

BIENVENUE jeudi 20 mars 2014 CNIT Paris la Défense

CONFERENCE : Emergence de la radio logicielle (SDR) dans la radio à courte portée

Applications dans les réseaux informatiques et M2M

- Radio logicielle dans les systèmes radio à courte portée.- M. Philippe Maliet – AEMC.*
- Gestion de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fils. - M. Olivier Berder - ENSSAT Lannion*
- Comment optimiser les liens radio dans les environnements M2M perturbés ?. - M. Pascal Saguin - Adeunis RF.*
- Les clefs pour des réseaux M2M/Internet des objets à fort potentiel d'évolution. - M. Christophe Fourtet - SigFox*

Plan de la présentation

- *Point sur les évolutions de la radio depuis 1970*
- *Les défis des transmissions radio*
- *Les défis de la radio à courte portée*
- *Le WebSDR pour observer les évolutions de la radio*
- *Panorama des SRD (Short Range Devices)*
- *Caractéristiques comparées de SRD*
- *Internet des objets*
- *Réseaux Zigbee*
- *System on Chip : Transceiver ZigBee ChipCon / TI CC2420*
- *Outils de développement / Analyse*
- *Architecture matérielle USRP Ettus/NI N210*
- *Développements logiciels USRP : National Instruments platform*
- *Développements logiciels USRP : Gnu radio + Linux Ubuntu*
- *Développements logiciels GNUradio : récepteur panoramique gqrx*
- *Systèmes de transmission non radio pour réseaux locaux*
- *Retour d'expérience CEM pour la radio à courte portée (SRD)*



Point sur les évolutions de la radio depuis 1970

Les technologies radio ont été totalement renouvelées depuis les années 1970 par :

- La miniaturisation : CMS, Composants numériques FPGA, DSP, VLSI et SoC, circuits actifs Silicium à faible bruit, circuits imprimés multicouches
- Les économies d'échelle, les suites de développement matériel et logiciel, les logiciels libres qui permettent de réduire les coûts
- Le codage numérique en flux I / Q : Constellations en amplitude et en phase
- Les techniques mathématiques de traitement du signal : Exemple des FFT, corrélateurs
- L'informatique nomade qui crée des besoins en interconnexions sans fil
- La technique de la synthèse de fréquence synchronisée sur des quartz qui permettent un faible bruit de phase
- La récupération opportuniste de fréquences polluées par des sources ISM.
- La libération de fréquences occupées par les militaires
- La maîtrise des hyperfréquences qui permet de récupérer de plus en plus de spectre et de réutiliser les fréquences sur des petites cellules. On sait réaliser des antennes de bon rendement et de petite taille en hyperfréquences.

La tendance est la radio définie par logiciel avec le maximum de matériel sur Silicium : Software Defined Radio (SDR) ; System on Chip (SoC).

Les réseaux deviennent auto-reconfigurables : radio cognitive

Utilisation optimisée du spectre : L'étalement de spectre et le décodage par corrélation permet d'empiler plusieurs transmissions sur la même fréquence.

C'est de plus en plus le logiciel qui contrôle les dérives du matériel.

Les défis des transmissions radio

Depuis le départ vers 1900, les défis de la radio n'ont cessé de devenir plus sévères :

- Les signaux parasites n'ont cessé d'augmenter en niveau et en gamme de fréquences (c'est un des métiers d'AEMC que de les maîtriser afin d'obtenir le respect des gabarits du marquage CE)

→ Remèdes : Choisir une modulation différente de celle des parasites. Invention de la modulation FM pour contrer les parasites modulés en AM.

Utiliser des codes correcteurs d'erreur, des procédures d'acquiescement.

- Les canaux de transmission ont un affaiblissement variable dans le temps et en fonction de la fréquence et ils comportent des trajets multiples (Cf. la variabilité des canaux ionosphériques)

→ Les remèdes sont l'étalement de spectre : modulation OFDM, l'entrelacement.

- De plus en plus d'utilisateurs du spectre à satisfaire y compris pour des applications non radio comme l'ISM donc les fréquences doivent être partagées

→ Les remèdes sont les multiplexages :

-Temporel = TDMA : MIC ; téléphonie GSM)

-Code = CDMA : téléphonie UMTS 3G

Remplacement du mode circuit dans une infrastructure par le mode paquets avec auto-acheminement

- Les mobiles souffrent de fading rapide de propagation et de trajets multiples (Modulation AM parasite)

→ Remèdes : Modulation FM ; étalement de spectre, entrelacement, diversité de polarisation et d'antenne.

Les défis de la radio à courte portée

- **Les objets transreceivers doivent être économiques en achat et exploitation et apporter le minimum de contraintes :**

→ Remèdes :

- 1) Bande sans Licence donc polluée par les ISM avec contrainte de faible puissance et de portée réduite (Contrainte pouvant être levée par exemple avec les réseaux ZigBee.
- 2) La bande ISM 2,45 GHz / $\lambda = 12$ cm harmonisée à l'échelle mondiale permet d'avoir des antennes efficaces avec une petite taille.
- 3) Les modulations utilisées permettent d'utiliser au mieux le spectre disponible et les liaisons se font en mode paquets ce qui permet d'empiler beaucoup d'utilisateurs.
- 4) Les progrès de la technologie en silicium et du traitement du signal permettent d'obtenir des Systèmes On Chip à bas cout et avec très peu de composants périphériques.

Axes d'amélioration en cours

Les premières normes Wifi et Bluetooth n'ont pas été optimisées pour la consommation d'énergie.

La norme ZigBee IEEE 802-15-4 permet d'avoir un capteur typique en réseau alimenté pendant 2 ans par une pile.

L'utilisation de la bande 5 GHz introduit l'adaptativité des canaux de fréquence en plus de celle des débits.

Les normes en cours de déploiement ex: EN 300-328 conduisent à l'amélioration des performances radio : Prise en compte des perturbations apportées par les brouilleurs sur les canaux adjacents etc.

