

Soutenance de thèse

Yoann COUBLE

OPTIMISATION DE LA GESTION DES RESSOURCES SUR LA VOIE RETOUR

3 Septembre 2018

Jury :

Thomas NOËL
Sara ALOUF
Hervé RIVANO
Tijani CHAHED
Catherine ROSENBERG
Cédric BAUDOIN
Emmanuel CHAPUT
André-Luc BEYLOT

Professeur des Universités
Chargée de Recherche, HDR
Professeur des Universités
Professeur
Full Professor
Ingénieur de Recherche
Professeur des Universités
Professeur des Universités

Université de Strasbourg
INRIA
INSA Lyon
Télécom Sud Paris
University of Waterloo
Thales Alenia Space
Toulouse INP
Toulouse INP

Président
Rapporteuse
Rapporteur
Examineur
Examinatrice
Co-encadrant
Co-encadrant
Directeur

Invitée :

Caroline BÈS

Ingénieure de Recherche

CNES

Co-encadrante



Motivations

Accès à Internet par Satellite Géostationnaire

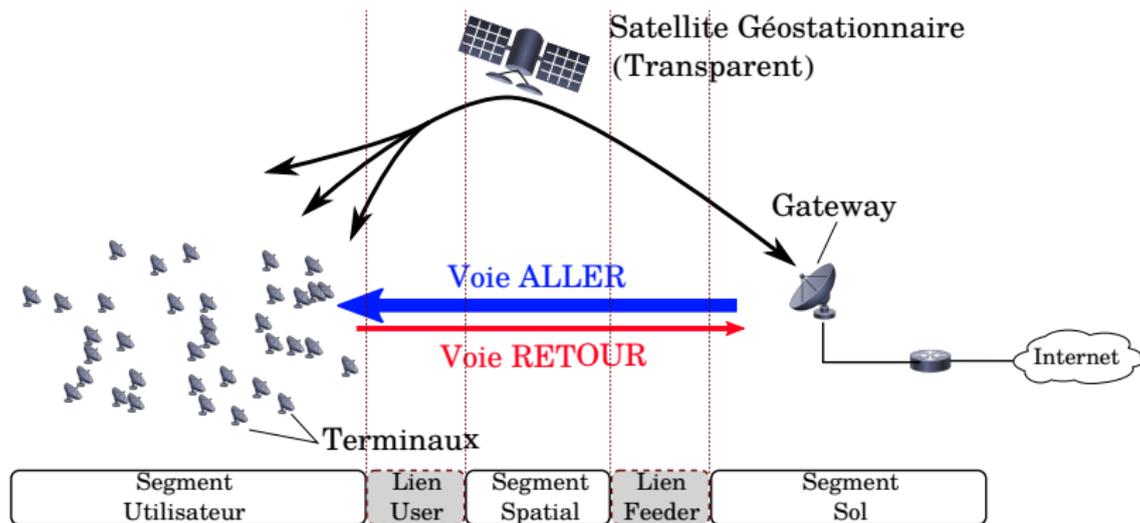
Caractéristiques :

- Grande zone de couverture
→ Idéal pour couvrir les zones éloignées ou peu densément peuplées
- Bandes de fréquences limitées et chères
(ex : Bande Ka : 500 MHz pour la voie retour)

