2.8	GNU Radio et USRP . . . . .	58
<b>Chapitre 3: Radio logicielle et étude de protocoles sans fil</b>		<b>60</b>
3.1	RFID . . . . .	61
3.2	802.15.4 / ZigBee . . . . .	64
3.3	802.11 . . . . .	70
<b>Chapitre 4: Réalisation</b>		<b>75</b>
4.1	GRC . . . . .	75
4.2	OFDM . . . . .	77
4.3	802.11 sous GRC . . . . .	79
<b>Conclusion</b>		<b>80</b>
<b>Bibliographie</b>		<b>82</b>

## INTRODUCTION

---

Jusque dans les années 80 les équipements de transmission radiofréquence concentraient l'essentiel de leur technologie dans l'association de composants analogiques peu flexibles et généralement dédiés à la mise en œuvre et l'exploitation d'une forme d'onde spécifique dans une bande de fréquences prédéterminée. Modifier le comportement d'un matériel se révélait impossible à moins de devoir remplacer certains composants. Ce paradigme qui a prévalu pendant près d'un siècle n'était plus viable face à l'explosion du nombre de normes de radiocommunication. Les progrès réalisés en informatique et en électronique numérique ont permis de remplacer une partie de la technologie analogique des systèmes de transmission radiofréquence par une composante numérique et logicielle, et donc une capacité à la configuration et la synthèse de différentes formes d'onde. C'est dans ce contexte qu'est apparu le concept de radio logicielle.

La radio logicielle exploite la puissance de traitement des technologies informatiques modernes pour émuler le comportement d'un circuit radio. Une radio logicielle est un système de radiocommunication configurable utilisant des techniques de traitement logiciel sur des signaux radio. Une radio logicielle multistandard doit pouvoir traiter plusieurs normes de communications radio ayant des spécifications différentes, à savoir des canaux de communications à bande étroite ou large, opérant à des fréquences pouvant atteindre plusieurs gigahertz et à des niveaux d'émission et de réception variés. Le traitement numérique doit être adapté à la norme sélectionnée et répondre aux exigences en termes de modulation et de technique d'accès.

L'émergence des radios logicielles au sein des équipements de radiocommunication apporte de la souplesse de fonctionnement, une grande évolutivité et permet de

réaliser des économies d'échelle. Mais la migration logicielle des fonctions de traitement du signal radio a aussi des inconvénients. En effet, de nombreuses normes de radiocommunication sont soumises à licence et/ou restrictions d'emploi. Les équipements conventionnels sont sensés respecter ces contraintes de fonctionnement. Depuis quelques années des radios logicielles " libres " apparaissent et sont commercialisés en dehors de tout cadre réglementaire. Ces équipements offrent la possibilité au plus grand nombre d'étudier le spectre radio, et notamment les protocoles de transmission radiofréquence. Divers projets universitaires emploient ces radios logicielles à des fins d'étude et de recherche dans des bandes de fréquences autorisées (exemple : bandes ISM). Mais rien n'empêche l'utilisation de ces équipements sur d'autres parties du spectre, pour par exemple étudier des réseaux sans fil (GSM, GPS, DECT, etc.).

Ce mémoire consiste dans un premier temps à procéder à une étude générale de la technologie radio logicielle (constituants, fonctions réalisées, différentes techniques), puis à dresser un panorama des radios logicielles " libres " plus ou moins disponibles (aspects matériels et logiciels), en se concentrant principalement sur les architectures matérielles USRP (versions 1 et 2), associées au projet logiciel GNU Radio, disponibles pour l'étude. Ensuite quelques protocoles de radiocommunication sont étudiés dans le cadre d'une mise en œuvre radio logicielle. Enfin la présentation d'une réalisation pratique.

