

Mise en œuvre de nouveaux concepts d'échantillonnage pour la réception RF ultra-large bande

Tibault Reveyrand

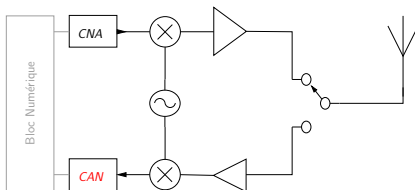
XLIM
Limoges

21 Juin 2011

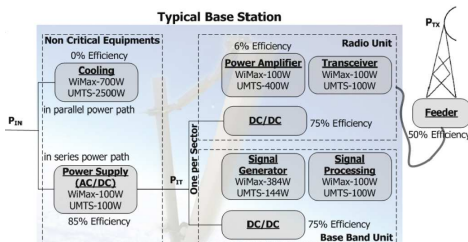
- 1 Contexte
- 2 Echantillonnage Large Bande
- 3 Compressive Sampling
 - Notions élémentaires en traitement du signal
 - Echantillonnage comprimé : applications
 - Reconstruction du signal RF suite à un échantillonnage comprimé
 - Evolution des outils du traitement du signal
- 4 Application directe
 - Amélioration du rendement énergétique
 - Conclusion

Contexte Scientifique

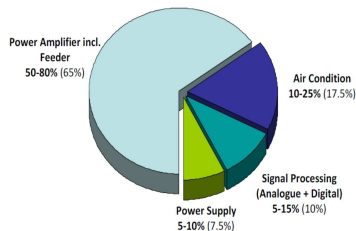
- Conceptions pour les terminaux RF



- Exemple d'une station de base conventionnelle



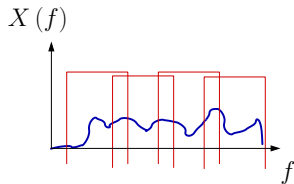
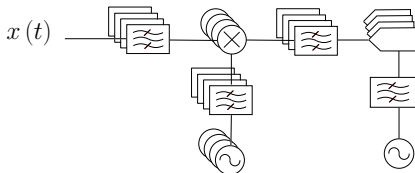
Structure et rendement [1]



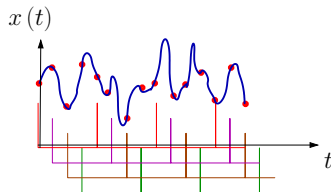
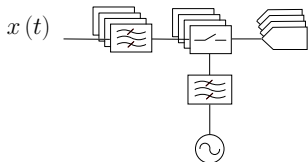
Consommation énergétique = 6 kW [2]

Problématique de l'échantillonnage RF

- Le multiplexage fréquentiel



- Le multiplexage temporel



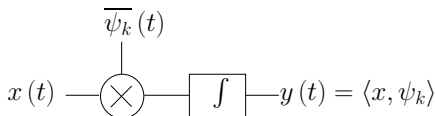
L'acquisition compressée

$$\mathcal{D} = \{\psi_k\}_{k \in \Gamma}$$

$$\langle x, \psi_k \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot \overline{\psi}_k(t) \cdot dt$$

$$\tilde{x}(t) = \sum_{k \in \Lambda} \langle x, \psi_k \rangle \cdot \psi_k$$

- Choix du dictionnaire \mathcal{D}
- Produit scalaire $\langle x, \psi_k \rangle$



- Minimisation du nombre de mesure : optimisation de Λ

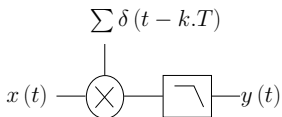
Matrice de mesure de l'échantillonnage harmonique

$$x \in \mathbb{R}^N$$

$$y \in \mathbb{R}^P$$

$$P \ll N$$

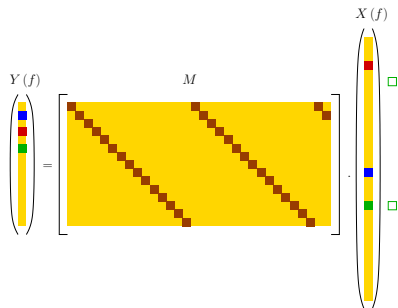
- Signal éparés dans le domaine fréquentiel



$$(Y) = [M] \cdot (X)$$

$$(y) = [\mathcal{F}_p]^{-1} \cdot [M] \cdot [\mathcal{F}_n] \cdot (x)$$

$$(y) = [U] \cdot [\mathcal{F}_n] \cdot (x)$$



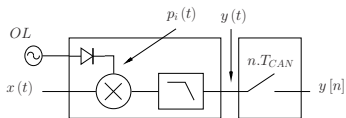
$\mathcal{F}_i \in \mathbb{C}^{i \times i}$ est la matrice de TFD