Objectif : Densifier la couverture

→ Augmenter le débit fourni par le satellite

Système satellitaire géostationnaire



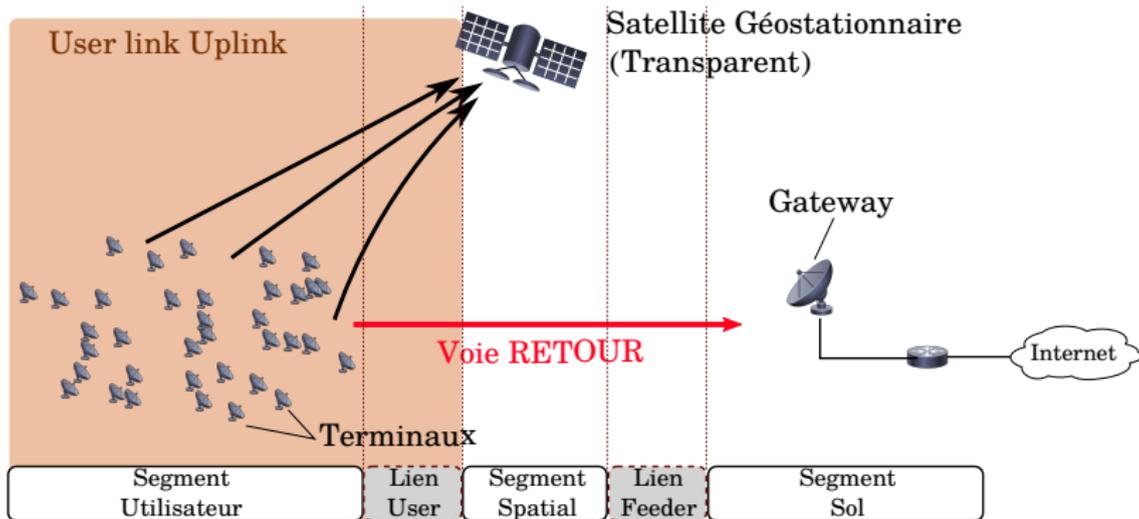
Voie ALLER

- Porte la majorité du trafic
- Largement étudiée et optimisée

Voie RETOUR

- Peu étudiée
- Nécessaire pour l'interactivité

Système satellitaire géostationnaire



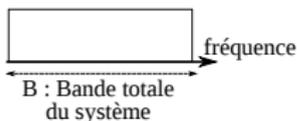
Voie ALLER

- Porte la majorité du trafic
- Largement étudiée et optimisée

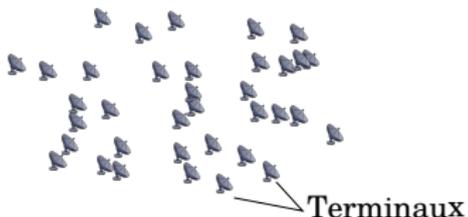
Voie RETOUR

- Peu étudiée
- Nécessaire pour l'interactivité

Densification de la couverture : Réutilisation des fréquences



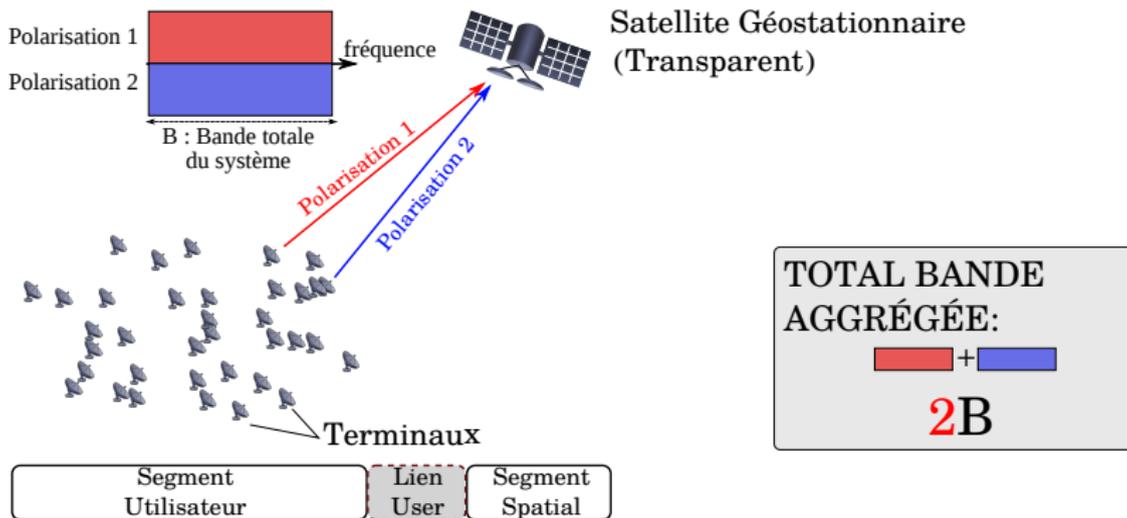
Satellite Géostationnaire
(Transparent)