## CONCLUSION

---

Ce memoire avait plusieurs objectifs. Il consistait dans une première partie à effectuer une étude complète de la technologie radio logicielle. Une seconde partie était dédiée à l'étude détaillée de la radio logicielle et une recherche bibliographique des radios logicielles présentes sur le marché ou chez les organismes de recherche. L'étude particulière des systèmes USRP1 et USRP2 et de l'architecture logicielle GNU Radio a conduit à effectuer une recherche sur les tentatives d'implémentation de protocoles de radiocommunication sur ces plateformes (troisième partie).

L'utilité de la radio logicielle s'est imposée au regard de la prolifération des standards de transmission radiofréquence. Elle a investi de nombreux domaines tels que les radios tactiques, la téléphonie mobile, le radioamateurisme et les équipements de test ou de mesure. Nous avons pu constater que la mise en œuvre d'une radio logicielle idéale était bloquée par des contraintes technologiques actuellement non résolues, et que la quasi-intégralité des radios logicielles actuelles implémente un circuit de transposition analogique de fréquence pour rendre le signal radiofréquence exploitable par les circuits de numérisation.

GNU Radio fournit un certain nombre de blocs de traitement du signal, mais à l'usage on se rend rapidement compte qu'ils sont loin de prendre en compte tous les cas de figure. Pour réaliser des circuits dits simples (émetteur/récepteur AM ou FM), l'utilisation du GNU Radio Companion (GRC) peut s'avérer suffisante et dans ce cas, seul une connaissance de la programmation en Python peut être nécessaire. Au-delà de ce niveau de complexité, il devient nécessaire de créer ses propres scripts Python, voire dans le cas de configurations plus sophistiquées, de créer ses propres blocs de traitement du signal, voire de modifier la configuration standard du processeur de traitement numérique du signal embarqué sur la carte mère de la plateforme matérielle

d'acquisition et de numérisation. Dans ce cas la connaissance d'un langage de description de circuits est nécessaire. D'une manière générale, GRC implémente peu de fonctions de démodulation, encore moins de décodage, et pas grand chose pour le traitement des données. Les traitements de niveau supérieur à la couche PHY, à savoir les couches protocolaires, devront donc systématiquement être programmés. Le succès commercial des solutions à base de SDR était jusqu'à récemment limité à cause du coût élevé et du peu de flexibilité des équipements programmables disponibles. Comparée au coût nettement supérieur (rapport de dix, voire plus) des SDR propriétaires, la configuration "USRP + GNU Radio" est très attractive, d'autant que les solutions dites professionnelles ne sont pas "libres". Avec l'arrivée de la GNU Radio une révolution dans les technologies de SDR est en marche et va permettre de réduire considérablement les coûts de développement et de déploiement de plateformes radios logicielles. Ce nouveau paradigme est mis en évidence par le nombre grandissant de projets d'applications radio récemment développées : récepteur RDS FM, solutions RFID, récepteur GPS, applications 802.11a/b/g/p et 802.15.4, etc.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [1] Global Security. *Joint Tactical Radio System – Programmable, Modular Communications System*. 2010, [en lignel. Disponible sur :  
<http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/jtrs.htm>
- [2] W. TUTTLEBEE. *Software defined radio: Origins, Drivers and International Perspective*. Éditions John Wiley & Sons Ltd. 25 janvier 2002. 350 pages. ISBN-10:0470844647. ISBN-13: 978-0470844649.
- [3] *Wireless Innovations Forum, ou SDR Forum 2.0*, [en lignel, Disponible sur :  
<http://www.sdrforum.org>
- [4] J.C. Briones, L.M. Handler, S.C. HALL, R.c. Reinhart et T.J. Kacpura. *Case Study :Using the OMG SWRADIO Profile and SDR Forum Input for NASA's Space Telecommunications Radio System*. Janvier 2009, [en lignel. Disponible sur :  
<http://gltrs.grc.nasa.gov/reports/2009/TM-2009-215478.pdf>
- [5] Dr. R. North, N. Browne et L. Schiavone. *Joint tactical radio system – Connecting the GIG to the tactical*. Military Communication Conference, Washington DC, 23 au 25 octobre 2006, [en lignel. Disponible sur :  
[http://entreprise.sapawar.navy.mil/UploadedFiles/JTRS\\_OVERVIEW\\_MILCOM06\\_v12.pdf](http://entreprise.sapawar.navy.mil/UploadedFiles/JTRS_OVERVIEW_MILCOM06_v12.pdf)
- [6] *Joint tactical radio system*. 2010 [en lignel. Disponible sur :  
<http://www.public.navy.mil/jpeojtrs/Pages/Welcome.aspx>
- [7] Ericsson AB, Huawei Technologies Co. Ltd, NEC Corporation, Nortel Networks Ltd, Alcatel Lucent, et Nokia Siemens Networks GmbH & Co. KG. *CPRI Specifications v4.1.2009*, [en lignel. Disponible sur :  
[http://www.cpri.info/downloads/CPRI\\_v\\_4\\_1\\_2009-02-18.pdf](http://www.cpri.info/downloads/CPRI_v_4_1_2009-02-18.pdf)
- [8] J.Mitola. *Cognitive Radio: An integrated Agent Architecture for Software Defined Radio*. Ph.D. dissertation, Royal Institute of Technology (KTH), Sweden, 2000, [en lignel Disponible sur :  
[http://web.it.kth.se/~maguire/jmitola/Mitola\\_Dissertation8\\_integrated.pdf](http://web.it.kth.se/~maguire/jmitola/Mitola_Dissertation8_integrated.pdf)
- [9] J.Mitola. *Software Radios: Survey, Critical Evaluation an future directions*. IEEE National Telesystem Conference. Mai 1992.

