

Transmission au-delà de la cadence de Nyquist pour les liaisons vidéo pour drones

Albert Abelló^{1,2}

Damien Roque², Jean-Marie Freixe¹ et Nghia Pham¹

¹Eutelsat S.A.



²ISAE-SUPAERO



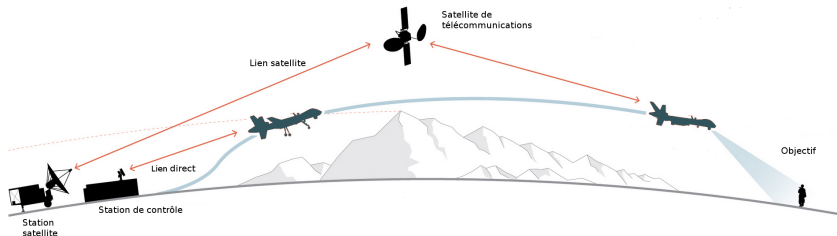
12 mai 2016

Plan

- 1 Contexte : transmission vidéo sur voie retour
- 2 Faster-than-Nyquist pour augmenter l'efficacité spectrale
- 3 Simulations sur canal à bruit additif
- 4 Synthèse et perspectives des travaux

- 1 Contexte : transmission vidéo sur voie retour
- 2 Faster-than-Nyquist pour augmenter l'efficacité spectrale
- 3 Simulations sur canal à bruit additif
- 4 Synthèse et perspectives des travaux

Retour vidéo au-delà de la vue directe



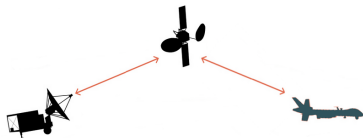
Contraintes applicatives

- Maîtrise du **décali de transmission** pour le télé-pilotage du drone.
- **Faible consommation** de l'émetteur (amplification, complexité...).
- **Haute efficacité spectrale** : allocation de bande fixée et haut débit.

En DVB-RCS2 : allocation dédiée (SCPC) et forme d'onde à (re)définir.

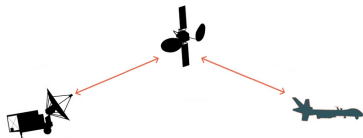
Contraintes de la couche physique

- Énergie par bit E_b
- Probabilité d'erreur P_e
- **Débit binaire** R_b
- **Bande occupée** B
- Complexité de décodage



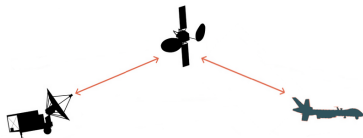
Contraintes de la couche physique

- Énergie par bit E_b
 - Probabilité d'erreur P_e
 - **Débit binaire** R_b
 - **Bande occupée** B
 - Complexité de décodage
- $$\left. \begin{array}{l} R_b \\ B \end{array} \right\} \eta = \frac{R_b}{B} = \frac{\log_2 M}{T_s B}$$



Contraintes de la couche physique

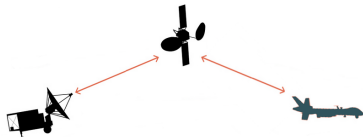
- Énergie par bit E_b
 - Probabilité d'erreur P_e
 - **Débit binaire** R_b
 - **Bande occupée** B
 - Complexité de décodage
- $$\left. \begin{array}{l} R_b \\ B \end{array} \right\} \eta = \frac{R_b}{B} = \frac{\log_2 M}{T_s B}$$



Comment augmenter l'efficacité spectrale à bande constante ?

Contraintes de la couche physique

- Énergie par bit E_b
 - Probabilité d'erreur P_e
 - **Débit binaire** R_b
 - **Bande occupée** B
 - Complexité de décodage
- $$\left. \begin{array}{l} R_b \\ B \end{array} \right\} \eta = \frac{R_b}{B} = \frac{\log_2 M}{T_s B}$$

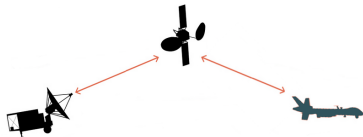


Comment augmenter l'efficacité spectrale à bande constante ?