TOTAL BANDE
AGGRÉGÉE:

B

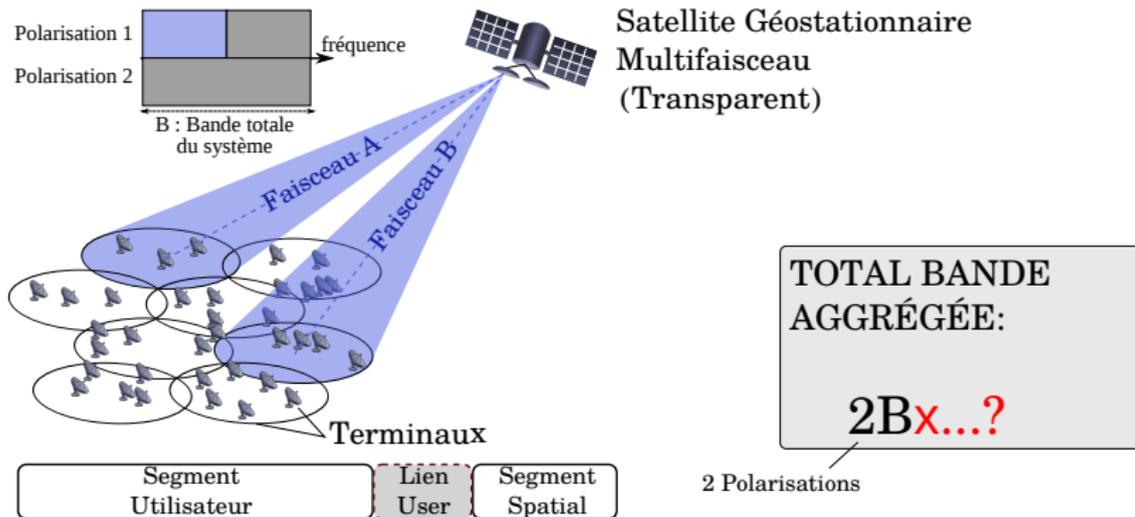
Densification de la couverture : Réutilisation des fréquences



Utilisation de 2 polarisations orthogonales :

- + Interférences cross-polarisation très faibles
- + Double la bande totale

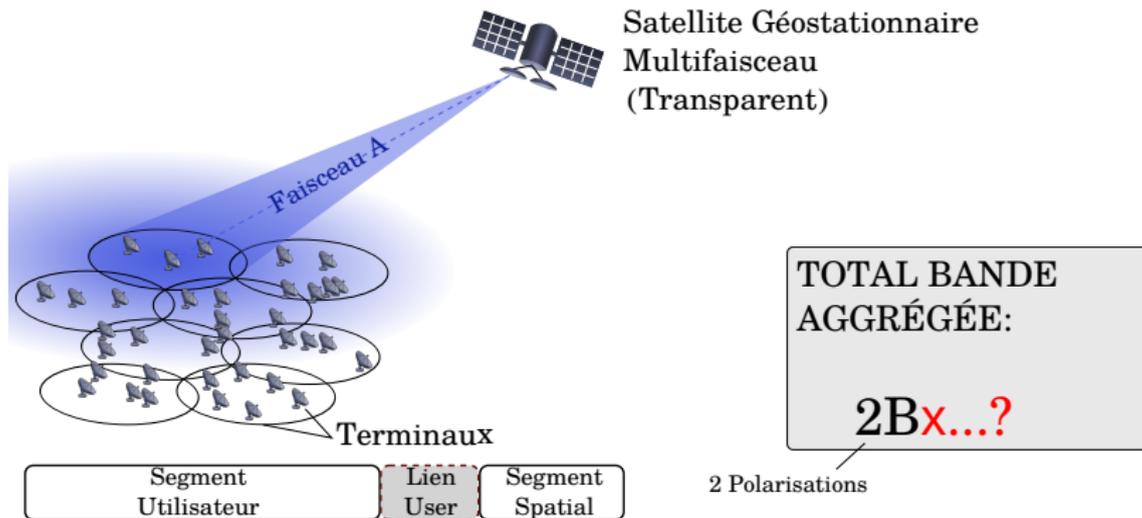
Densification de la couverture : Réutilisation des fréquences



