

Séminaire SCEE

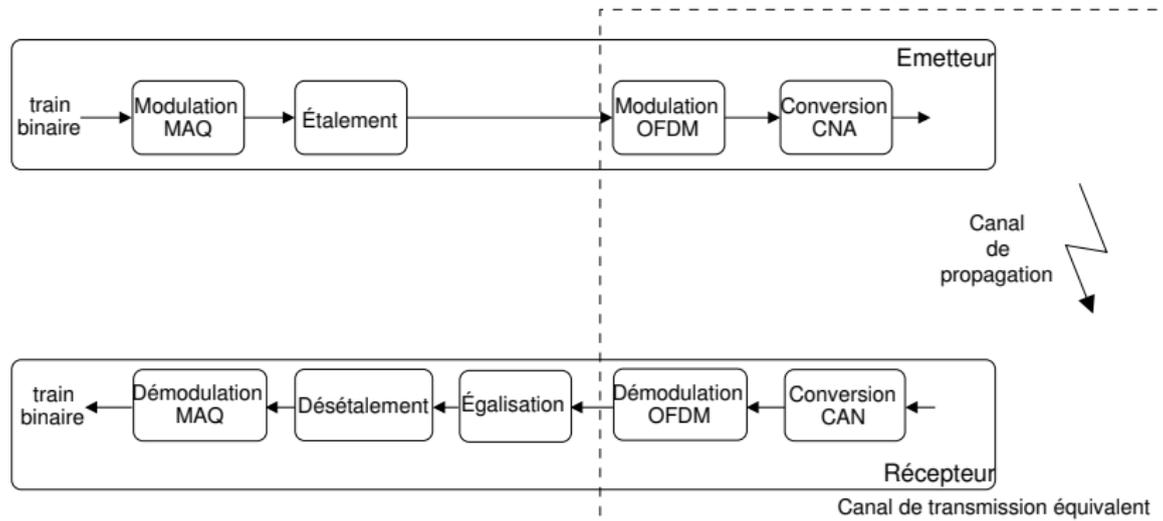
« Une contribution à l'allocation des ressources des systèmes
précodés à porteuses multiples »

Jean-Yves Baudais
CR CNRS, H.D.R.