Bandes de fréquences Industriel Scientifique Médical

Bandes de fréquence ISM	Fréquence Centrale	$\frac{\Delta F}{F_c}$	Exemples d'utilisation & Notes
6765 - 6795 kHz	6780 kHz	± 0,2 %	Purification des semi-conducteurs ; RFID Polymérisation résines bois CTP ; C.B. ; Diathermie
13553 - 13567 kHz	13560 kHz	± 0,05 %	
26957 - 27283 kHz	27120 kHz	± 0,6 %	
40,66 - 40,70 MHz	40,68 MHz	± 0,05 %	(1) (2)
433,05 - 434,79 MHz	433,92 MHz	± 0,2 %	
902 - 928 MHz	915 MHz	± 1,4 %	(3) Très important
2400 - 2500 MHz	2450 MHz	± 2 %	Fours ; Réseaux locaux : WiFi , Bluetooth, ZigBee HyperLan
5725 - 5875 MHz	5800 MHz	± 1,3 %	
24 - 24,25 GHz	24,125 GHz	± 0,5 %	(1)
61 - 61,5 GHz	61,25 GHz	± 0,4 %	
122 - 123 GHz	122,5 GHz	± 0,4 %	
244 - 246 GHz	245 GHz	± 0,4 %	(1)

(1) Fréquence soumise à restrictions

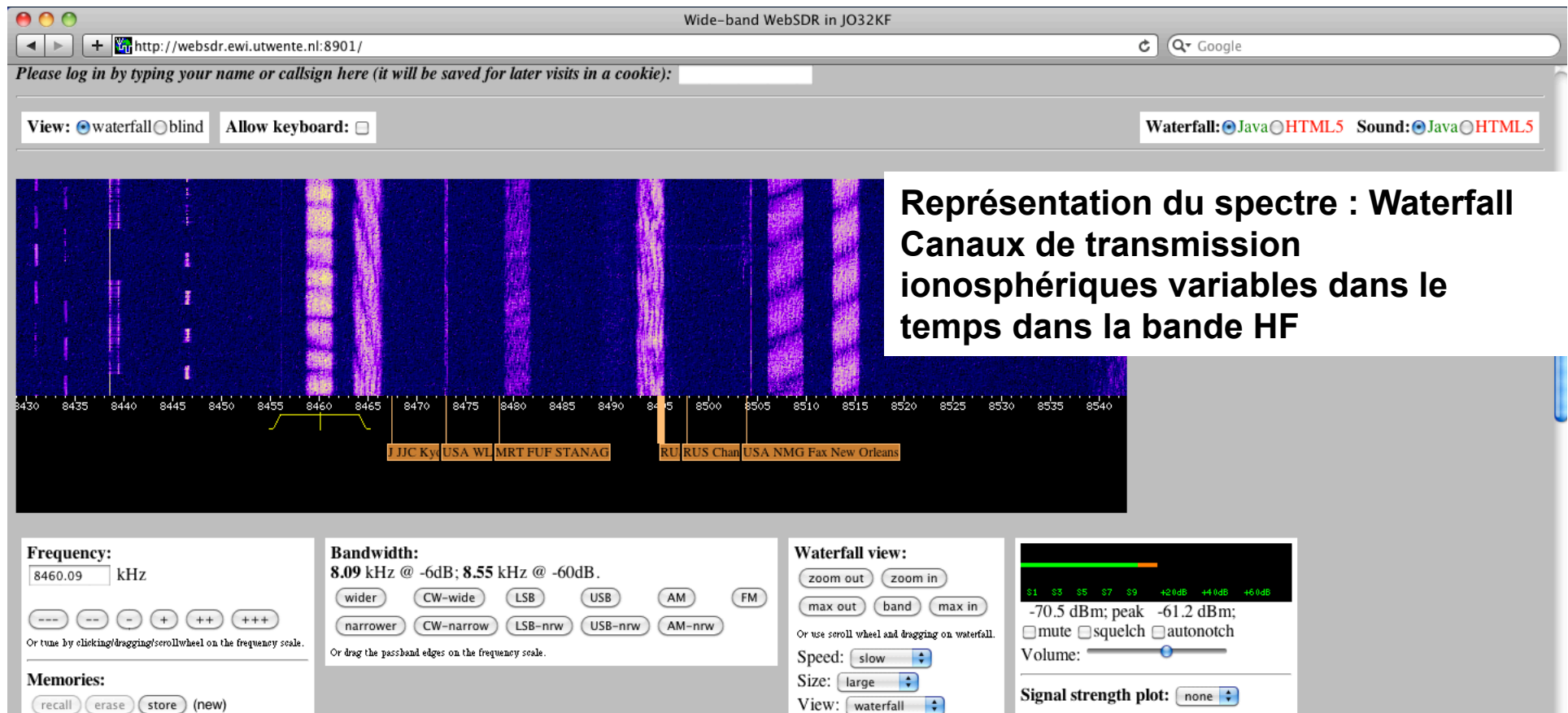
(2) Fréquence utilisable seulement en région 1 de l'UIT (Europe, Afrique) soit France Métropolitaine, La Réunion et Mayotte pour le territoire français.

(3) La bande de fréquence 902-928 MHz est utilisable seulement en région 2 de l'UIT (Amériques) soit pour le territoire Français en Martinique, Guadeloupe, Guyane et Saint Pierre Miquelon.
Cette bande n'est pas autorisée de plein droit en France Métropolitaine.

Le WebSDR pour observer les évolutions de la radio

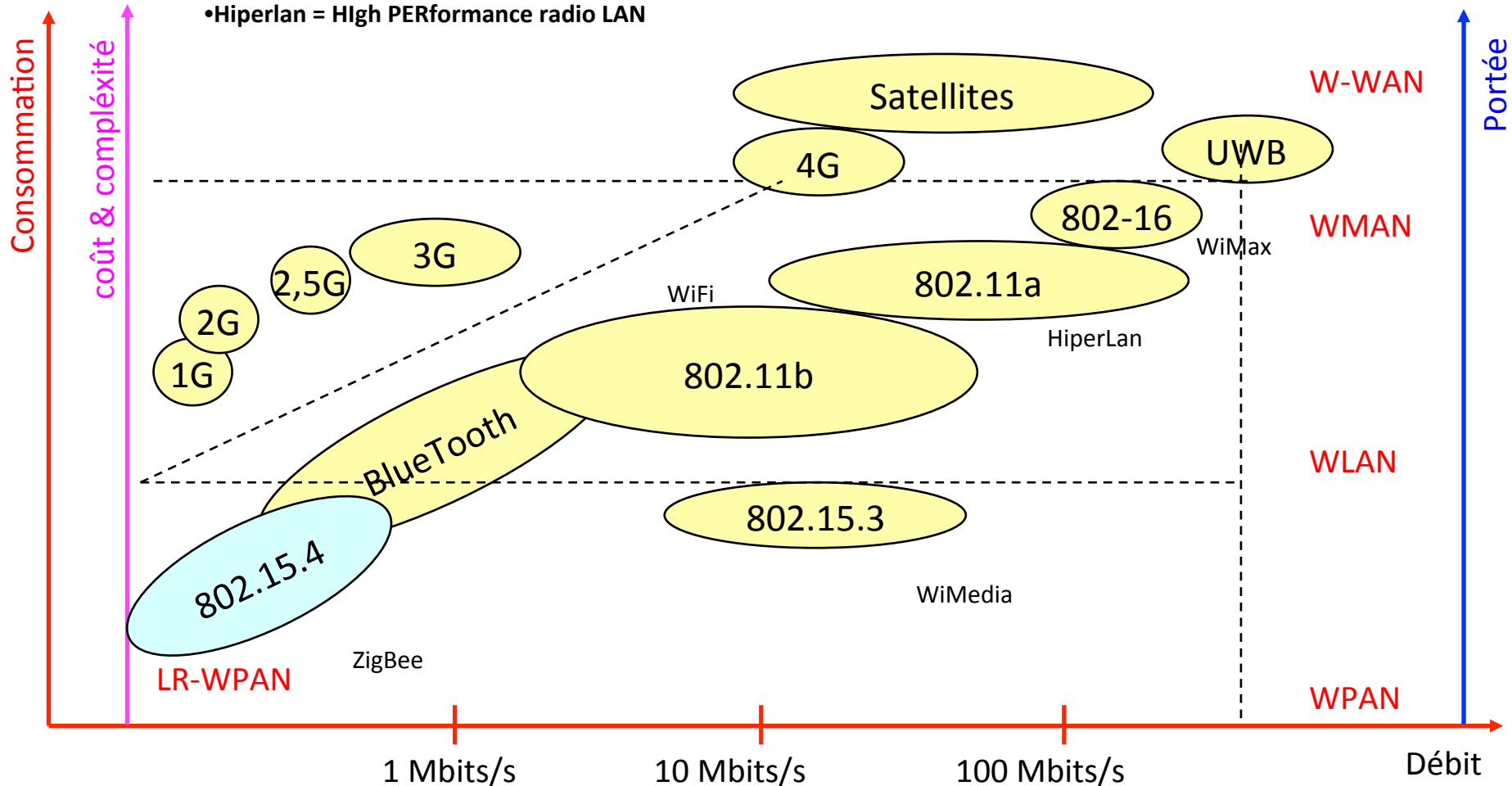
L'observation du spectre radio entre 10 kHz et 30 MHz montre les évolutions de la radio avec la disparition progressive de la radio-diffusion AM au profit de liaisons utilitaires en mode d'étalement de spectre avec OFDM pour :