Utilisation des antennes multifaisceau :

- + Transmissions multiples sur une même fréquence
- Interférences importantes (fonction de la distance)

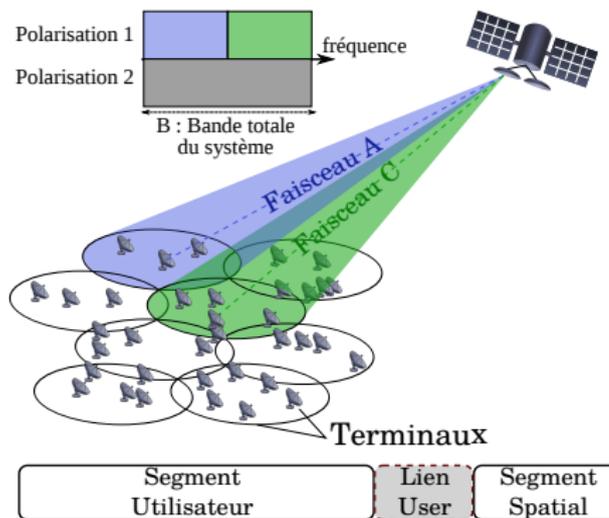
Densification de la couverture : Réutilisation des fréquences



Utilisation des antennes multifaisceau :

- + Transmissions multiples sur une même fréquence
- Interférences importantes (fonction de la distance)

Densification de la couverture : Réutilisation des fréquences



Satellite Géostationnaire
Multifaisceau
(Transparent)

TOTAL BANDE
AGGRÉGÉE:

■ + ■ + ...

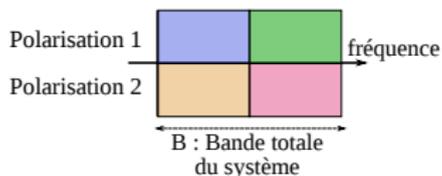
$$2B \times N_b / N_{col}$$

2 Polarisations Nombre Faisceaux Nombre Faisceaux

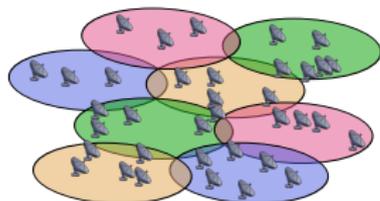
Utilisation des antennes multifaisceau :

- + Transmissions multiples sur une même fréquence
- Interférences importantes (fonction de la distance)

Densification de la couverture : Réutilisation des fréquences



Satellite Géostationnaire
Multi-Faisceaux
(Transparent)



TOTAL BANDE
AGGRÉGÉE:



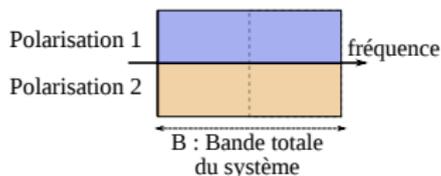
4B

(2 Polar. x 8 Fais. / 4 Coul.)

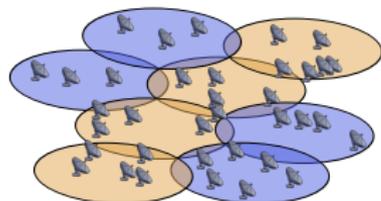
Schéma 4 couleurs :

- + Bonne isolation des interférences
- Seul 1/4 des ressources disponibles dans chaque faisceau

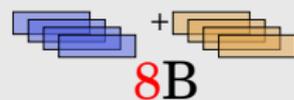
Densification de l'utilisation des fréquences



Satellite Géostationnaire
Multi-Faisceaux
(Transparent)



TOTAL BANDE
AGGRÉGÉE:



(2 Polar. x 8 Fais. / 2 Coul.)