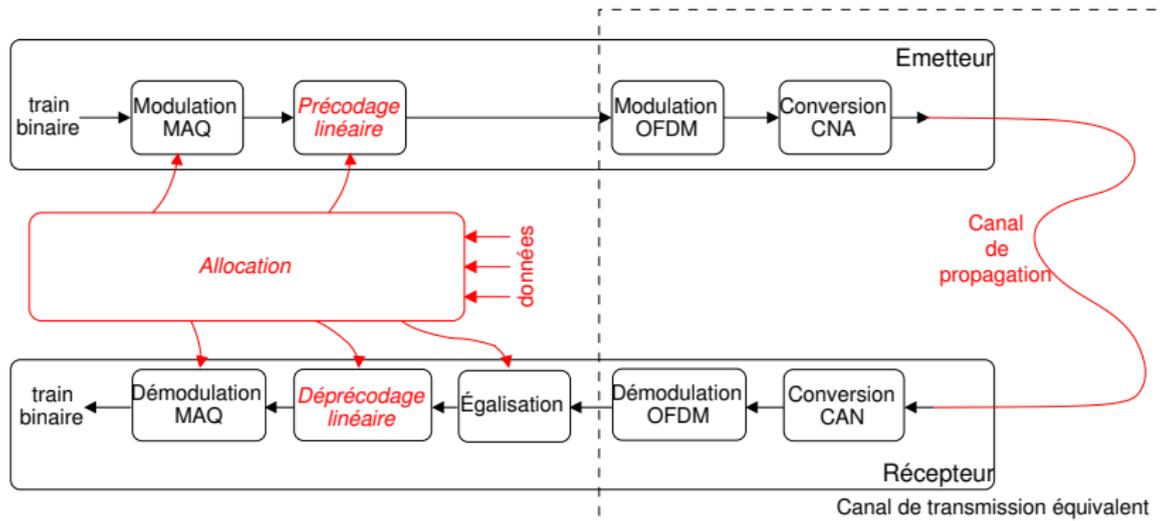
11 décembre 2014



Les débuts : du radiomobile au filaire

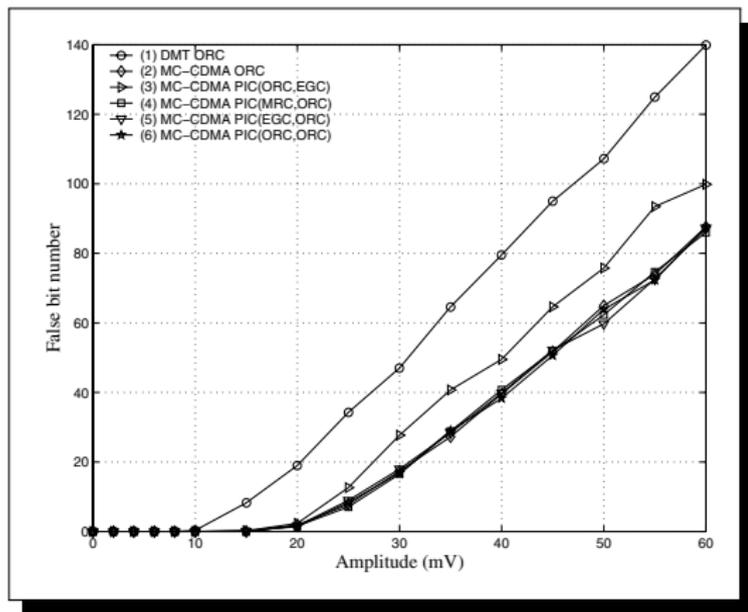


Les débuts : du radiomobile au filaire



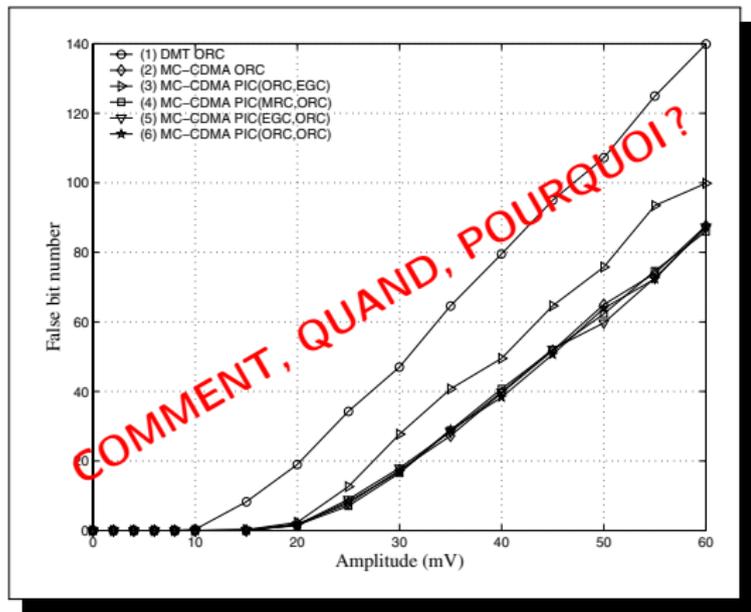
Les premiers résultats : ADSL

- ▶ Tester la résistance au bruit impulsif
- ▶ Sept configurations MC-CDMA pour 3 débits cibles



Les premiers résultats : ADSL

- ▶ Tester la résistance au bruit impulsif
- ▶ Sept configurations MC-CDMA pour 3 débits cibles



Des optimisations sous contraintes

1. Le modèle de communication
2. Relation puissance-débit-probabilité d'erreur
3. Espace de travail
4. Contrainte particulière
5. Le problème
6. Les outils

Des optimisations sous contraintes

1. Le modèle de communication

- ▶ Composante OFDM adaptée au canal
- ▶ LP-OFDM, lien u

$$Y_u = A_u P_u X_u + B_u$$

- ▶ A_u connue de l'émetteur

2. Relation puissance-débit-probabilité d'erreur
3. Espace de travail
4. Contrainte particulière
5. Le problème
6. Les outils

Des optimisations sous contraintes

1. Le modèle de communication
2. Relation puissance-débit-probabilité d'erreur
 - ▶ Relation de Shannon
 - ▶ Approximation gaussienne et marge de bruit
 - ▶ OFDM : lien u , sous-porteuse i

$$r_u = \sum_i r_{i,u} = \sum_i \log_2 \left(1 + \frac{r_{s,i,u} (\sigma_{x_{i,u}}^2)}{\gamma_{i,u} (r_{i,u}, f_{i,u})} \right)$$

- ▶ Marge de bruit et précision
3. Espace de travail
 4. Contrainte particulière
 5. Le problème
 6. Les outils

Des optimisations sous contraintes

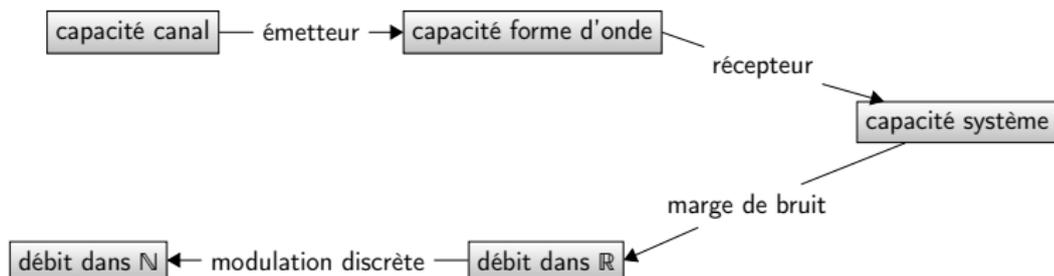
1. Le modèle de communication
2. Relation puissance-débit-probabilité d'erreur
 - ▶ Relation de Shannon
 - ▶ Approximation gaussienne et marge de bruit
 - ▶ LP-OFDM-ZF : lien u , sous-porteuse **séquence** i

$$r_u = \sum_i r_{i,u} = \sum_i \log_2 \left(1 + \frac{rsb_{i,u} (\sigma_{x_{i,u}}^2)}{\gamma_{i,u} (r_{i,u}, f_{i,u})} \right)$$