- Les forces armées (Pas d'infrastructures), la détection par radars bi-statiques (radars OTH)
- Les ambassades et autres organisations étatiques , des organisations privées ou commerciales diverses
- Les ONG, services d'urgence
- Les services de météorologie
- Les services mobiles aéronautiques et maritimes

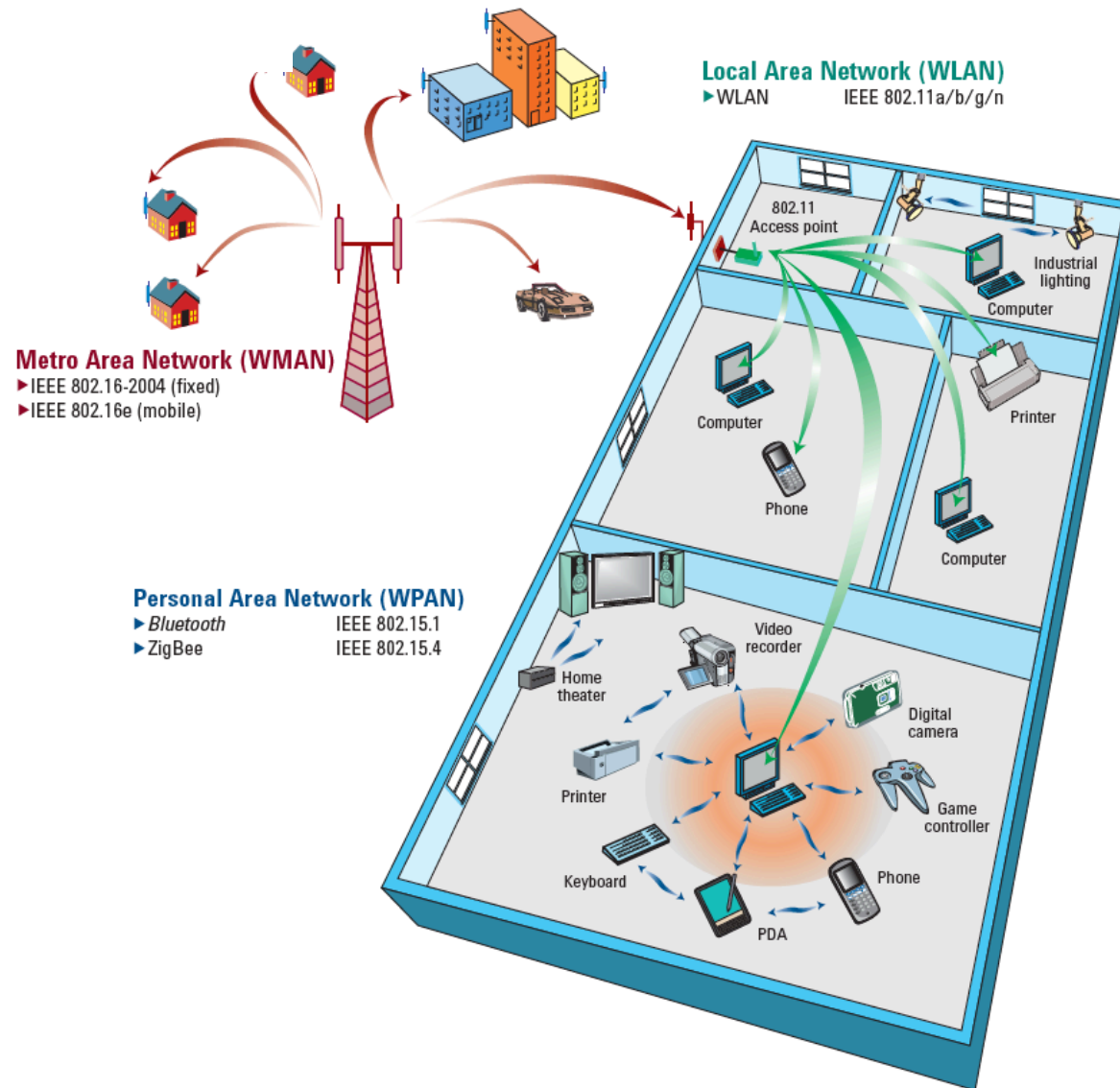


Panorama des SRD (Short Range Devices)

- W-WAN = Wireless Wide Area Network
- WMAN = Wireless Metropolitan Area Network = BLR = Boucle locale Radio ; exemple WiMAX
- WLAN = Wireless Local Area Network
- WPAN = Wireless Personal Area Network ; LR-WPAN = Low Rate Wireless Personal Area Network
- WiFi = Wireless Fidelity ; WiMedia = Ultra Wide Band Media
- Hiperlan = High PERFORMANCE radio LAN