- Augmenter taille constellation $M \uparrow$

Contraintes de la couche physique

- Énergie par bit E_b
 - Probabilité d'erreur P_e
 - **Débit binaire** R_b
 - **Bande occupée** B
 - Complexité de décodage
- $$\left. \begin{array}{l} R_b \\ B \end{array} \right\} \eta = \frac{R_b}{B} = \frac{\log_2 M}{T_s B}$$

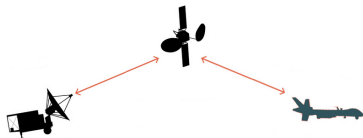


Comment augmenter l'efficacité spectrale à bande constante ?

- Augmenter taille constellation $M \uparrow \rightarrow \downarrow d_{sym}$

Contraintes de la couche physique

- Énergie par bit E_b
 - Probabilité d'erreur P_e
 - **Débit binaire** R_b
 - **Bande occupée** B
 - Complexité de décodage
- $$\left. \begin{array}{l} \text{Débit binaire } R_b \\ \text{Bande occupée } B \end{array} \right\} \eta = \frac{R_b}{B} = \frac{\log_2 M}{T_s B}$$

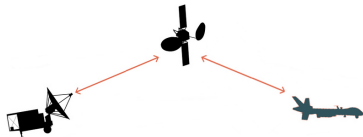


Comment augmenter l'efficacité spectrale à bande constante ?

- Augmenter taille constellation $M \uparrow \rightarrow \downarrow d_{sym} \rightarrow \uparrow P_e$

Contraintes de la couche physique

- Énergie par bit E_b
 - Probabilité d'erreur P_e
 - **Débit binaire** R_b
 - **Bande occupée** B
- $$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \eta = \frac{R_b}{B} = \frac{\log_2 M}{T_s B}$$
- Complexité de décodage

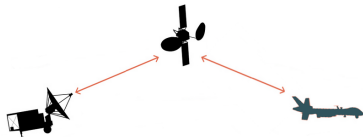


Comment augmenter l'efficacité spectrale à bande constante ?

- Augmenter taille constellation $M \uparrow \rightarrow \downarrow d_{\text{sym}} \rightarrow \uparrow P_e$
- Réduire l'espacement entre symboles $T_s \downarrow$

Contraintes de la couche physique

- Énergie par bit E_b
 - Probabilité d'erreur P_e
 - **Débit binaire** R_b
 - **Bande occupée** B
- $$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \eta = \frac{R_b}{B} = \frac{\log_2 M}{T_s B}$$
- Complexité de décodage

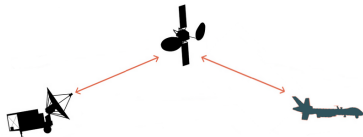


Comment augmenter l'efficacité spectrale à bande constante ?

- Augmenter taille constellation $M \uparrow \rightarrow \downarrow d_{sym} \rightarrow \uparrow P_e$
- Réduire l'espacement entre symboles $T_s \downarrow \rightarrow$ introduire de l'interférence

Contraintes de la couche physique

- Énergie par bit E_b
 - Probabilité d'erreur P_e
 - **Débit binaire** R_b
 - **Bande occupée** B
- $$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \eta = \frac{R_b}{B} = \frac{\log_2 M}{T_s B}$$
- Complexité de décodage

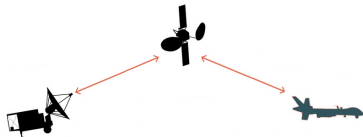


Comment augmenter l'efficacité spectrale à bande constante ?

- Augmenter taille constellation $M \uparrow \rightarrow \downarrow d_{sym} \rightarrow \uparrow P_e$
- Réduire l'espacement entre symboles $T_s \downarrow \rightarrow$ introduire de l'interférence que l'on peut **modéliser**

Contraintes de la couche physique

- Énergie par bit E_b
 - Probabilité d'erreur P_e
 - **Débit binaire** R_b
 - **Bande occupée** B
- $$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \eta = \frac{R_b}{B} = \frac{\log_2 M}{T_s B}$$
- Complexité de décodage



Comment augmenter l'efficacité spectrale à bande constante ?

- Augmenter taille constellation $M \uparrow \rightarrow \downarrow d_{sym} \rightarrow \uparrow P_e$
- Réduire l'espacement entre symboles $T_s \downarrow \rightarrow$ introduire de l'interférence que l'on peut **modéliser** et **annuler** avec un récepteur **plus complexe**.