Schéma deux couleurs (FR2) :

- + 2× plus de bande disponible dans chaque faisceau
- 2× plus de faisceaux interférant sur chaque fréquence

Densification de l'utilisation des fréquences

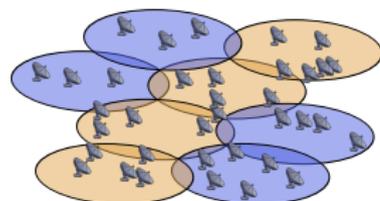
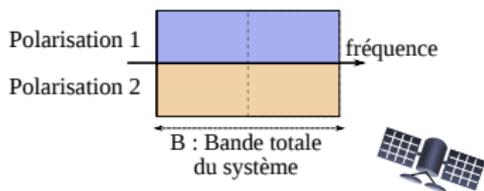


Schéma 2 couleurs: **TOTAL = 8B**

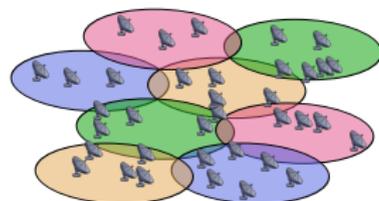
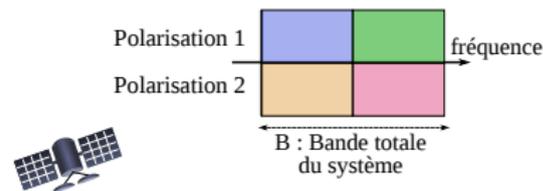


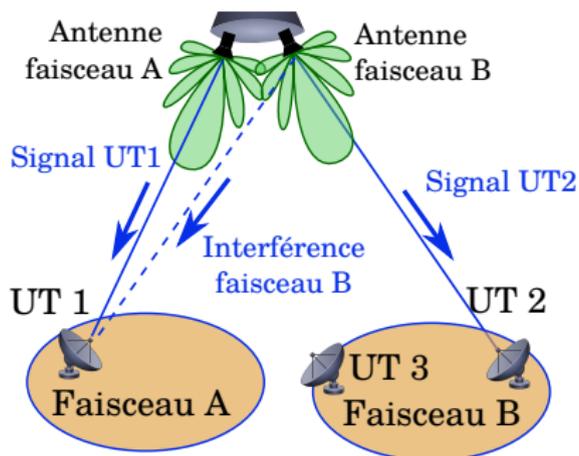
Schéma 4 couleurs: **TOTAL = 4B**

- 1 Est-il possible de rendre le schéma **2 couleurs** viable ?
- 2 Quelles **contraintes supplémentaires** pour le système ?

Difficultés du problème

- 1 Interférences voie RETOUR sur le user link uplink
- 2 Équité entre les utilisateurs
- 3 Taille du problème et contraintes temporelles

Interférences voie ALLER

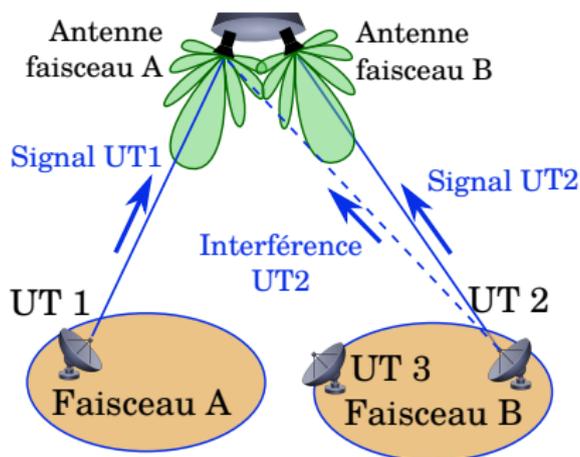


Voie ALLER :

- Niveaux d'interférence **constants** (pour l'utilisateur)
- Gestion des interférences et allocation des ressources **décorrélées**

Problème simple, largement traité

Interférences voie RETOUR

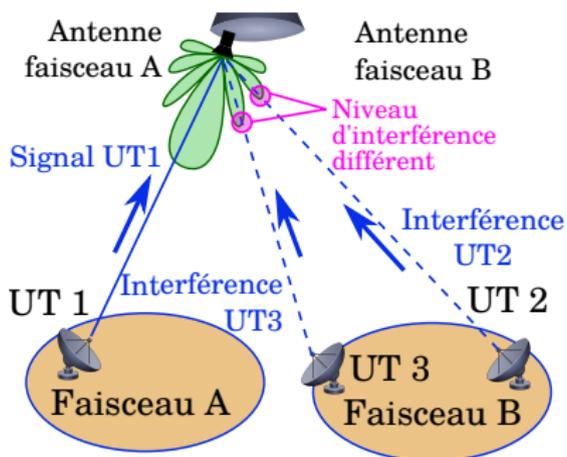


Voie RETOUR :