SRD et réseaux de télécommunications



D'après Agilent

Caractéristiques comparées de SRD

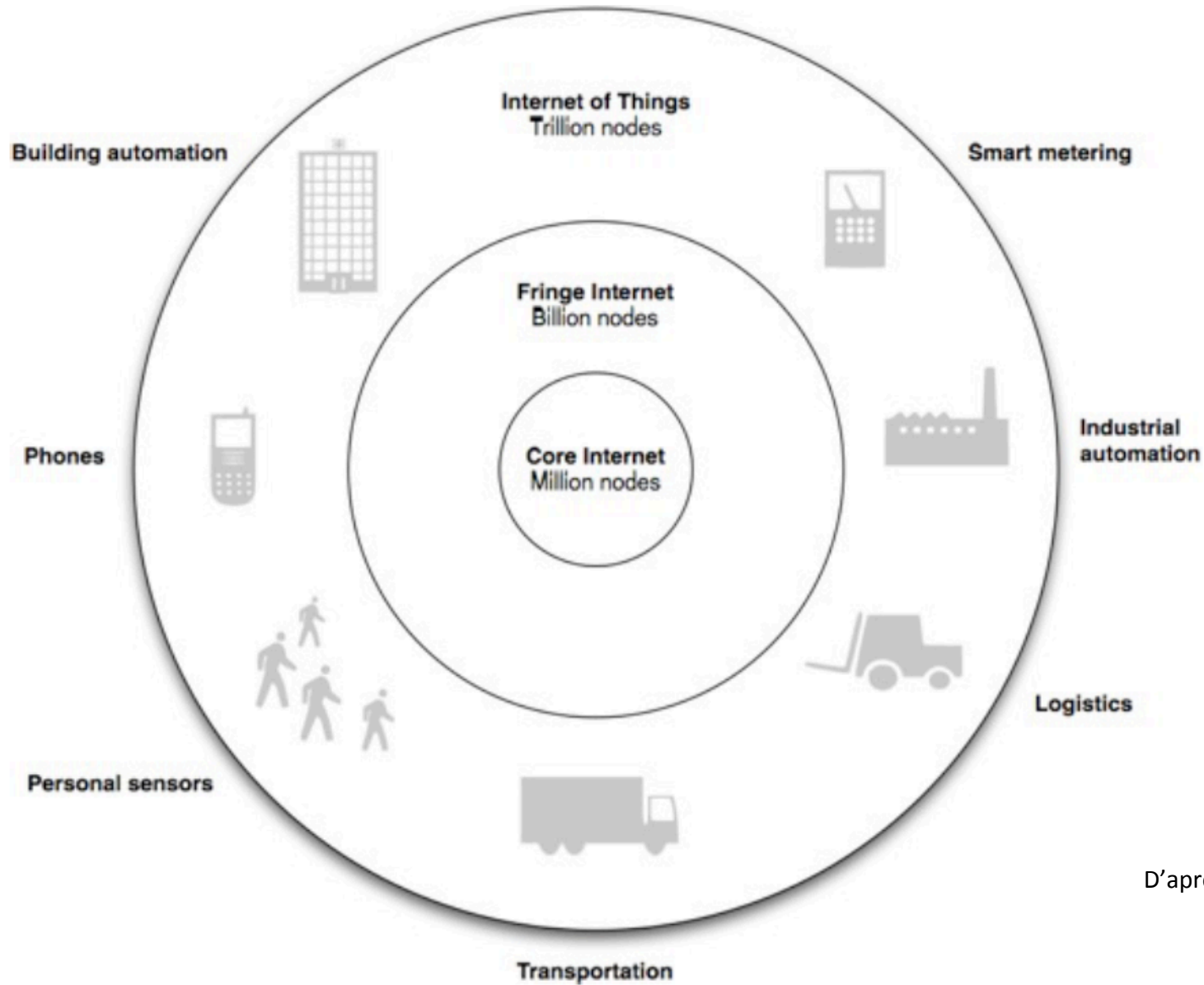
SRD = Short Range Devices ou Small Radio Devices (N.p.c. avec SDR : Software Defined Radio)

Dispositifs de petite taille et à faible portée assurant des liens radio

- 1) Avec une puissance émise suffisamment faible pour ne pas nécessiter de licence
- 2) Et / ou utilisant des bandes de fréquences allouées aux ISM
- 3) Utilisant un réseau privé donc avec un coût de licence

Désignation	Norme	Bande de fréquence	Modulation	Etalement de spectre	débit	Service	Licence	commentaires
Wifi Wireless Fidelity	802-11 b, g, n	ISM 2400 MHz-2483 MHz 5 GHz U-NII	BPSK, QPSK	DSSS ; OFDM	54 Mbits/s à 300 Mbits/s	WLAN Flux de données haut débit	Sans	Non optimisé en consommation électrique
BlueTooth	802-15.1	ISM 2400 MHz-2483 MHz	GFSK	FHSS 1600 Hz	1 Mbits/s	WPAN	Sans	Réseau limité à 7 noeuds
ZigBee	802-15.4	ISM 2400 MHz-2483 MHz	O-QPSK	DSSS 2 Mchips/s Étalement 8	0,25 Mbits/s	WPAN	sans	Optimisé en consommation, en veille 99,9 % du temps
LPD 433 DASH7	LPD ISO 18000-7	ISM 433 MHz ISM 433 MHz	Analogique FSK- GFSK		Audio 27,8 kbits/s	Télécommandes NFC	sans	Analogique en cours d'obsolescence Cf. RFID
SigFox	Brevets UNB , infrastru cture cellulaire	169 ou 224,7 MHz 868 / 915 MHz 26, 31, 36, 40.6, 54, 81 MHz 2,4 GHz ISM	UNB	NON : Bande ultra-étroite	1k-10kbits/s	M2M	oui	Bas débit, basse consommation, infrastructure à basse densité, longue portée