- [10] R. Farreli, M. Sanchez et G. Corley *Software-Defined Radio Demonstarators: An Example and future Trends*. 30 septembre 2008. [en ligne] Disponible sur : <http://www.hindawi.com/journals/ijdmb/2009/547650.html>
- [11] J. Mitola. *Software Radio architecture: Object Oriented Approaches to Wireless Systems Engineering*. Editions Wiley, 2000. 543 pages. ISBN 0471384925.
- [12] Ham Radio Control Libraries, [en ligne] Disponible sur : [http://sourceforge.net/apps/mediawiki/hamlib/index.php?title=Main\\_page](http://sourceforge.net/apps/mediawiki/hamlib/index.php?title=Main_page)
- [13] PrismTech. Spectra. 2010, [en ligne] Disponible sur : <http://www.prismttech.com/section-item.asp?sid4-&sid3-&sid2-54&sid-18&id-305>
- [14] Zeligsoft. *Zeligsoft SDR/SCA*. 2010, , [en ligne] Disponible sur : <http://www.zeligsoft.com/solutions/sdr-sca>
- [15] *SCA Based Open Source Defined Radio*, [en ligne] Disponible sur : <http://ossie.wireless.vt.edu>
- [16] *SCARI OPEN : Software Communication Architecture – References Implementation*. Communication Research Center - Canada, [en ligne] Disponible sur : [http://www.crc.gc.ca/en/html/crc/home/research/satcom/rars/sdr/products/scari\\_\\_open/scari\\_\\_open](http://www.crc.gc.ca/en/html/crc/home/research/satcom/rars/sdr/products/scari__open/scari__open)
- [17] G. Abgrall, F. Le Roy, J.P. Delahaye, J.P. Diguët et G. Gogniat. *A comparative study of two software defined radio platforms*. SDR 08 Technical Conference and Product Exposition, 26 au 30 octobre 2008, Washigton D.C, [en ligne] Disponible sur : <http://data.memberclicks.com/site/sdf/SDR08-4.2-4.pdf>
- [18] *Catalog of OMG Specifications*, [en ligne] Disponible sur : [http://www.omg.org/technology/documents/domain\\_spec\\_catalog.htm](http://www.omg.org/technology/documents/domain_spec_catalog.htm)
- [19] *GNU Radio*, [en ligne] Disponible sur : <http://gnuradio.org/redmine/wiki/gnuradio>
- [20] *GNU Radio - the open-source software radio*, [en ligne] Disponible sur : <http://gnuradio.squarespace.com>
- [21] *Guide d'installation GNU Radio*, [en ligne] Disponible sur : <http://gnuradio.org/trac/wiki/BuildGuide>
- [22] Mathworks, Recorded Webinar : Developing Software Defined Radio Systems Using MATLAB and Simulink. 16 mars 2006, [en ligne] Disponible sur : <http://www.mathworks.com/company/events/webinars/wbnr30307.html>
- [23] Xilinx, Inc. *System Generator for DSP*. 2010, [en ligne] Disponible sur : <http://www.xilinx.com/tools/sysgen.htm>
- [24] Altera, Inc. *DSP Builder / Simulink*. 2010, [en ligne] Disponible sur : <http://www.altera.com/technology/dsp/dsp-builder/dsp-simulink.html>
- [25] *Qu'est-ce que labVIEW?*, [en ligne] Disponible sur : <http://www.ni.com/labview/whatis/f>