- ▶ Marge de bruit et précision
3. Espace de travail
 4. Contrainte particulière
 5. Le problème
 6. Les outils

Des optimisations sous contraintes

1. Le modèle de communication
2. Relation puissance-débit-probabilité d'erreur
3. Espace de travail



4. Contrainte particulière
5. Le problème
6. Les outils

Des optimisations sous contraintes

1. Le modèle de communication
2. Relation puissance-débit-probabilité d'erreur
3. Espace de travail
4. **Contrainte particulière**
 - ▶ Masque de densité spectrale de puissance
 - ▶ Puissance crête (sous-porteuse)
5. Le problème
6. Les outils

Des optimisations sous contraintes

1. Le modèle de communication
2. Relation puissance-débit-probabilité d'erreur
3. Espace de travail
4. Contrainte particulière

5. Le problème

Quelle est la *meilleure* répartition des boules ($p_{i,j} \in \{-1, 0, 1\}$) dans des boîtes (a_i) à l'aide de sachets ($x_i | \sigma_{x_i}^2$) ?

- ▶ Critère : maximiser, minimiser, maxmin, compromis
- ▶ Paramètres (contraintes, variables) : puissance, débit, probabilité d'erreur, marge de bruit

6. Les outils

Des optimisations sous contraintes

1. Le modèle de communication
2. Relation puissance-débit-probabilité d'erreur
3. Espace de travail
4. Contrainte particulière
5. Le problème
6. Les outils
 - ▶ Optimisation combinatoire
 - ▶ Heuristique
 - ▶ Algorithme glouton
 - ▶ Relaxation continue
 - ▶ Optimisation convexe (Lagrange, KKT)

Quelques résultats côté débit

1. Le précodage transforme la contrainte de puissance crête en contrainte de puissance totale
2. Allocation optimale dans \mathbb{R} et dans \mathbb{N}
3. Le précodage diminue le pas entre les ordres de modulations par sous-porteuse
4. Le précodage réalise une fonction d'étalement de spectre
5. La capacité LP-OFDM-ZF reste inférieure à la capacité OFDM
6. Avec des débits discrets le précodage peut améliorer les débits

Quelques résultats côté débit

1. Le précodage transforme la contrainte de puissance crête en contrainte de puissance totale

$$E[\|PX\|_{\infty}^2] \leq \rho$$

2. Allocation optimale dans \mathbb{R} et dans \mathbb{N}
3. Le précodage diminue le pas entre les ordres de modulations par sous-porteuse
4. Le précodage réalise une fonction d'étalement de spectre
5. La capacité LP-OFDM-ZF reste inférieure à la capacité OFDM
6. Avec des débits discrets le précodage peut améliorer les débits

Quelques résultats côté débit

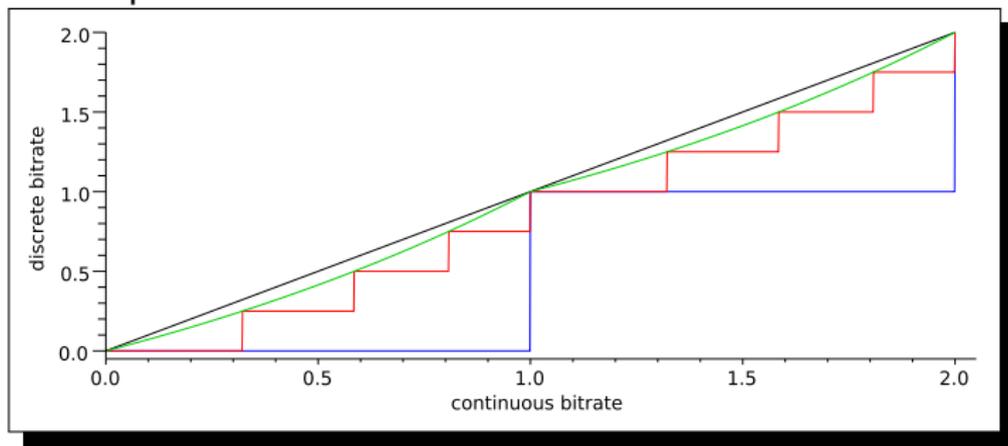
1. Le précodage transforme la contrainte de puissance crête en contrainte de puissance totale
2. Allocation optimale dans \mathbb{R} et dans \mathbb{N}
 - ▶ Matrice pleine, MAQ- $2^{i\beta}$, $i \in \mathbb{N}$

$$r = n \log_2 \left(1 + \frac{1}{\gamma} \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{|a_i|^2}} \frac{\rho}{\sigma_b^2} \right), \quad (r)_{\beta\mathbb{N}} = \left\lfloor \frac{r}{n} \right\rfloor_{\beta} + \beta \left\lfloor n \frac{2^{\frac{r}{n} - \lfloor \frac{r}{n} \rfloor \beta} - 1}{2^{\beta} - 1} \right\rfloor_1$$