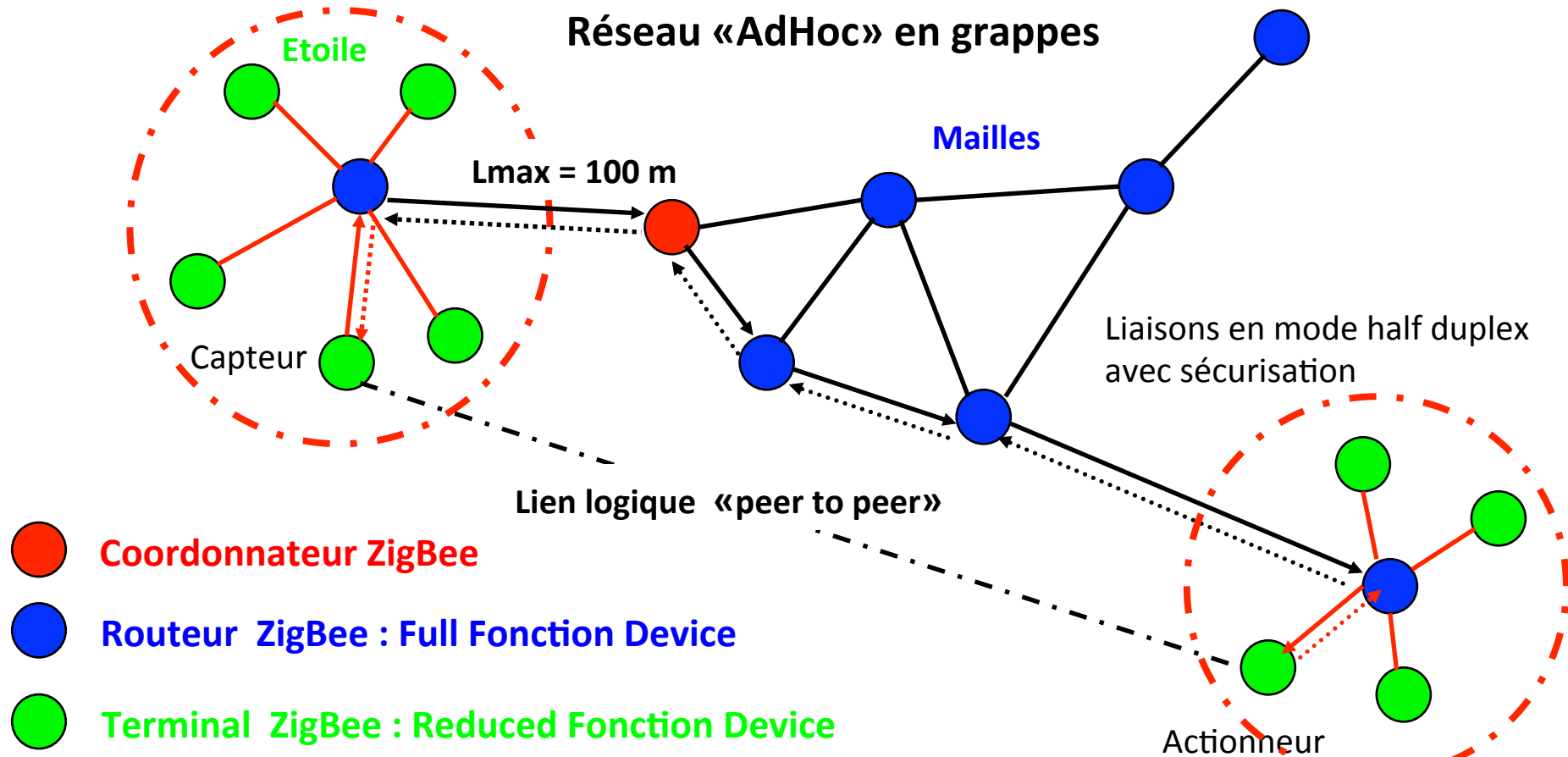
Internet des objets



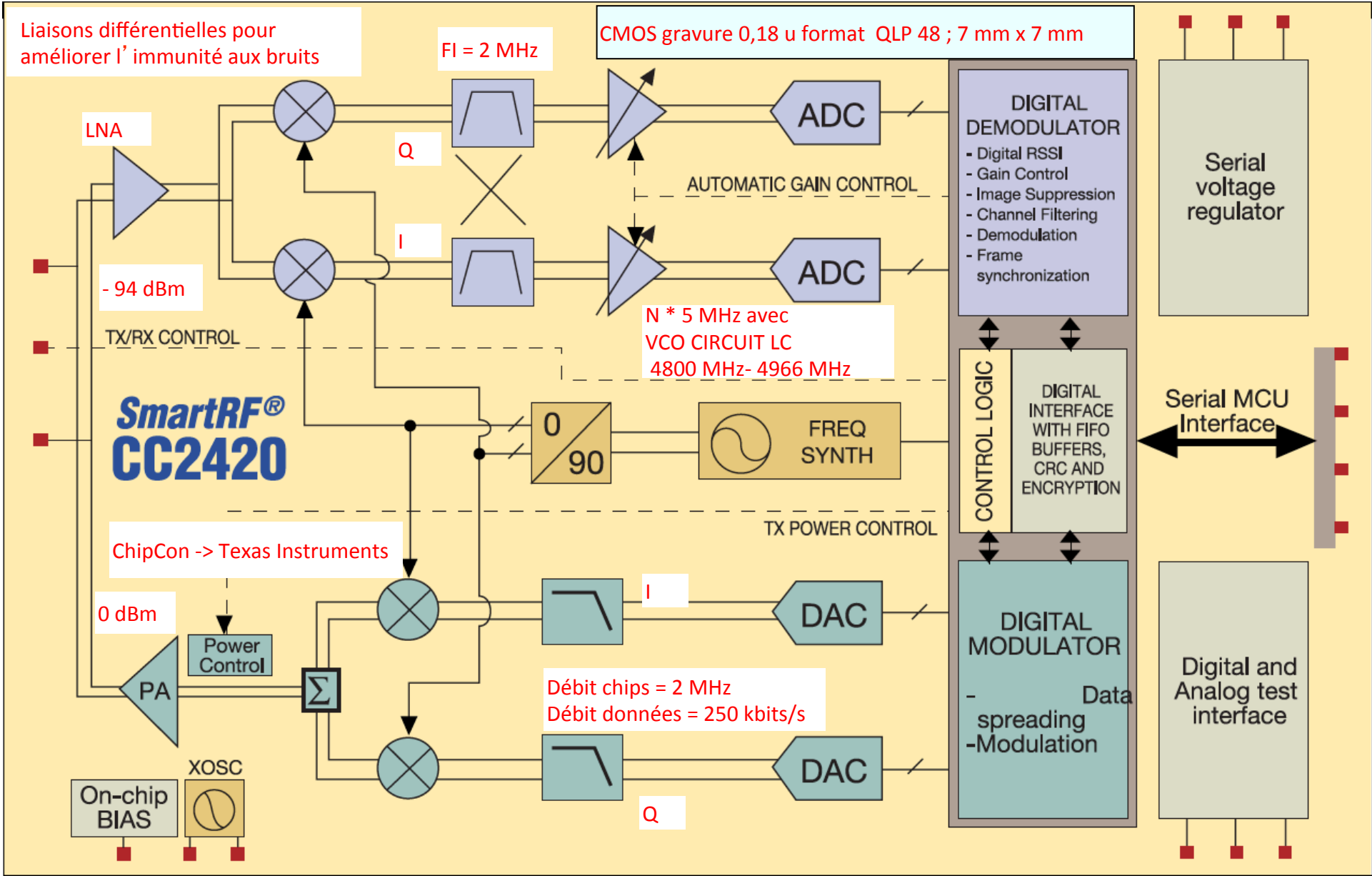
D'après 6LoWPAN

Réseaux ZigBee

Les liaisons **ZigBee** à la différence des réseaux de téléphonie mobile n'ont pas besoin d'une infrastructure **externe** avec des relais, des liens avec le réseau fixe, de fonctions d'itinérance. L'infrastructure se crée **automatiquement** lors de la phase de détection des modules ZigBee. Le système peut se reconfigurer après des déplacements de noeuds mais ce n'est pas un réseau de mobiles.



System on Chip : Transceiver ZigBee ChipCon / TI CC2420



Outils de développement / Analyse

Matériel : Flots de conception

- Exemples : ADS Agilent, AWR/Visual system simulator , RF design Mentor Graphics etc.
- Outil libre : QUCS Studio
- Antennes : Suites CST, Feko, Ansys, Comsol ; Outil libre 4NEC2X etc.