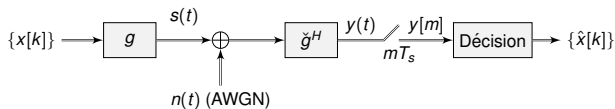
1 Contexte : transmission vidéo sur voie retour

2 **Faster-than-Nyquist pour augmenter l'efficacité spectrale**

3 Simulations sur canal à bruit additif

4 Synthèse et perspectives des travaux

Modélisation de l'interférence



$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x[k] g(t - kT_s), \quad x[k] \in \mathbf{A}, \quad |\mathbf{A}| = M \quad (1)$$

Canal discret équivalent sans bruit

- $h[l] = (g * \check{g}^H)(lT_s), \quad l \in \{0, \dots, L - 1\}$

Modélisation de l'interférence [4]

- Si $\frac{1}{T_s} \leq B$, le système peut avoir $h[l] = \delta_{0,l}$ (Nyquist)
- Si $\frac{1}{T_s} > B$, inévitablement $h[l] \neq \delta_{0,l}$ (Mazo) [3]

Système *faster-than-Nyquist* (FTN)

Introduction du traitement non-linéaire: **turbo-égalisation**

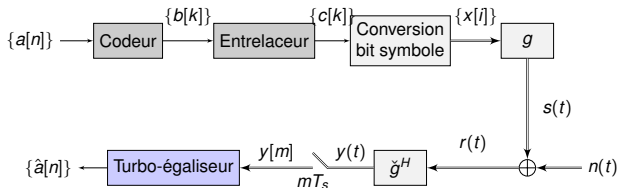


Figure: Schéma bloc du système FTN présenté [5]

Structure du turbo-égaliseur

Turbo-égalisation [6]: échange itératif [2] entre deux blocs

- **Égaliseur**: deux approches connaissant $h[l]$, $l \in \{0, \dots, L-1\}$
 - Minimisation de l'erreur quadratique moyenne (MMSE) (complexité en $\mathcal{O}(ML)$)
 - *Maximum a Posteriori* (MAP) (complexité en $\mathcal{O}(M^L)$)
- **Décodeur**

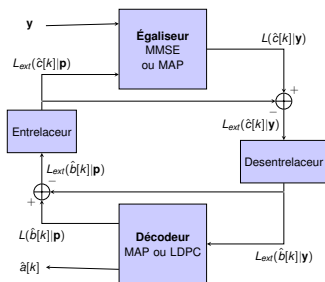


Figure: Turbo-égaliseur

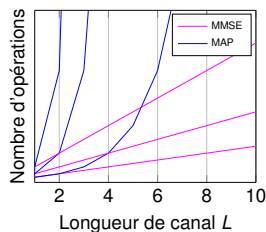


Figure: Complexité de l'égaliseur pour $M = 2, 4, 8$

- 1 Contexte : transmission vidéo sur voie retour
- 2 Faster-than-Nyquist pour augmenter l'efficacité spectrale
- 3 Simulations sur canal à bruit additif**
- 4 Synthèse et perspectives des travaux

Paramètres de simulation

Paramètres fixés

- Constellation : BPSK ou QPSK (faible PAPR).
- Mise en forme : SRRC (*roll-off* $\alpha = 0,15$).
- Densité : $\frac{1}{T_s B} = 1,4$ (60 % de gain en efficacité spectrale).

Paramètres variables

- Égaliseur : MMSE ou MAP.
- Codage correcteur d'erreurs :
 - convolutif $(7,5)_8$, $L_c = 2$, $R_c = 1/2$;
 - LDPC (DVB-S2), $R_c = 1/2$.
- Nombre d'itérations turbo (de 1 à 5) et LDPC (de 5 à 10).

Quel est le coût d'un délai réduit ?

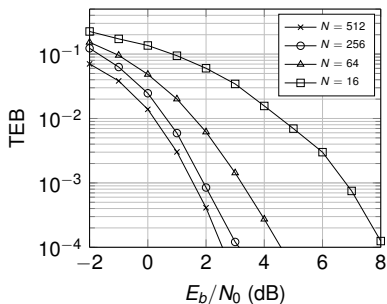
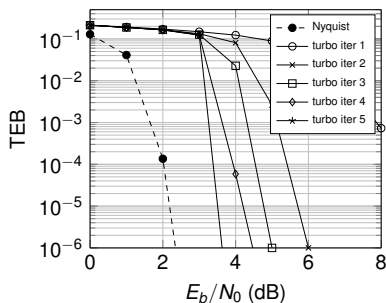
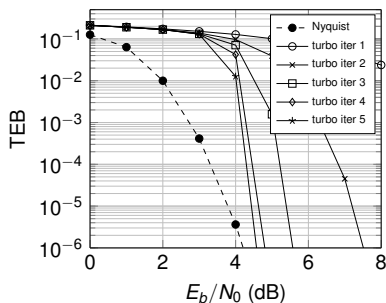


Figure: Impact de la taille des trames sur les performances du turbo-égaliseur MAP-MAP avec code $(7, 5)_8$, $L_c = 2$, $R_c = 1/2$ et 4 itérations turbo.