- [26] National Instruments. *Logiciels pour les RF et les communications*, [en lignel] Disponible sur :  
<http://www.ni.com/rf/software.htm>
- [27] *SystemVue Electronic System-level (ESL), Design Software*, [en lignel] Disponible sur :  
<http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsp?nid=34264.0.00&lc=eng&cc=US>
- [28] SystemVue 2010.01, related products, [en lignel] Disponible sur :  
<http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsp?cc=FR&lc=fre&nid=34264.925868&pageMode=RL>
- [29] *ISE WebPACK Design Software*, [en lignel] Disponible sur :  
<http://www.xilinx.com/tools/webpack.htm>
- [30] *Xilinx ISE Design Suite 12*, [en lignel] Disponible sur :  
<http://www.xilinx.com/support/download/index.htm>
- [31] *Anadigm AN231E04 datasheet Rev 1.1 Dynamically Reconfigurable dpASP*, [en lignel]. Disponible sur :  
[http://www.anadigm.com/\\_doc/DS231000-U001.pdf](http://www.anadigm.com/_doc/DS231000-U001.pdf)
- [32] *Lyrtech Small Form Factor development platforms*, [en lignel]. Disponible sur :  
[http://www.lyrtech.com/Products/SFF\\_SDR\\_development\\_platforms.php](http://www.lyrtech.com/Products/SFF_SDR_development_platforms.php)
- [33] National Instruments. *Test RF et sans fil*, [en lignel]. Disponible sur :  
<http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/mi/lang/fr/pg/1/sn/n17:mi,n21:1914/>
- [34] *National Instruments Software-Defined Radio*, [en lignel]. Disponible sur :  
<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/8787>
- [35] *PM-SDR*, [en lignel]. Disponible sur :  
<http://www.iw3aut.altervista.org/index.htm>
- [36] *Ettus Research LLC*, [en lignel]. Disponible sur :  
<http://www.ettus.com/>
- [37] *The wireless Innovation Forum Announces Annual Award Finalists*, [en lignel]. Disponible sur :  
<http://www.businesswire.com/news/home/20101118007162/en>
- [38] Ettus Research LLC. *USRP Family Brochure 2010*. [en lignel]. Disponible sur :  
[http://www.ettus.com/downloads/ettus\\_broch\\_trifold\\_v7b.pdf](http://www.ettus.com/downloads/ettus_broch_trifold_v7b.pdf)
- [39] *EZ-USB FX2 USB Microcontroller High-Speed USB Peripheral Controller*, [en lignel]. Disponible sur :  
[http://www.keil.com/dd/docs/datashts/cypress/cy7c68xxx\\_ds.pdf](http://www.keil.com/dd/docs/datashts/cypress/cy7c68xxx_ds.pdf)
- [40] *UHD – Daughterboard Application Notes*, [en lignel]. Disponible sur :  
[http://www.ettus.com/uhd\\_docs/manual/html/dboards.html](http://www.ettus.com/uhd_docs/manual/html/dboards.html)
- [41] *UHD Start*, [en lignel]. Disponible sur :  
<http://code.ettus.com/redmine/ettus/projects/uhd/wiki>