Système

- USRP (Universal Software Radio Peripheral) de ETTUS / NI pour prototypage rapide compatibles avec les logiciels libres : Émission réception & modulation de I&Q jusqu'à 6 GHz
- GNURadio, gqrx, HDSDR, Csharp, etc.
- Famille Arduino
- Les fournisseurs de circuits Wireless dont Texas Instruments, Maxim, Linear Technology, etc., fournissent des kits de développement.

Logiciels / Mesures

- Mesure : National Instruments : NI SDR Platform associée aux USRP de ETTUS
- Analyseurs de spectre vectoriels : Rhode & Schwarz, Agilent, Anritsu
- Générateurs de signaux vectoriels : Rhode & Schwarz (WinIQSim 1 &2); Agilent, Anritsu
- MATHLab et ses ToolBox
- Logiciel libre : GNURadio ; LiveDVD GnuRadio

Aspects sécurité : Outils Libres intégrés dans la distribution Linux : Kali Linux



Architecture matérielle USRP Ettus/NI N210

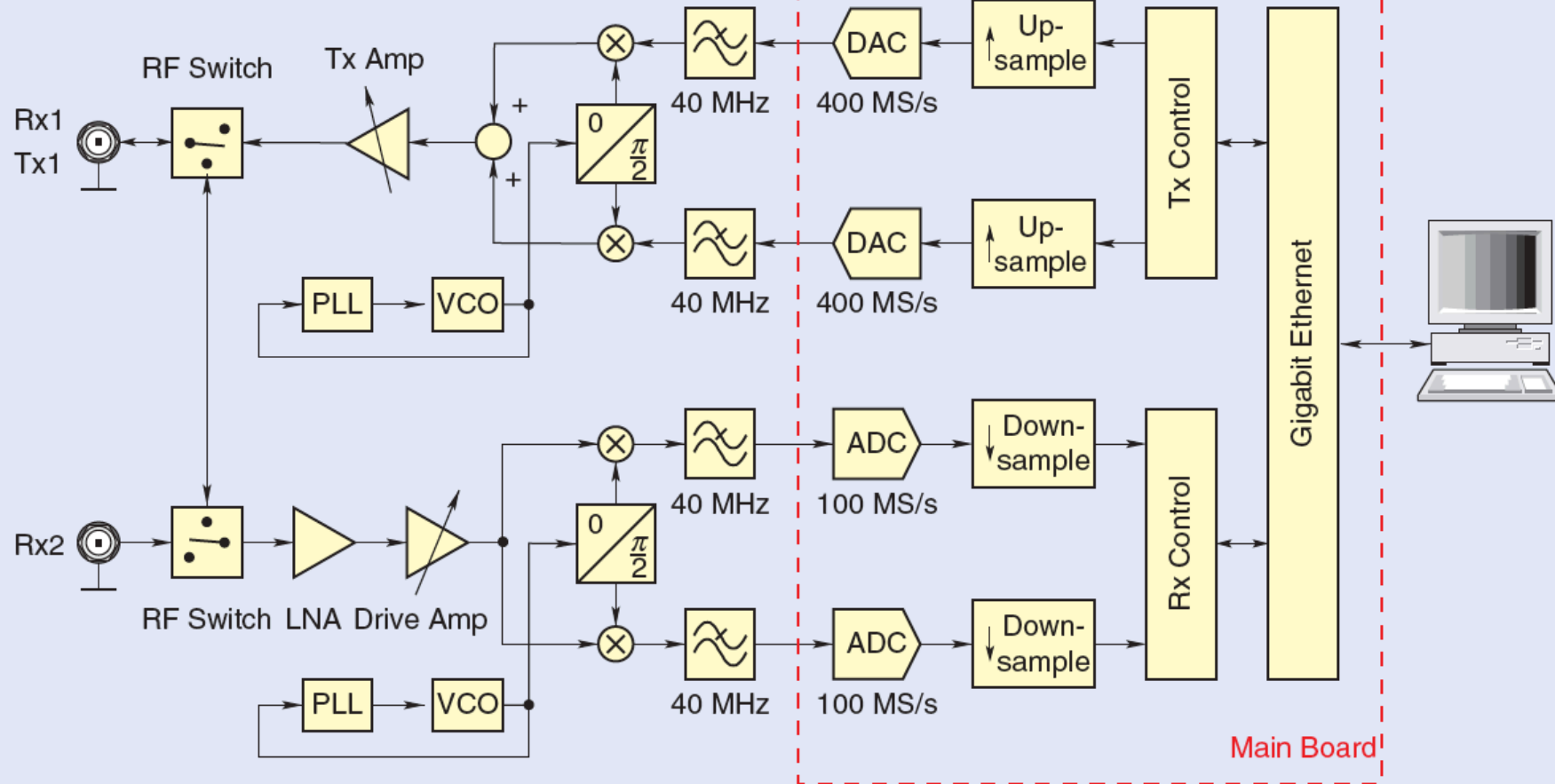
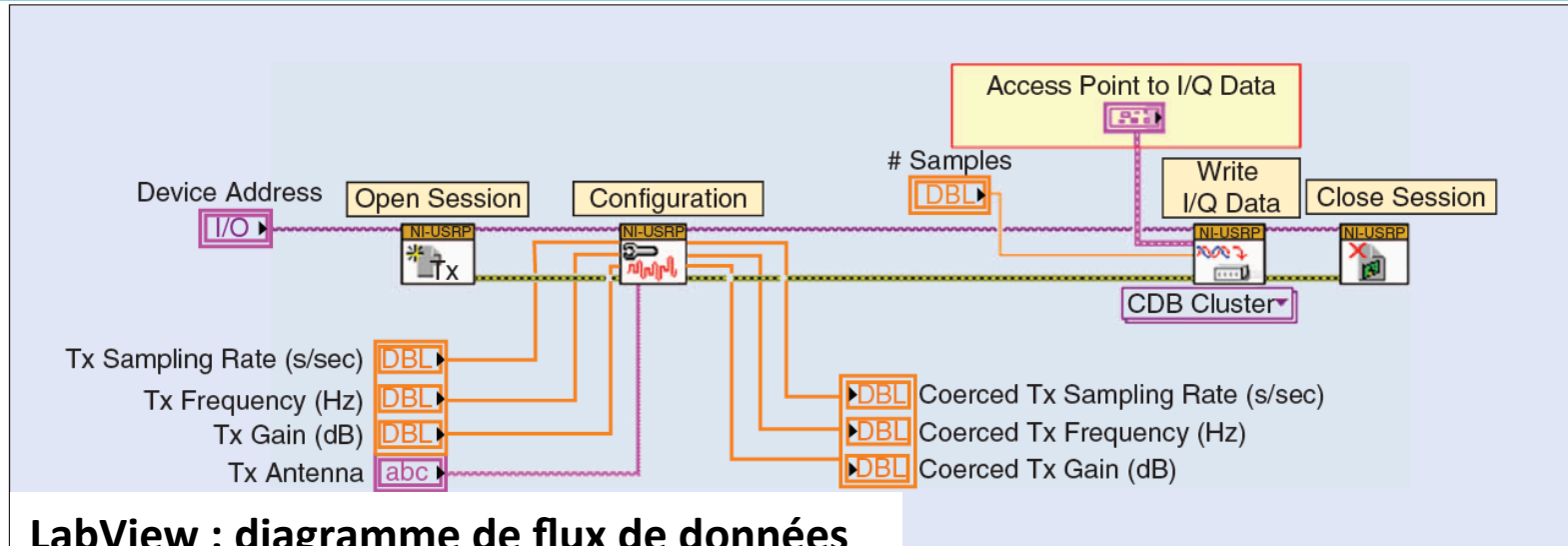


Figure 8. Typical block diagram of a USRP device.