3. Le précodage diminue le pas entre les ordres de modulations par sous-porteuse
4. Le précodage réalise une fonction d'étalement de spectre
5. La capacité LP-OFDM-ZF reste inférieure à la capacité OFDM
6. Avec des débits discrets le précodage peut améliorer les débits

Quelques résultats côté débit

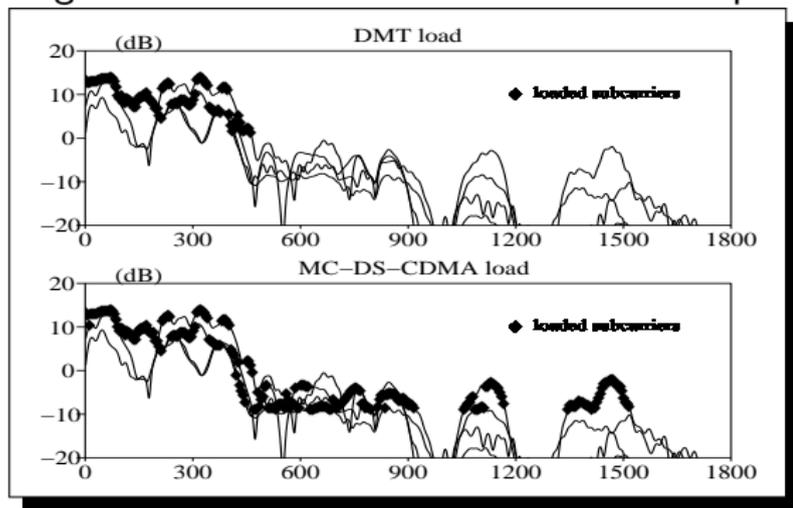
1. Le précodage transforme la contrainte de puissance crête en contrainte de puissance totale
2. Allocation optimale dans \mathbb{R} et dans \mathbb{N}
3. Le précodage diminue le pas entre les ordres de modulations par sous-porteuse



4. Le précodage réalise une fonction d'étalement de spectre
5. La capacité LP-OFDM-ZF reste inférieure à la capacité OFDM
6. Avec des débits discrets le précodage peut améliorer les débits

Quelques résultats côté débit

1. Le précodage transforme la contrainte de puissance crête en contrainte de puissance totale
2. Allocation optimale dans \mathbb{R} et dans \mathbb{N}
3. Le précodage diminue le pas entre les ordres de modulations par sous-porteuse
4. Le précodage réalise une fonction d'étalement de spectre



5. La capacité LP-OFDM-ZF reste inférieure à la capacité OFDM
6. Avec des débits discrets le précodage peut améliorer les débits

Quelques résultats côté débit

1. Le précodage transforme la contrainte de puissance crête en contrainte de puissance totale
2. Allocation optimale dans \mathbb{R} et dans \mathbb{N}
3. Le précodage diminue le pas entre les ordres de modulations par sous-porteuse
4. Le précodage réalise une fonction d'étalement de spectre
5. La capacité LP-OFDM-ZF reste inférieure à la capacité OFDM

$$n \log_2 \left(1 + \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{rsb_i}} \right) \leq \sum_{i=1}^n \log_2(1 + rsb_i)$$

6. Avec des débits discrets le précodage peut améliorer les débits

Quelques résultats côté débit

1. Le précodage transforme la contrainte de puissance crête en contrainte de puissance totale
2. Allocation optimale dans \mathbb{R} et dans \mathbb{N}
3. Le précodage diminue le pas entre les ordres de modulations par sous-porteuse
4. Le précodage réalise une fonction d'étalement de spectre
5. La capacité LP-OFDM-ZF reste inférieure à la capacité OFDM
6. Avec des débits discrets le précodage peut améliorer les débits
 - ▶ Compromis : énergie mutuelle-distorsion
 - ▶ Multiplexage fréquentiel
 - ▶ Matrice creuse
 - ▶ *OCF²DM*

