

Stratégies d'insertion dans un système de tatouage audio

Deux stratégies d'insertion (l'une aveugle et l'autre informée) sont présentées et comparées dans un contexte de transmission d'information cachée dans un signal audio. Les performances sont évaluées en terme de débit de transmission et de fiabilité de transmission.



C. Baras⁽¹⁾, N. Moreau⁽¹⁾, P. Dymarski⁽²⁾,
⁽¹⁾Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications,
⁽²⁾Technical University of Warsaw
 E-mail: {baras, moreau}@tsi.enst.fr, dymarski@tele.pw.edu.pl

Contexte et Objectifs

- Transmission d'un message binaire caché dans un signal audio:
 - Inaudibilité.
 - Débit de transmission le plus élevé possible.
 - Fiabilité de transmission la meilleure possible (évaluée par la mesure du Taux d'Erreur Binaire (TEB)).
 - Robustesse du système aux perturbations: compression MPEG, filtrage, transmission sous forme analogique, etc...
- Recherche d'une stratégie d'insertion qui garantisse l'inaudibilité et une transmission fiable de robustesse aux perturbations maximale.

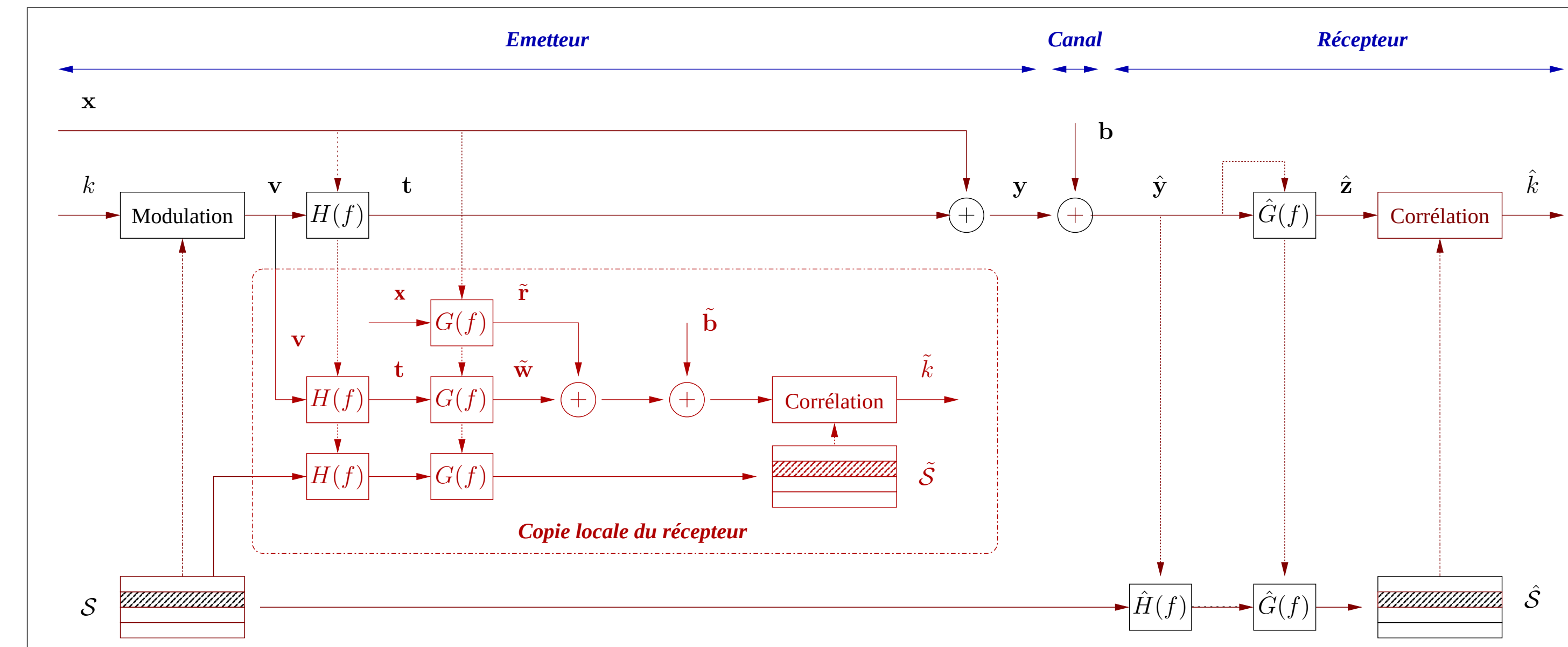
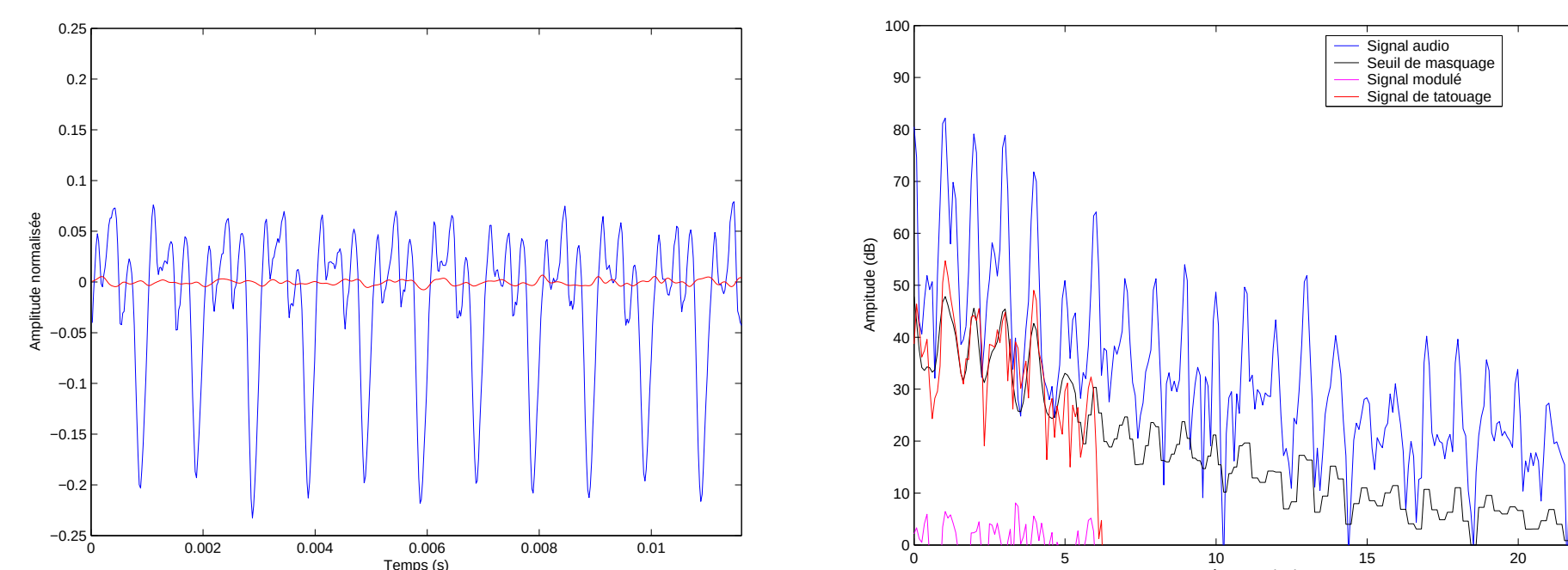