- Niveaux d'interférences **dépend des utilisateurs** interférant
- Dépendance entre gestion des interférences ET allocation des ressources

Nécessité d'une coordination dynamique au niveau du bloc de ressource

Interférences voie RETOUR



Voie RETOUR :

- Niveaux d'interférences **dépend des utilisateurs** interférant
- Dépendance entre gestion des interférences ET allocation des ressources

Nécessité d'une coordination dynamique au niveau du bloc de ressource

Équité entre les utilisateurs

Choix d'une métrique pour le système :

- Maximiser l'efficacité → **utilisateurs non-servis**
- **Équité proportionnelle (PF)**
→ **Bon compromis entre équité et efficacité du système**
Équivalent à :

$$\text{Maximiser}_x \sum_i \log(\text{débit}(i))$$

Objectif non-linéaire

Lien entre gestion de l'équité, interférences et allocation de ressources

Équité entre les utilisateurs

Choix d'une métrique pour le système :

- Maximiser l'efficacité → **utilisateurs non-servis**
- **Équité proportionnelle (PF)**
→ **Bon compromis entre équité et efficacité du système**
Équivalent à :

$$\text{Maximiser}_x \sum_i \log(\text{débit}(i))$$

Objectif non-linéaire

Lien entre gestion de l'équité, interférences et allocation de ressources

Taille du problème et contraintes temporelles

Ordres de grandeur :

- 100-300 faisceaux
- 10000 terminaux par faisceau (actifs + inactifs)
- 20-300 porteuses sur 500 MHz

- Une trame MF-TDMA dure 25 ms

Tous les traitements (dont allocation de ressources) d'une trame doivent être faits en moins de 25 ms

Récapitulatif

Cadre considéré :

- Système satellitaire GEO, transparent et multifaisceau
- Voie RETOUR : DVB-RCS2, accès dédié (MF-TDMA)
- **4 couleurs → 2 couleurs**

Difficultés du problème :

- 1 Interférences voie RETOUR
→ Coordination dynamique + Combinatoire importante
- 2 Équité entre les utilisateurs : Proportional Fairness
→ Gestion temporelle de l'équité + Objectif non-linéaire
- 3 Taille du problème et contraintes temporelles
→ 25ms pour résoudre le problème pour une trame

**Problème d'allocation de ressources, combinatoire,
non-linéaire et de très grande taille.**

À résoudre toutes les 25ms

Contributions de la thèse

- 1** Détermination des gains maximaux du schéma 2 couleurs
 - avec et sans prise en compte de l'équité
 - méthode de résolution approchée performante
- 2** Solution pratique d'allocation de ressources coordonnée
 - Réduction de la complexité du problème
 - Étude du compromis performances / complexité
- 3** Schémas de coloration intermédiaires (type FFR)
 - Conception d'un schéma intermédiaire spécialisé → Brevet
 - Comparaison des schémas de coloration

1 Introduction

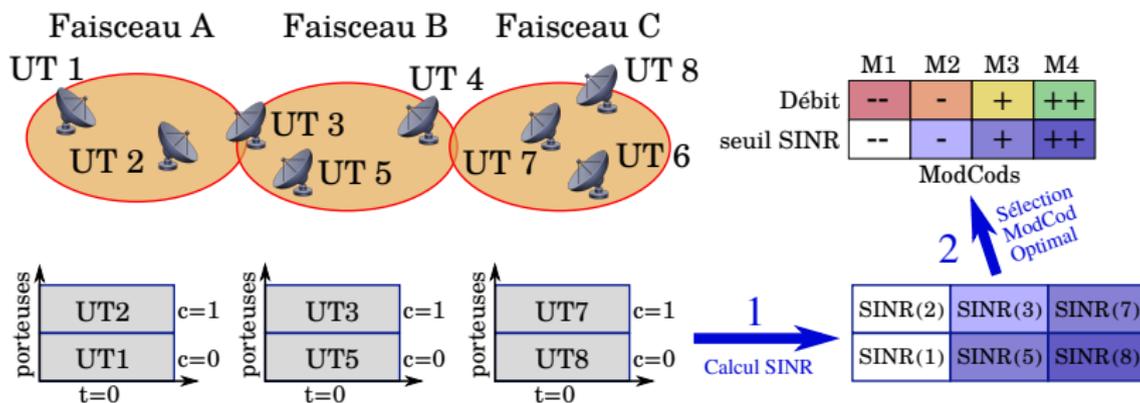
2 Calcul des gains maximaux du schéma 2 couleurs