- [42] Ettus Research LLC. *TX and RX Daughterboards*. 2010. [en lignel. Disponible sur : [http://www.ettus.com/downloads/ettus\\_ds\\_USRP\\_TXRX\\_v5b.pdf](http://www.ettus.com/downloads/ettus_ds_USRP_TXRX_v5b.pdf)
- [43] Ettus Research LLC. *Transceiver Daughterboards*. 2010. [en lignel. Disponible sur : [http://www.ettus.com/downloads/ettus\\_ds\\_transceiver\\_dbrds\\_v6c.pdf](http://www.ettus.com/downloads/ettus_ds_transceiver_dbrds_v6c.pdf)
- [44] *Exploring GNU Radio*, [en lignel. Disponible sur : <http://www.gnu.org/software/gnuradio/doc/exploring-gnuradio.html>
- [45] *How to Write a Signal Processing Block*, [en lignel. Disponible sur : <http://www.gnu.org/software/gnuradio/doc/howto-write-a-block.html>
- [46] *Tutoriel Python pour GNU Radio*, [en lignel. Disponible sur : <http://gnuradio.org/redmine/wiki/1/TutorialsWritePythonApplications>
- [47] *SWIG*, [en lignel. Disponible sur : <http://www.swig.org/index.php>
- [48] *GNU Radio Companion*, [en lignel. Disponible sur : <http://gnuradio.org/redmine/wiki/1/GNURadioCompanion>
- [49] J. BLUM. Tutorial "The Gnuradio Companion (GRC)". 5 octobre 2009. [en lignel. Disponible sur : [http://www.joshknows.com/download/grc\\_old/grc\\_gnuradio\\_hackfest\\_2009\\_09\\_06.pdf](http://www.joshknows.com/download/grc_old/grc_gnuradio_hackfest_2009_09_06.pdf)
- [50] *Version 5.0 (R2010b) Communications Blockset Software*, [en lignel. Disponible sur : <http://www.mathworks.com/help/toolbox/commblks/rn/bsj18d4.html#bsjrdu7>
- [51] *Simulink-USRP: Universal Software Radio Peripheral (USRP) Blockset*, [en lignel. Disponible sur : <http://www.cel.kit.edu/downloads.php>
- [52] P. J. BALISTER, M. ROBERT, J. REED. *Impact of the use of CORBA for Inter-Component Communication in SCA Based Radio*. SDR Forum Technical Conference, Orlando, novembre 2006, [en lignel. Disponible sur : <http://data.memberclicks.com/site/sdf/sdr06-1.1-4.pdf>
- [53] *The Comprehensive GNU Radio Archive Network (CGRAN)*, [en lignel. Disponible sur : <https://www.cgran.org/>
- [54] *GEDA project's homepage*, [en lignel. Disponible sur : <http://www.gpleda.org/index.html>
- [55] *Frequencies for RFID-systems*, [en lignel. Disponible sur : <http://www.rfid-handbook.de/rfid/frequencies.html>
- [56] *RFID Hacking*. 23rd Chaos Communication Congress « Who can you trust? ». 28 décembre 2008, [en lignel. Disponible sur : [http://events.ccc.de/congress/2006/Fahrplan/attachments/1232-23C3-RFID\\_Hacking-3.pdf](http://events.ccc.de/congress/2006/Fahrplan/attachments/1232-23C3-RFID_Hacking-3.pdf)