Quelques déclinaisons

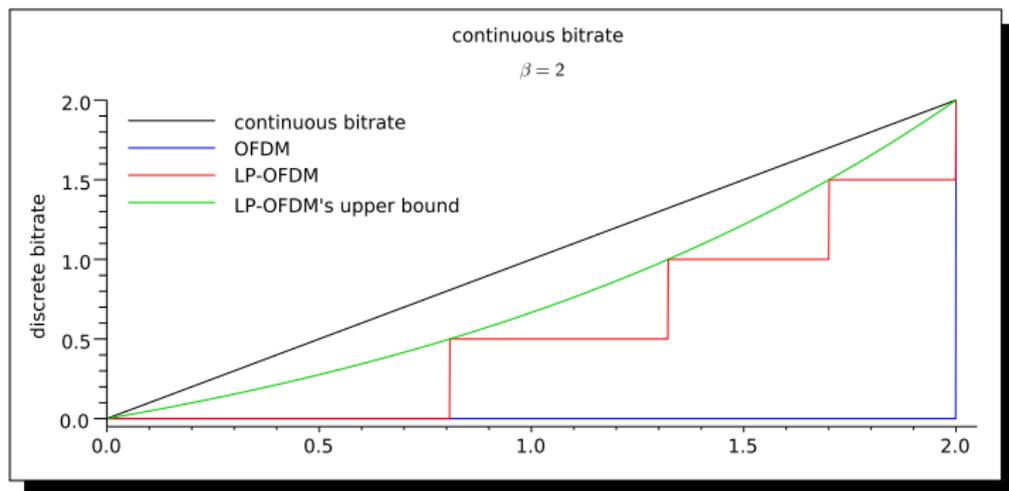
1. Limite dans \mathbb{N}
2. Récepteur linéaire optimal
3. Marge de bruit variable
4. Codage de canal
5. Estimation bruitée du canal



Quelques déclinaisons

1. Limite dans \mathbb{N}

$$\max_{\mathbb{N}} r \stackrel{?}{=} \lfloor \max_{\mathbb{R}} r \rfloor$$



2. Récepteur linéaire optimal
3. Marge de bruit variable
4. Codage de canal
5. Estimation bruitée du canal

Quelques déclinaisons

1. Limite dans \mathbb{N}
2. Récepteur linéaire optimal

- ▶ Transmission non orthogonale

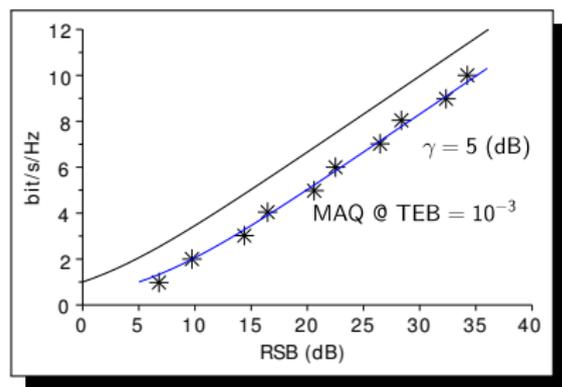
$$\hat{X} = WY, \quad W = (\Sigma_x^{1/2} P^* A^* A P \Sigma_x^{1/2} + \sigma_b^2)^{-1} \Sigma_x^{1/2} P^* A^*$$

- ▶ Allocation optimale des puissances pour une répartition des débits
- ▶ Approximation gaussienne des interférences : répartition uniforme de la puissance et des débits dans \mathbb{R}
- ▶ Gain EQMM/ZF \ll gain LP-OFDM-ZF/OFDM

3. Marge de bruit variable
4. Codage de canal
5. Estimation bruitée du canal

Quelques déclinaisons

1. Limite dans N
2. Récepteur linéaire optimal
3. Marge de bruit variable
 - ▶ Prise en compte du TEB



$$r_{\beta N} = n \left[\frac{r}{n} \right]_{\beta} + \beta \left[\frac{n \left(2^{\frac{r}{n}} - 2^{\lfloor \frac{r}{n} \rfloor \beta} \right)}{\left(2^{\lfloor \frac{r}{n} \rfloor \beta + \beta} - 1 \right) \frac{\gamma(\lfloor \frac{r}{n} \rfloor \beta + \beta)}{\gamma(\lfloor \frac{r}{n} \rfloor \beta)} - 2^{\lfloor \frac{r}{n} \rfloor \beta} + 1} \right]$$
$$\left[\frac{r}{n} \right]_{\beta} = \arg \max_{i \in \beta N} \left\{ i \leq \frac{r}{n} = \log_2 \left(1 + \frac{rsb}{\gamma(i)} \right) \right\} \quad (\text{TEB crête})$$

- ▶ Allocation itérative
- ▶ Précodage pour réduire la complexité

4. Codage de canal
5. Estimation bruitée du canal

Quelques déclinaisons

1. Limite dans \mathbb{N}
2. Récepteur linéaire optimal
3. Marge de bruit variable
4. Codage de canal
 - ▶ Deux approches
 - ▶ Marge de bruit variable
5. Estimation bruitée du canal