- Formulation du problème
- Méthodes de résolution
- Résultats

3 Solution pratique : Étude de l'impact de la coordination

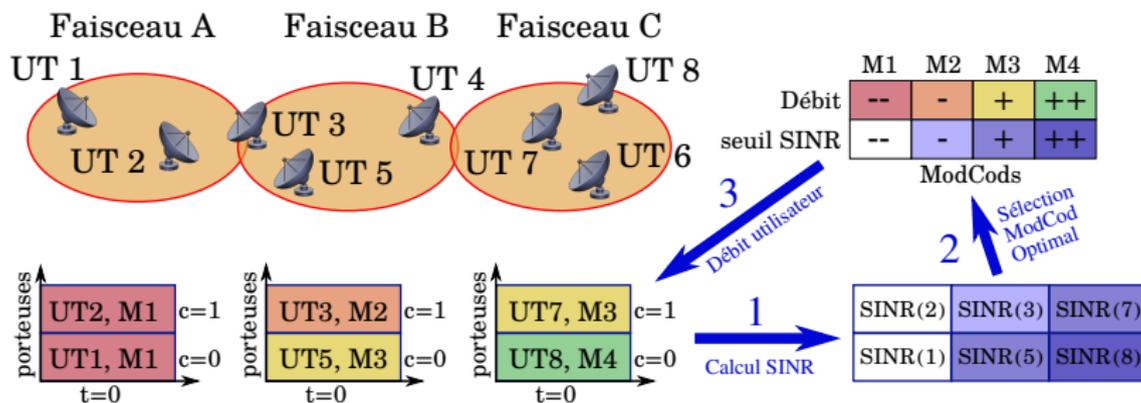
4 Conclusions et Perspectives

Calcul du débit



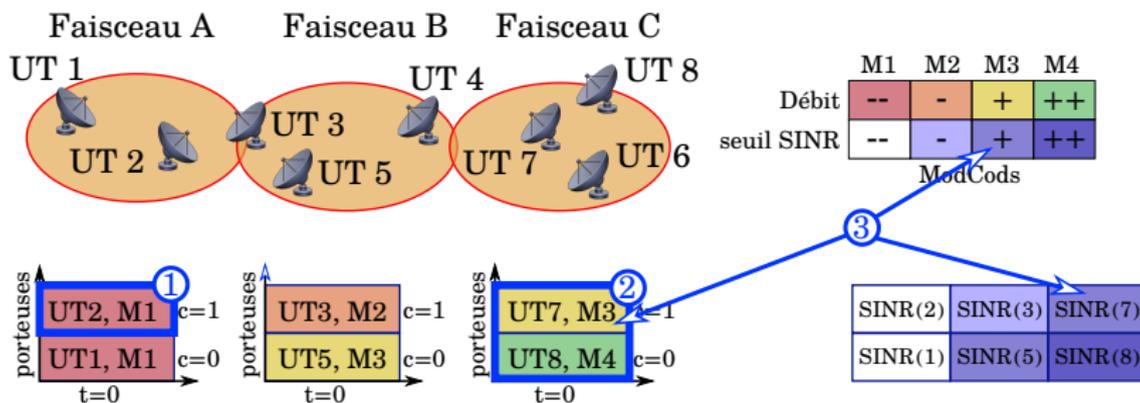
- Affectation des ressources aux utilisateurs
- Débit de l'utilisateur = débit du meilleur ModCod disponible, en fonction du Rapport Signal à Bruit plus Interférants (SINR)