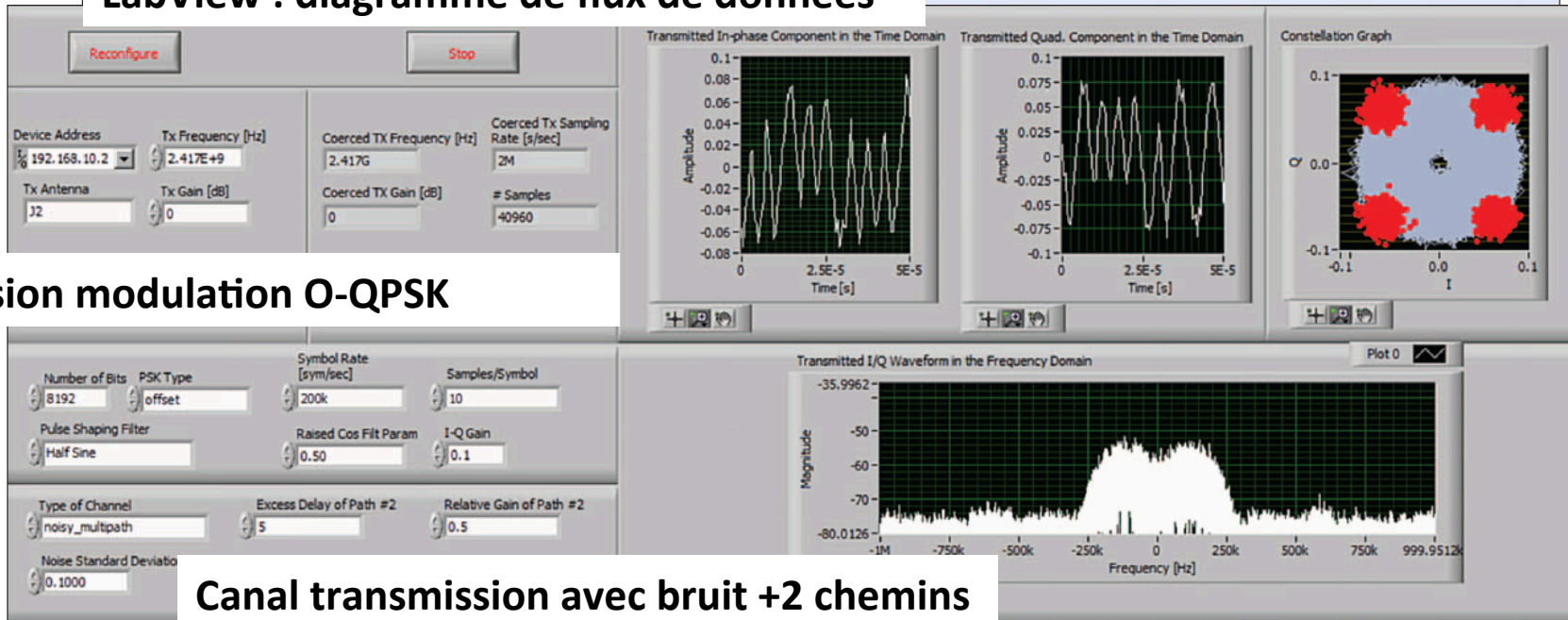
Origine : IEEE CIRCUITS AND SYSTEMS MAGAZINE

FPGA = Xilinx Spartan3 ; DAC : 400 MS/s 16 bits ; ADC : 100 MS/s 14 bits
 Les cartes « fille » couvrent en émission et réception de 1 MHz à 6 GHz

Développements logiciels USRP : National Instruments platform



Transmission modulation O-QPSK



Développements logiciels USRP : Gnu radio + Linux Ubuntu

The screenshot displays the GNU Radio UHD FFT application. On the left, a block diagram shows the signal flow: 'UHD: USRP Source' (Device Addr: 192.168.10.2, Samp Rate: 20M, Ch0: Center Freq: 2.45G, Ch0: Gain: 0, Ch0: Antenna: RX2, Ch0: Bandwidth: 20M) connects to three sinks: 'WX GUI Scope Sink', 'WX GUI FFT Sink', and 'WX GUI Waterfall Sink'. The 'WX GUI FFT Sink' is titled 'FFT Plot' and has parameters: Sample Rate: 20M, Baseband Freq: 2.45G, Y per Div: 10 dB, Y Divs: 15, Ref Level (dB): 0, Ref Scale (p2p): 2, FFT Size: 1.024k, Refresh Rate: 15, Window Size: -1, 400, Notebook: nb0, 0, Freq Set Varname: None. The 'WX GUI Waterfall Sink' is titled 'Waterfall Plot' and has parameters: Sample Rate: 20M, Baseband Freq: 0, Dynamic Range: 100, Reference Level: 0, Ref Scale (p2p): 2, FFT Size: 1.024k.

On the right, the 'UHD FFT' window shows the 'FFT Plot' with Amplitude (dB) on the y-axis (ranging from -96 to -68) and Frequency (MHz) on the x-axis (ranging from 634 to 654). The plot shows a signal with a peak around 644 MHz. The 'Trace Options' panel includes 'Average' (checked), 'Avg Alpha: 0.1333', 'Persistence' (unchecked), 'Persist Alpha: 0.1890', and 'Autoscale' (checked). The 'Axis Options' panel shows 'dB/Div' and 'Ref Level' controls.

Below the plot, the 'Analyse de spectre canal TV TNT 42 à Paris SPAN 20 MHz' window shows 'Sample Rate: 20M', 'Antenna: RX2', 'LO Locked: True', 'RX Gain: 31.5', and 'RX Tune Frequency: 644M'.