Quelques déclinaisons

1. Limite dans N
2. Récepteur linéaire optimal
3. Marge de bruit variable
4. Codage de canal
5. Estimation bruitée du canal
 - ▶ Deux approches
 - ▶ Algorithme d'allocation itératif

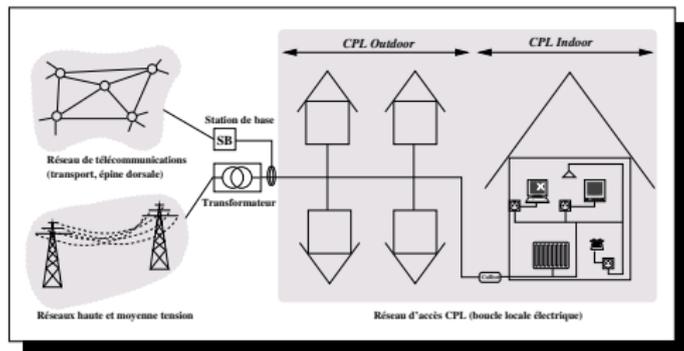
Quelques contextes d'application

1. Accès multiple
2. Diffusion groupée
3. Ultra large bande
4. Antennes multiples
5. Écoradio



Quelques contextes d'application

1. Accès multiple



$$Y_u = A_u P_u X_u + B_u + \Theta_u$$

- ▶ Heuristique, algorithme itératif
- ▶ LP-OFDMA

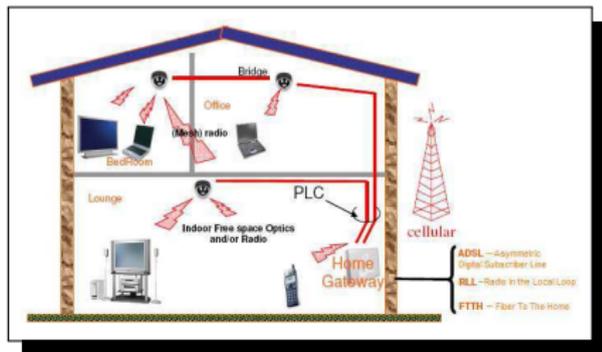
$$r_u = \log_2 \left(1 + \frac{1}{\gamma} \frac{|\mathcal{I}_u|}{\sum_{i \in \mathcal{I}_u} \frac{1}{|a_i|^2}} \frac{\rho}{\sigma_b^2} \right)$$

- ▶ Augmentation du débit total et minimal

2. Diffusion groupée

Quelques contextes d'application

1. Accès multiple
2. Diffusion groupée



$$Y_u = A_u P X + B_u$$

- ▶ Canal équivalent
- ▶ Heuristique, solution analytique
- ▶ Augmentation du débit *multicast*

3. Ultra large bande
4. Antennes multiples
5. Écoradio

Quelques contextes d'application

1. Accès multiple
2. Diffusion groupée
3. Ultra large bande



- ▶ Contrainte : MAQ-4
- ▶ Matrice pleine

$$r = 2 \times \max_{n \in \{1, 2, 4 \mid i \in \mathbb{N}\}} \min \left\{ n, \left\lfloor \frac{n}{3} \left(2^{\frac{r}{n}} - 1 \right) \right\rfloor \right\}$$

- ▶ Augmentation de la portée

4. Antennes multiples
5. Écoradio

Quelques contextes d'application

1. Accès multiple
2. Diffusion groupée
3. Ultra large bande
4. Antennes multiples

- ▶ MIMO 2×2 : $(x_i)_{i \in [1, 2n]}$ sur 1 ou 2 symboles OFDM
- ▶ Mélange contrainte crête et moyenne

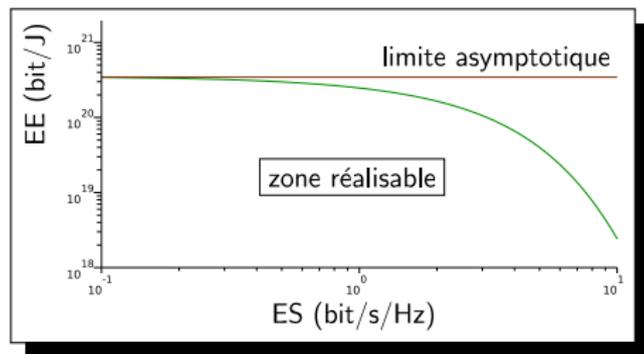
$$\forall i \in [1, n], \sum_{j=1}^{2n} (p_{i,j}^2 + p_{i+n,j}^2) \sigma_{x_j}^2 \leq \rho$$