Schéma du système du système informé.

Système de tatouage aveugle (SA)

- Codage de source: Séquence de symboles $\{k_l\}_{l=1..L} \in \{1..M\}^L$.
- Modulation:
 - Dictionnaire d'émission $\mathcal{S} = \{s_m\}_{m=1..M}$ de M formes d'onde de durée N_s , blanches, gaussiennes, orthogonales et de puissance unité.
 - $\forall n \in [(l-1)N_s..lN_s], v(n) = s_{k_l}(n - (l-1)N_s)$.
- Adaptation de puissance et mise en forme spectrale:
 - Filtre perceptif $H(f)$ synthétisé pour coïncider avec le seuil de masquage (Modèle Psychoacoustique).
 - Inaudibilité du signal de tatouage $t(n)$.



Visualisation dans le temps et en fréquence des signaux caractéristiques sur une fenêtre de 512 échantillons : signal audio, seuil de masquage, signal modulé et signal de tatouage.

- Canal: Bruit additif $b(n)$.
- Blanchiment: $\hat{G}(f)$, estimation du filtre blanchissant du signal audio (synthétisé à l'aide de la prédiction linéaire de $\hat{y}$).
- Démodulation:
 - Dictionnaire de réception $\hat{\mathcal{S}} = \{\hat{s}_m\}_{m=1..M}$: estimation des formes du dictionnaire d'émission $\mathcal{S}$ à la réception.
 - Démodulation par corrélation, comparant le signal reçu aux formes d'onde du dictionnaire de réception $\hat{\mathcal{S}}$.