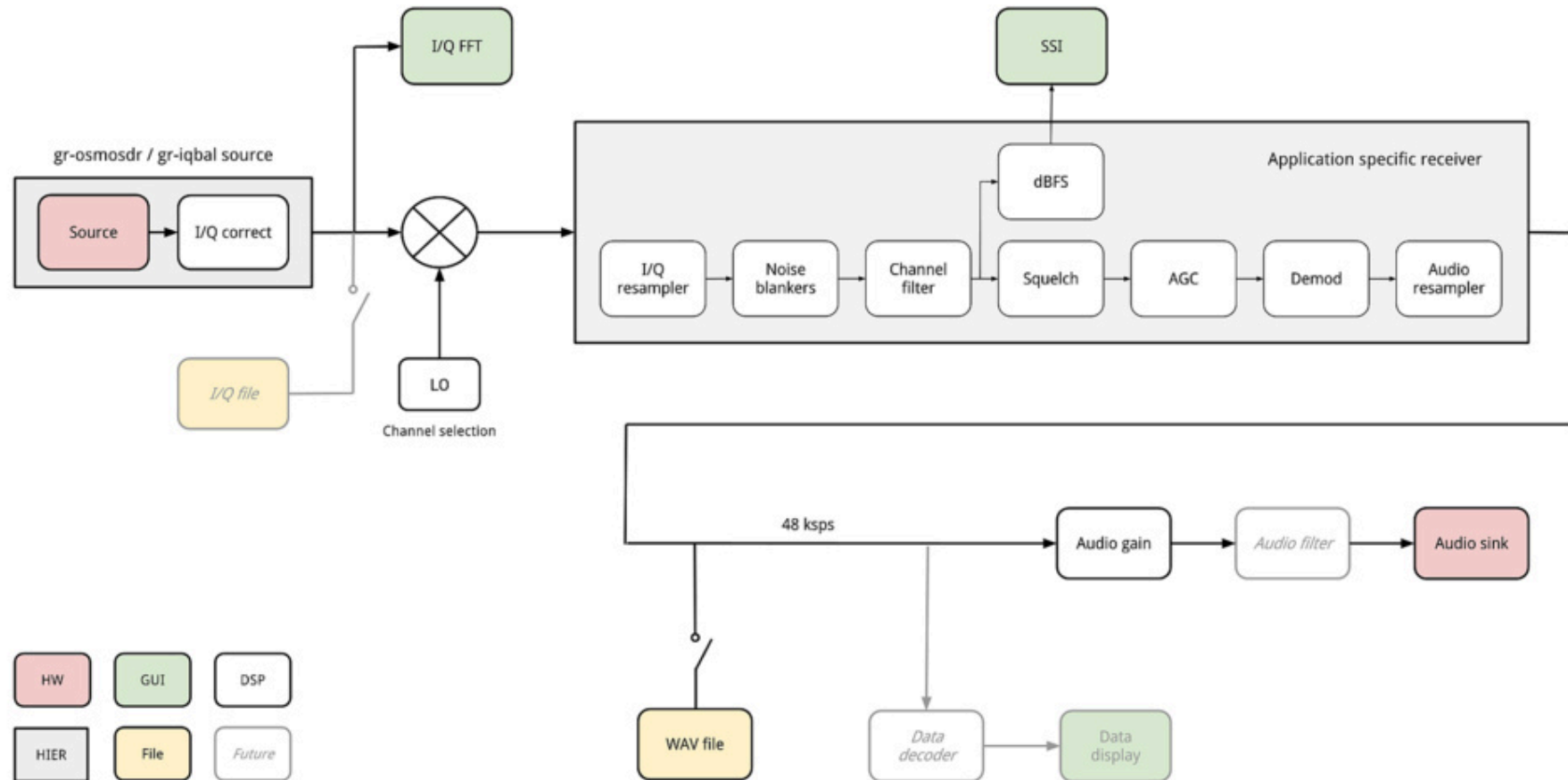
At the bottom, the terminal shows the command: `gnuradio -t:tcp -h 192.168.10.1 -p 45586`

Modules critiques écrits en C++

Connexion des modules et modules non critiques : Python



Développements logiciels GNUradio : récepteur panoramique gqrx



Gqrx : Utilisation des bibliothèques de GNURadio

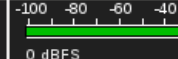
Développements logiciels GNUradio : récepteur panoramique gqrx

Gqrx v2.1-git-298-g0e78 - addr=192.168.10.2,name,serial=F44788,subdev=A:0,type=usrp2,uhd

File Data View Help



2,437.000 000 MHz



USRP N210 lien Ethernet 1 Gb/s

Receiver Options

243.900 kHz

Hardware freq: 2436.756100 MHz

Filter Normal

Mode Demod Off

AGC Fast

NB1

NB2

SQL -150 dBFS

Canal Wifi N°6 ; F = 2437 MHz waterfall montrant les salves
Logiciel gqrx de la distribution KaliLinux hébergée sur PC
F samples = 20 M Spls /s

Input controls Receiver Options

FFT Settings

FFT size 4096

Rate 15 fps

Averaging

Pandapter WF

Zoom R C D

Color Green

FFT Settings Audio



Systemes de transmission non radio pour reseaux locaux

Transmissions filaires opportunistes : Récupération du réseau de distribution électrique pour acheminer des données à haut débit :

- Courants Porteurs en Lignes CPL avec un débit important (500 Mbits/s) et des coupleurs raccordés à un canal de transmission stable.

Inconvénients : Important rayonnement dans les bandes radio décamétriques.

Transmissions par rayonnement optique infrarouge

Emission DEL / LASER

Réception photodiode en inverse

- Débit potentiel important si modulation de lasers
- Pas de licence (Attention cependant à la sécurité pour les lasers)

Inconvénients :

- Fortes pertes dans les conversions optique / électrique et électrique / optique
- Effets de directivité
- Blocage par les obstacles
- Affaiblissement par les hydro-météores

Les ultrasons ne sont plus utilisés pour les télécommandes. Ils restent à la base de dispositifs de mesure de distance et de fonctions de radar de recul.

Retour d'expérience CEM pour la radio à courte portée (SRD)

- **Problème de voisinage entre les fonctions trans-receiver radio et les circuits logiques rythmés par des horloges émettant sur leurs harmoniques et sous-harmoniques ; d'où risque de désensibilisation de canaux radio par brouillage co-canal**

→ Remèdes : Etudier un plan de fréquences évitant la superposition des fréquences perturbatrices avec celles des canaux

Optimiser le routage des cartes pour réduire l'émission parasite et l'effet collecteur.

Faradisation dans les règles

- **Interactions incontrôlées entre les antennes et les composants voisins**

→ Remèdes : Respecter les conditions d'utilisation des antennes : plan de masse ou non ; dégagement minimal, proximité de diélectriques, de conducteurs etc. Vérification avec mesure de champ, de paramètres S.

- **Non-linéarités des amplificateurs opérationnels surtout de technologie bipolaire pour les fréquences entre 10 MHz et 500 MHz**

→ Remèdes : Préférer les étages d'entrée en technologie CMOS ; optimiser le routage, faradiser, filtrer, insérer des ferrites absorbantes.

Radio logicielle dans les systèmes radio à courte portée

Merci pour votre attention.

Questions / réponses