- ▶ Gain en débit à faible RSB

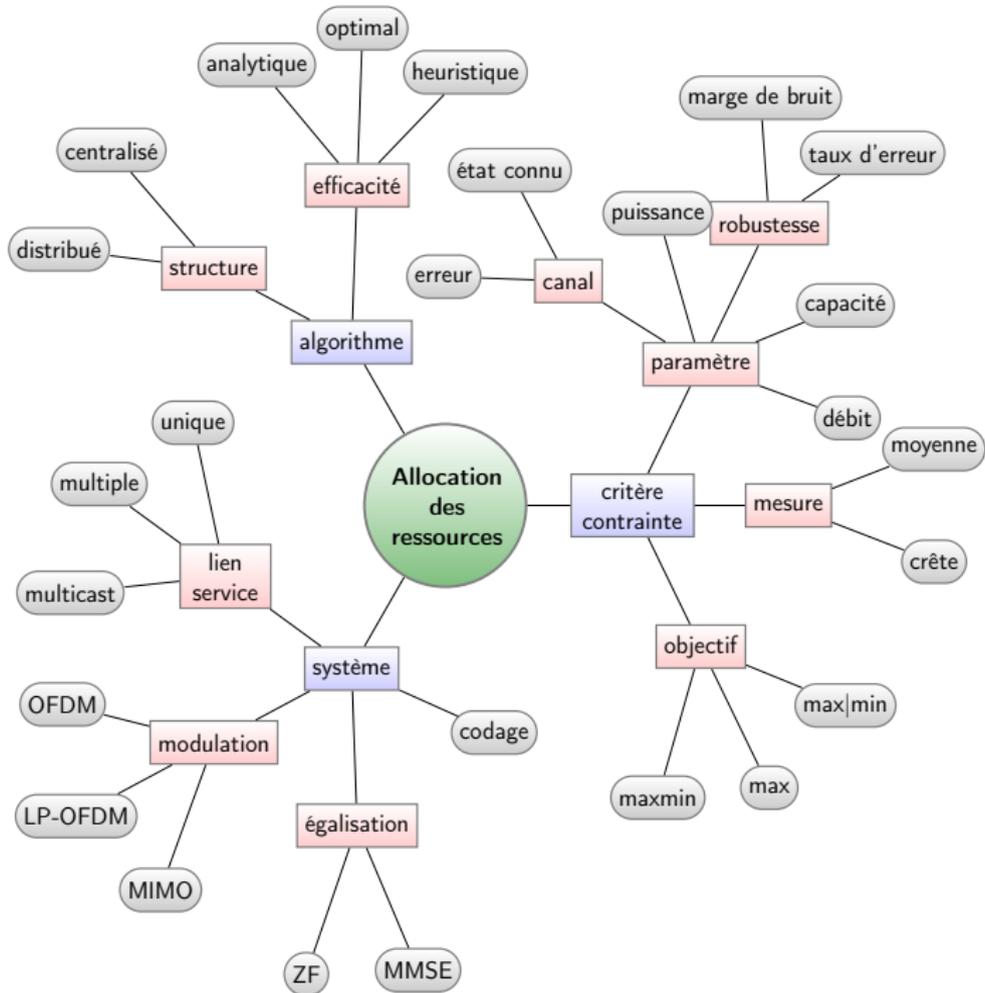
5. Écoradio

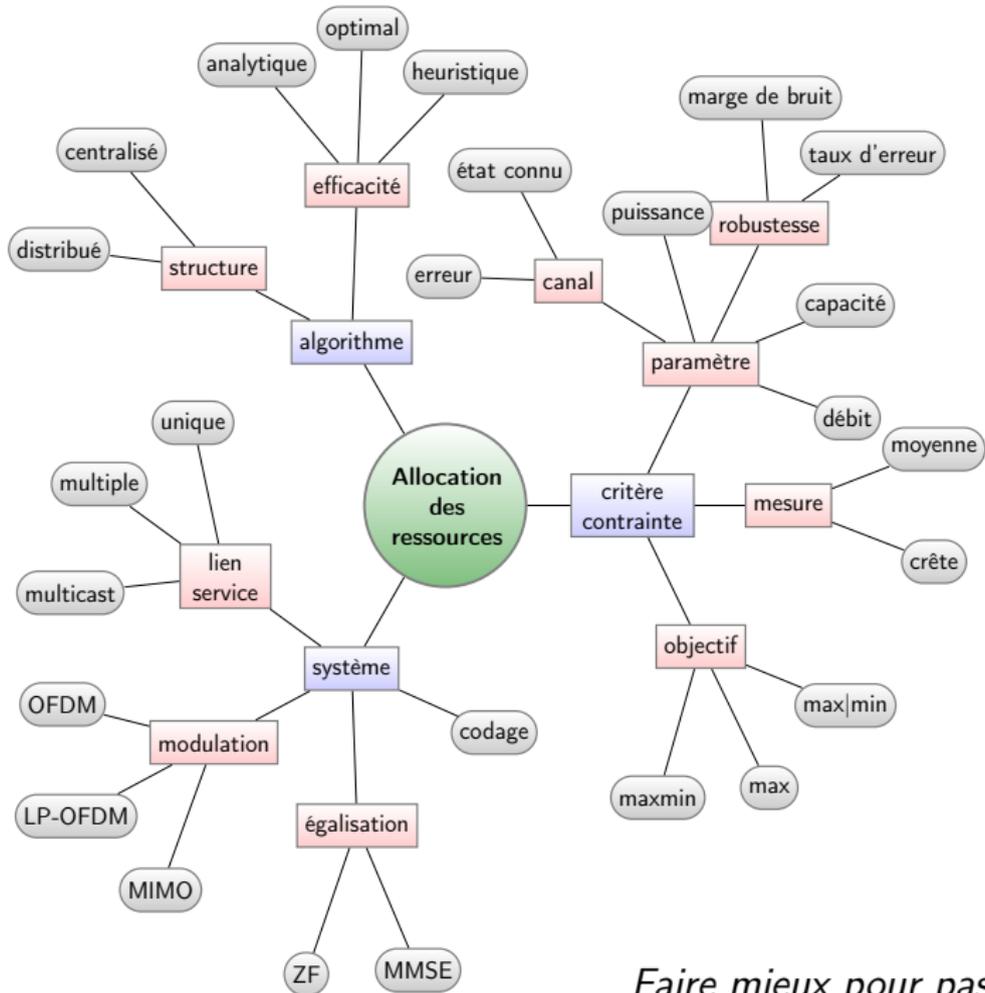
Quelques contextes d'application

1. Accès multiple
2. Diffusion groupée
3. Ultra large bande
4. Antennes multiples
5. Écoradio



- ▶ Compromis temps de transmission-occupation des canaux
- ▶ Nouveau éco-service
- ▶ Réduction de la consommation





Faire mieux pour pas cher

En guise de...

Najmeddine Kout



Jihane Benlahbib



Marwa Chami



Ziad Khalaf



François Bichelot



Anh Tai Ho

Julie Karaki

Perspectives d'hier : précodage

- ▶ Critère de l'erreur quadratique moyenne
- ▶ Consommation
- ▶ Radar

Perspectives d'hier : précodage

- ▶ Critère de l'erreur quadratique moyenne
 - ▶ Expression de la solution optimale
 - ▶ Matrice pleine
 - ▶ Multiplexage par code

- ▶ Consommation

- ▶ Radar

Perspectives d'hier : précodage

- ▶ Critère de l'erreur quadratique moyenne
 - ▶ Expression de la solution optimale
 - ▶ Matrice pleine
 - ▶ Multiplexage par code

- ▶ Consommation
 - ▶ Quelle borne ?
 - ▶ Holisme
 - ▶ Potentiel du précodage ?

- ▶ Radar

Perspectives d'hier : précodage

- ▶ Critère de l'erreur quadratique moyenne
 - ▶ Expression de la solution optimale
 - ▶ Matrice pleine
 - ▶ Multiplexage par code

- ▶ Consommation
 - ▶ Quelle borne ?
 - ▶ Holisme
 - ▶ Potentiel du précodage ?

- ▶ Radar
 - ▶ PAPR
 - ▶ Communication et observation

Perspectives d'aujourd'hui : précodage

- ▶ Transmission non orthogonale