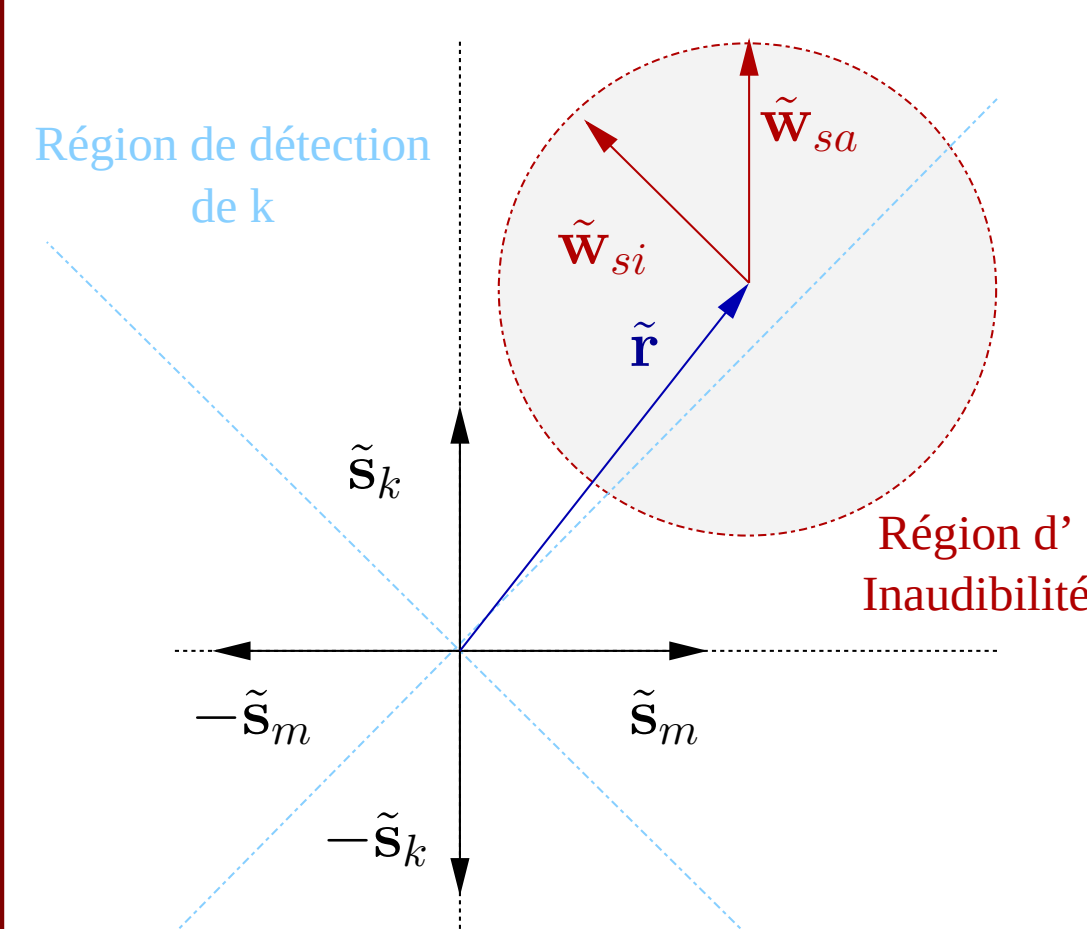
Système de tatouage informé (SI)

- Exploitation de la connaissance a priori du signal audio à l'émetteur pour définir une stratégie d'insertion adaptée.
- Structure du système en boucle fermée: estimation des signaux intervenant dans le processus de décision, i.e. le signal de tatouage filtré $\tilde{w}$, le signal audio filtré $\tilde{r}$, la perturbation $\tilde{b}$ et le dictionnaire de réception $\hat{\mathcal{S}} = \{\hat{s}_m\}_{m=1..M}$.
- Mise en équation des contraintes de transmission:
 - Contrainte d'inaudibilité: $\sigma_v = \frac{v^T v}{N_s} \leq 1$.
 - Conditions de transmission sans erreur du symbole k :

$$\forall m \in 1..M, m \neq k, (\tilde{w} + \tilde{r} + \tilde{b})^T \hat{s}_k > (\tilde{w} + \tilde{r} + \tilde{b})^T \hat{s}_m$$

- Introduction d'un paramètre de robustesse (Maximizing Robustness strategy):