Performances FTN MMSE-LDPC



(a) 10 itérations LDPC



(b) 5 itérations LDPC

Figure: Performances FTN MMSE-LDPC avec $L = 9$, $\frac{1}{T_s B} = 1, 4$

Performances FTN MAP-LDPC avec canal tronqué

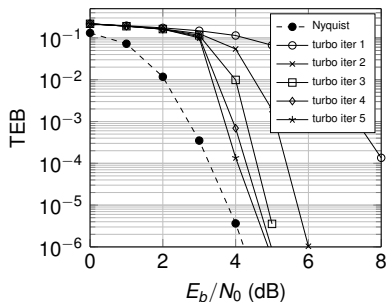
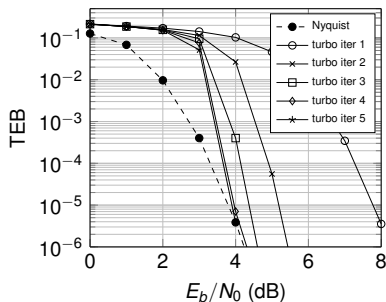
(a) MAP à 3 coefficients ($L' = 3$)(b) MAP à 5 coefficients ($L' = 5$)

Figure: Performances FTN MAP-LDPC avec $\frac{1}{T_s B} = 1, 4$ et 5 itérations LDPC

- 1 Contexte : transmission vidéo sur voie retour
- 2 Faster-than-Nyquist pour augmenter l'efficacité spectrale
- 3 Simulations sur canal à bruit additif
- 4 Synthèse et perspectives des travaux**

Conclusions et perspectives

Quels sont les atouts du *faster-than-Nyquist* ?

- 1 **Gain en efficacité spectrale** : alternative aux schémas SCPC classiques en DVB-RCS2 [1].
- 2 Dissociation entre B et R_s : **faible probabilité d'interception**.

Conclusions et perspectives

Quels sont les atouts du *faster-than-Nyquist* ?

- 1 Gain en efficacité spectrale : alternative aux schémas SCPC classiques en DVB-RCS2 [1].
- 2 Dissociation entre B et R_s : faible probabilité d'interception.

Quelles sont les perspectives ?

- 1 Compromis entre complexité de décodage et performances :
 - simplification des égaliseurs (MAP tronqué, MMSE, approches hybrides) ;
 - optimisation du codage et des impulsions de mise en forme.
- 2 Évaluation dans un contexte de guerre électronique :
 - mesure de la probabilité d'interception des signaux ;
 - développement d'algorithmes de synchronisation aveugles.

References I



A. Abello, D. Roque, J. Freixe, and S. Mallier.

Performance evaluation of a faster-than-Nyquist system based on turbo equalization and LDPC codes.
In Wireless Innovation Forum Conference on Wireless Communications Technologies and Software Defined Radio, 2016.



Joachim Hagenauer.

The exit chart - introduction to extrinsic information transfer in iterative processing.
In Proc. 12th Europ. Signal Proc. Conf (EUSIPCO, pages 1541–1548, 2004.



J. E. Mazo.

Faster-than-nyquist signaling.
Bell System Technical Journal, 54(8):1451–1462, 1975.



H. Nyquist.

Certain topics in telegraph transmission theory.
American Institute of Electrical Engineers, Transactions of the, 47(2):617–644, 1928.



N. Pham, J.B. Anderson, F. Rusek, J.M. Freixe, and A. Bonnaud.

Exploring faster-than-Nyquist for satellite direct broadcasting.
AIAA International Communications Satellite Systems Conference, pages 16–26, 2013.



M. Tüchler and A.C. Singer.

Turbo equalization: An overview.
Information Theory, IEEE Transactions on, 57(2):920–952, 2011.