 - ▶ École de printemps 2014, Newcom #
 - ▶ 5G, banc de filtres, communication opportuniste, radio intelligente
 - ▶ Précodage non orthogonal

- ▶ Optimisation non convexe

Perspectives d'aujourd'hui : précodage

- ▶ Transmission non orthogonale
 - ▶ École de printemps 2014, Newcom #
 - ▶ 5G, banc de filtres, communication opportuniste, radio intelligente
 - ▶ Précodage non orthogonal

- ▶ Optimisation non convexe
 - ▶ Journée GdR-ISIS, mai 2014
 - ▶ Matrice creuse et solution optimale dans \mathbb{N}

Et pour finir. . .

Et pour finir. . .

« Moins on pense, plus on parle. »

Montesquieu, *Pensées diverses*, 1717–1755

Et pour finir. . .

« Ce qui a été cru par tous, et toujours, et partout, a toutes les chances d'être faux. » Paul Valéry, *Moralités*, 1932

« Moins on pense, plus on parle. »

Montesquieu, *Pensées diverses*, 1717–1755

Et pour finir. . .

« Ce qui a été cru par tous, et toujours, et partout, a toutes les chances d'être faux. » Paul Valéry, *Moralités*, 1932

« Moins on pense, plus on parle. »

Montesquieu, *Pensées diverses*, 1717–1755

« Tout le monde savait que c'était impossible. Il est venu un imbécile qui ne le savait pas et qui l'a fait. »

Marcel Pagnol, *La Cinématurgie de Paris*, 1980

Séminaire SCEE

« Une contribution à l'allocation des ressources des systèmes
précodés à porteuses multiples »

Jean-Yves Baudais
CR CNRS, H.D.R.

<http://www.ietr.fr/spip.php?auteur190>

<https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01064975>