- Cas général avec $\mathcal{D} = \{\psi_k\}_{k \in \Gamma}$

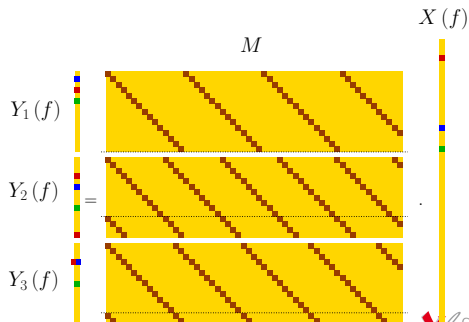
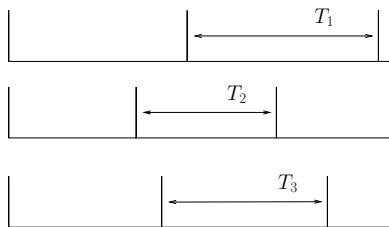
$$y = U \cdot \Psi \cdot x + b$$

avec $U \in \mathbb{C}^{P \times N}$ et $\Psi \in \mathbb{C}^{N \times N}$

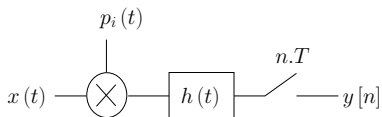
Sous-échantillonnage non uniforme



Signal de pompe $p_i(t)$



Sous-échantillonnage aléatoire [3] [4]



$$p_i(t)|_{t=n.T} \in \{\pm 1\}$$

$$x(t) = \sum_k \alpha_k \cdot \psi_k(t)$$

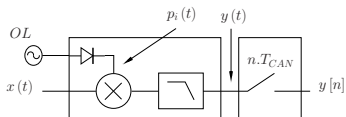
$$y[n] = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) \cdot p_i(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau \Big|_{t=n.T}$$

$$y[n] = \sum_k \alpha_k \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \psi_k(\tau) \cdot p_i(\tau) \cdot h(n.T - \tau) d\tau$$

$$\begin{pmatrix} \vdots \\ y[n] \\ \vdots \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \vdots \\ \dots \\ U_{n,k} \\ \vdots \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \vdots \\ \alpha_k \\ \vdots \end{pmatrix}$$

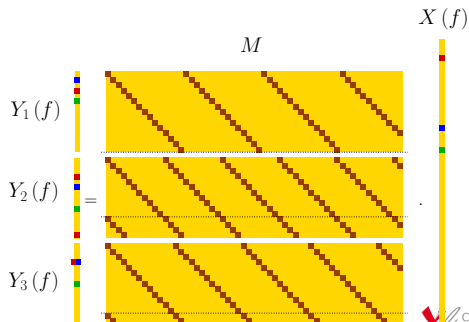
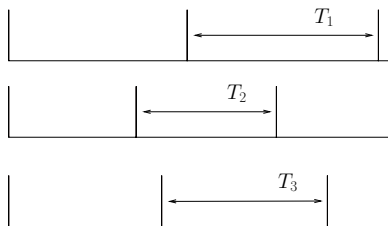
	Rice [3]	Technion [4]
f_e CAN	400 kHz	280 MHz
f_e Module	3.2 MHz	2 GHz
Branches	1	4

Sous-échantillonnage non uniforme



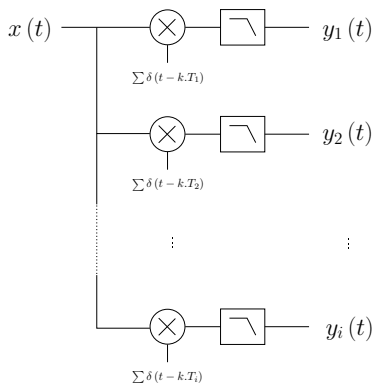
f_{OL}	Technologie	f_{MAX}
16 MHz \leftrightarrow 20 MHz	Echantillonneur	50 GHz
\rightarrow 500 MHz	Echantillonneur	20 GHz
\rightarrow 1 GHz	Echantillonneur	20 GHz
\rightarrow 800 MHz	Echantillonneur	35 GHz
\rightarrow 2 GHz	THA [5]	18 GHz

Signal de pompe $p_i(t)$



Retrouver $x(t)$

- Mesures indépendantes



- Régression creuse [6]

Soit $X = \Psi.x$, alors

$y = U.X + b$ admet pour solution :

$$X \in \arg \min_{\|y - U.X\|_2^2 < \epsilon} \|X\|_1$$

Algorithmes d'optimisation :