$$(\tilde{w} + \tilde{r})^T (\hat{s}_k - \hat{s}_m) > \sigma_b^2,$$

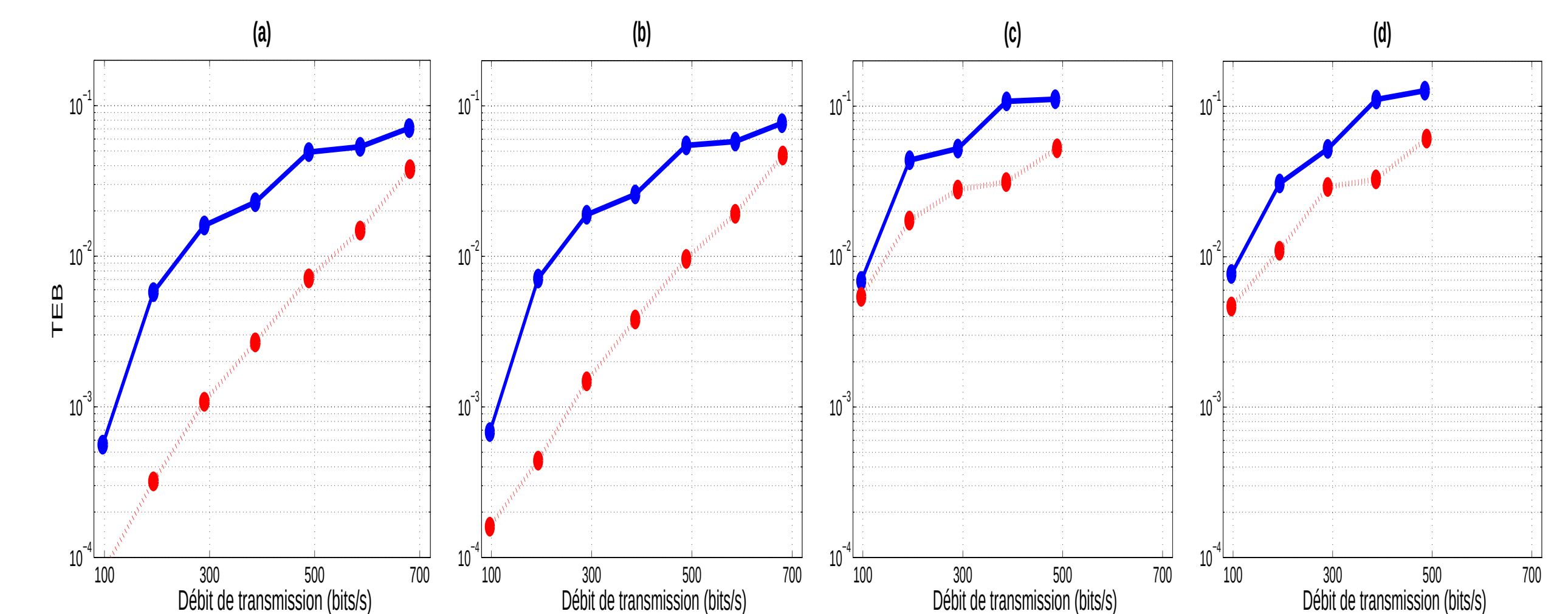


- Objectif: Choisir un tatouage v , solution des 2 contraintes précédentes avec un paramètre de robustesse maximal.
- Solution:
 - Restructuration du dictionnaire $\mathcal{S}$.
 - Résolution d'un problème d'optimisation où v est recherché sous la forme d'une combinaison linéaire des vecteurs de $\mathcal{S}$:

$$v = \sum_m \alpha_m s_m.$$

Résultats expérimentaux

- Protocole expérimental:
 - Performances: TEB vs. débit de transmission $R = \frac{\log_2(M)F_e}{N_s}$.
 - Échantillon test de 5 signaux audio, échantillonnés à $F_e = 44.1$ kHz.
 - $L = 25000$ bits.
 - Paramètres de simulation: $M = 4, P = 4$.
- Ajout d'un mécanisme de synchronisation: patterns de synchronisation insérées périodiquement dans le signal audio et connues du récepteur.
- Qualité perceptuelle, évaluée par des tests d'écoute informels: tatouage inaudible (SDG = -1).
- Résultats:



TEB en fonction du débit de transmission et de la stratégie d'insertion pour différents types de perturbations. La stratégie d'insertion est soit la stratégie aveugle SA (courbes bleues) soit la stratégie informée SI (courbes rouges). Les types de perturbations envisagées sont les suivantes: (a) sans perturbation, (b) compression MPEG, (c) transmission par ligne analogique, (d) compression MPEG et transmission par ligne analogique.

Références bibliographiques

- [1] I. Cox, M. Miller and A.L. McKellips, "Watermarking as communications with side information Cox", in *Proceedings of the IEEE*, vol. 87, pp. 1127-1141, July 1999.
- [2] M. Miller, I. Cox and J. Bloom, "Informed embedding: exploiting image and detector information during watermark insertion", in *International Conference on Image Processing*, vol. 3, pp. 1-4, Sept. 2000.
- [3] M. Costa, "Writing on dirty paper," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 29, pp. 439-441, 1983.
- [4] J.G. Proakis, *Digital communications*, McGraw-Hill, 4th edition, 2001.
- [5] C. Baras, N. Moreau and P. Dymarski, "An audio watermarking scheme based on an embedding strategy with maximized robustness to perturbations," in *Proc. Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 17, pp. 357-360, 2004.