- [57] The comprehensive GNU Radio Archive Network. *Gen 2 RFID Tools*, [en lignel]. Disponible sur :  
<http://www.cgran.org/wiki/Gen2>
- [58] M. BUETTNER, D. WETHERALL. *A "Gen 2" RFID Monitor Based on the USRP*. [en lignel]. Disponible sur :  
<http://www.cs.washington.edu/homes/buettner/docs/p42-2v40n3k-buettnerA.pdf>
- [59] *ORFIDGeoloc. Solution de géo-localisation à bord de la frégate Lafayette de la Marine nationale*, [en lignel]. Disponible sur :  
<http://www.orfidee.com/downloads/orfidgeolocfinal.pdf>
- [60] *Implementation of an IEEE 802.15.4 Transceiver with a Software-defined Radio setup*. Embedded World 2008 (26. - 28. February 2008, Nürnberg, Deutschland), [en lignel]. Disponible sur :  
[http://www.ceesar.ch/fileadmin/Dateien/PDF/NewsEvents/emw2008\\_paper\\_Knauth.pdf](http://www.ceesar.ch/fileadmin/Dateien/PDF/NewsEvents/emw2008_paper_Knauth.pdf)
- [61] T. SCHMID, T. DREIER et M. B. SRIVASTAVA. *Software Implementation of Shortrange Wireless Standards for Sensor Networking*. SenSys 2006, novembre 2006, [en lignel]. Disponible sur :  
[http://www.inf.ufsc.br/~tiagorm/Thomas\\_Schmid\\_PAPER.pdf](http://www.inf.ufsc.br/~tiagorm/Thomas_Schmid_PAPER.pdf)
- [62] T. SCHMID, O. SEKKAT et M. B. SRIVASTAVA. *An experimental study of network performance impact of increased latency in software defined radios*. Mobicom Wintech Workshop, Montréal (Canada), septembre 2007, [en lignel]. Disponible sur :  
<http://tschmid.webfactional.com/media/media/documents/pdf/2010/01/23/wintech401-schmid.pdf>
- [63] The Comprehensive GNU Radio Archive Network. UCLA Zigbee, [en lignel]. Disponible sur :  
<https://www.cgran.org/wiki/UCLAZigBee>
- [64] L. CHOONG. *Multi-Channel IEEE 802.15.4 Packet Capture Using Software Defined Radio*. UCLA Networked & Embedded Sensing Lab. University of California, Los Angeles. Mars 2009, [en lignel]. Disponible sur :  
[http://nesl.ee.ucla.edu/fw/thomas/leslie\\_choong\\_multichannel\\_ieee802154.pdf](http://nesl.ee.ucla.edu/fw/thomas/leslie_choong_multichannel_ieee802154.pdf)
- [65] J. IL CHOI, M. JAIN, K. SRINIVASAN, P. LEVIS et S. KATTI. *Achieving single channel, full duplex wireless communication*. MOBICOM 2010, Chicago, Illinois, États-Unis. 20 au 24 septembre 2010, [en lignel]. Disponible sur :  
<http://sing.stanford.edu/pubs/mobicom10-duplex.pdf>
- [66] *IEEE Std 802.11TM-2007*, [en lignel]. Disponible sur :  
<http://www.cs.jhu.edu/~cliang4/public/datasheets/802.11-2007.pdf>
- [67] *Official IEEE 802.11 Working Group Project Timelines*, [en lignel]. Disponible sur :  
[http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/802.11\\_Timelines.htm](http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/802.11_Timelines.htm)
- [68] J.R. GUTIERREZ-AGULLO, B. COLL-PERALES et J. GOZALVEZ. *An IEEE 802.11 MAC Software Defined Radio Implementation for Experimental Wireless Communications and Networking Research*. IFIP/IEEE Wireless Days 2010 (WD'10). 21 octobre 2010. Venise (Italie), [en lignel]. Disponible sur :  
<http://www.uwicore.umh.es/publicationsall.Html>