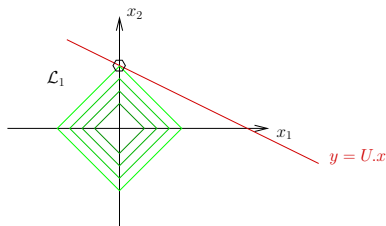
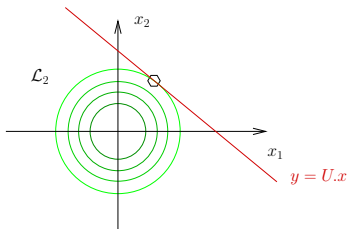
- Méthode de poursuite
- Lasso
- Sélecteur Dantzig
- Minimisation de la norme \mathcal{L}_1

Optimisation sur la norme \mathcal{L}_1

- Définition de la norme \mathcal{L}_p

$$\|x\|_p = \left(\sum_i |x_i|^p \right)^{\frac{1}{p}}$$

- Illustration sur les balles \mathcal{L}_p



- La solution sur \mathcal{L}_1 est creuse

Utilisation des outils de traitement du signal

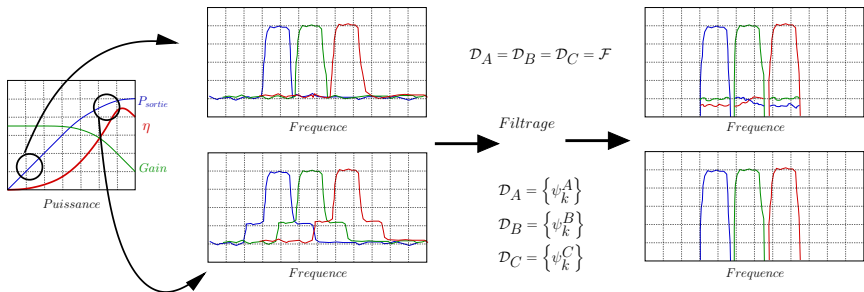
- Recherche sur IEEE Xplore de mots clés entre 1991 et 2011 sur les revues "IEEE Transaction on..."

	Fourier (1822)	Gabor (1946)	Wavelet (1984)	Compressive Sensing (2006)
Signal Processing	3374 (1)	346 (1)	1971 (1)	87 (1)
Image Processing	1184 (12)	342 (2)	1646 (2)	31 (5)
Circuits and Systems I & II(4 revues)	1457	82	591	5
Antennas and Propagation	2388 (2)	59 (14)	284 (14)	2
Instrumentation and Measurements	1376 (8)	72 (12)	358 (11)	3
Microwave Theory and Techniques	1833 (5)	15	174	1
Electron Device	503	14	13	0

- Entre parenthèses, le classement en journal IEEE sur le mot clé pour la période
- Circuits and Systems I : "Regular Paper" et "Fundamental Theory and Applications"
- Circuits and Systems II : "Express Briefs" et "Analog and Digital Signal Processing"

Une application prometteuse

- Amélioration du rendement énergétique des terminaux RF



Conclusion

- Projet qui associe des compétences multiples
 - Technologies circuit
 - Architectures système
 - Analyses et optimisations mathématiques
 - Algorithmes de reconstruction et algorithmes embarqués

- Vers des nouvelles architectures à haut rendement pour la transmission dans les communications sans fil

Références

- [1] G. Koutias and P. Demestichas. A review of energy efficiency in telecommunication networks. *Journal TELFOR*, November 2010.
- [2] L.M. Correia, D. Zeller, O. Blume, D. Ferling, Y. Jading, I. Gódor, G. Auer, and L. Van Der Perre. Challenges and enabling technologies for energy aware mobile radio networks. *Communications Magazine, IEEE*, 48(11) :66–72, November 2010.
- [3] T. Ragheb, J.N. Laska, H. Nejati, S. Kirolos, R.G. Baraniuk, and Y Massoud. A prototype hardware for random demodulation based compressive analog-to-digital conversion. In *Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, pages 37–40, 2008.
- [4] M. Mishali, Y.C. Eldar, O. Dounaevsky, and E. Shoshan. Xampling : Analog to digital at sub-nyquist rates. CCIT Report 751, EE Dept., Technion - Israel Institute of Technology, December 2009.
- [5] www.inphi.com. Inphi 1821TH Data sheet.
- [6] Y. de Castro. A short geometric tour of the sparse regression. Technical report, Institut de Mathématiques de Toulouse, France, February 2011.