- [69] P. ROSHAN et J. LEARY. *802.11 Wireless LAN Fundamentals*. Cisco Press, 2003, [en lignel. Disponible sur :  
<http://docstore.mik.ua/cisco/pdf/other/Cisco%20Press,%20802.11%20Wireless%20Lan%20Fundamentals%20%282003%29%20Kb.pdf>
- [70] K. Y. SHAH. *Computational complexity of signal processing functions in software radio*. Bachelor of Engineering in Electronics and Communication. Gujarat University. Master of Science in electrical engineering. Université d'État de Cleveland. Décembre 2010, [en lignel. Disponible sur :  
<http://etd.ohiolink.edu/sendpdf.cgi/Shah%20Kushal%20Yogeshkumar.pdf?csu1292854939>
- [71] *FTW IEEE802.11a/g/p OFDM Frame Encoder*, [en lignel. Disponible sur :  
<https://www.cgran.org/wiki/ftw80211ofdmtx>
- [72] K. MANDKE, R. C. DANIELS, R. W. HELATH JR et S. M. NETTLES. *On the challenge of building a multi-antenna software defined packet radio*. Wireless Networking & Communications Group (WNCG). Department of Electrical & Computer Engineering, University of Texas (Austin). 2008, [en lignel. Disponible sur :  
<http://netlab.ece.utexas.edu/hydra/docs/sdr2008.pdf>
- [73] *Adroit GNU Radio development*, [en lignel. Disponible sur :  
<http://acert.ir.bbn.com/projects/adroitgrdevel>.
- [74] H. FIROOZ. *Implementation of Full-Bandwidth 802.11b Receiver*. University of UTAH, [en lignel. Disponible sur :  
<http://span.ece.utah.edu/pmwiki/pmwiki.php?n=Main.80211bReceiver>

## Résumé:

Les progrès réalisés en électronique numérique et en informatique ont permis de Remplacer une partie de la technologie analogique des systèmes de radiocommunication par une composante numérique et logicielle, et donc une capacité à la configuration et la synthèse de différentes formes d'onde. Depuis quelques années des radios logicielles « libres » apparaissent. Ces équipements offrent la possibilité au plus grand nombre d'étudier le spectre radio, et notamment les protocoles de transmission radiofréquence. Après une étude détaillée de la technologie radio logicielle, un panorama des équipements plus ou moins « libres » est réalisé, en se concentrant principalement sur les architectures matérielles USRP associées au projet logiciel GNU Radio ainsi que sur l'emploi de ces équipements pour étudier et mettre en oeuvre quelques protocoles de radiocommunication.

Mots clés : radio logicielle, électronique numérique, informatique, USRP, GNU Radio, protocoles

## Abstract:

Advances in digital electronics and computing have helped in replacing some of the analog modules of radio communication systems with digital and software components, and thus the ability to configure and to synthesize various waveforms. In recent years, "open-source" software-defined radios emerge. These devices provide the opportunity for many people to study the radio spectrum, including wireless protocols. After a detailed study of the software radio technology, an overview of more or less "open-source" products has been performed, focusing mainly on USRP hardware architecture associated with the GNU Radio project. Finally wireless standards have been explored through implementations based on these tools.

Key words: software radio, digital electronics, computer, USRP, GNU Radio, protocols.

## ملخص:

بفضل الإنجازات المحصلة في مجالي الإلكترونيات والإعلام الآلي صار بالإمكان إستبدال جزء من المكونات الفيزيائية للأجهزة اللاسلكية بأخرى رقمية وبرمجيات مما يزيد من قدرة على إستعمال موجات لاسلكية مختلفة. منذ عدة سنوات ظهرت عدة إصدارات حرة من أجهزة البرمجيات اللاسلكية. هذه الأخيرة تسمح بإمكانية دراسة الطيف اللاسلكي فضلا عن البروتوكولات الاتصالات اللاسلكية. بعد دراسة معمقة حول تكنولوجيا البرمجيات اللاسلكية قمنا بتصميم عدة أمثلة عن أجهزة هي في الأصل لاسلكية بواسطة هذه البرمجيات و بالإعتماد على معدات من نوع USRP مرفقة بالمشروع البرمجي GNU Radio من أجل دراسة وتصميم بعض بروتوكولات الإتصال اللاسلكي.

كلمات مفتاح: البرمجيات اللاسلكية, الكرونك الرقمية, الإعلام الآلي, USRP, GNU Radio, بروتوكولات