Calcul du débit



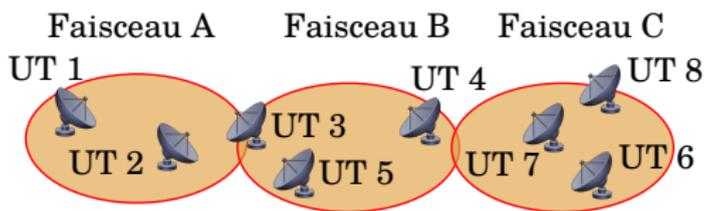
- Affectation des ressources aux utilisateurs **ET ModCod**
- Débit de l'utilisateur = débit du meilleur ModCod disponible, en fonction du Rapport Signal à Bruit plus Interférants (SINR)

Contraintes système

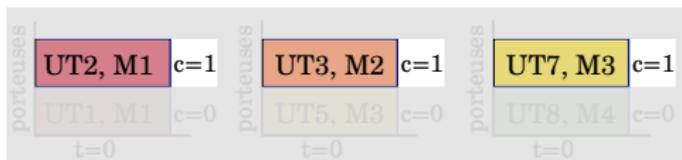


- 1 Accès dédié : 1 utilisateur par bloc
- 2 Contrainte système : 1 porteuse maximum par utilisateur
- 3 Transmission réussie : $SINR(i) \geq SINR_{seuil}(\text{ModCod})$

Liberté de non-affectation

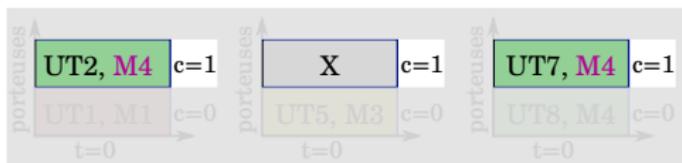


	M1	M2	M3	M4
Débit	--	-	+	++
seuil SINR	--	-	+	++
	ModCods			



Débit(M1) + Débit(M2) + Débit(M3)

SINR(2)	SINR(3)	SINR(7)
SINR(1)	SINR(5)	SINR(8)



Débit(M4) + 0 + Débit(M4)

SINR(2)	-	SINR(7)
SINR(1)	SINR(5)	SINR(8)

- Parfois profitable de ne pas transmettre
→ Spécificité voie RETOUR

Problème formel - 1) Calcul du débit maximal

$$\forall c, \forall k, \sum_{i \in \mathcal{U}_k} \sum_m x_{im}^{kc} \leq 1$$

Possibilité de laisser une ressource non-utilisée

Un utilisateur max par bloc de ressource (RB)

$$\forall k, \forall i \in \mathcal{U}_k, \sum_c \sum_m x_{im}^{kc} \leq 1$$

Transmission sur une seule porteuse à la fois

$$\forall c, \forall k, \forall i \in \mathcal{U}_k, \forall m, \frac{P_i G_k(i)}{\gamma_m} \geq \mu + \sum_{\substack{k' \neq k \\ j \in \mathcal{U}_{k'}}} \sum_{m'} x_{jm'}^{k'c} P_j G_k(j) + (x_{im}^{kc} - 1)B$$

Seuil SINR MODCOD m

"N + I"

Vérification du bilan de liaison

$$\forall c, \forall k, \forall i \in \mathcal{U}_k, \forall m, x_{im}^{kc} \in \{0, 1\}$$

Affectation binaire

Variables d'allocation (MODCOD dynamique)

Problème formel - 1) Calcul du débit maximal

$$\text{Maximiser}_{\mathbf{x}} \sum_{k,i \in \mathcal{U}_k} \sum_{c,m} x_{im}^{kc} r_m$$

Maximisation du débit total du système
Débit de l'utilisateur i Débit du MODCOD m

$$\forall c, \forall k, \sum_{i \in \mathcal{U}_k} \sum_m x_{im}^{kc} \leq 1$$

Un utilisateur max par bloc de ressource (RB)

$$\forall k, \forall i \in \mathcal{U}_k, \sum_c \sum_m x_{im}^{kc} \leq 1$$

Transmission sur une seule porteuse à la fois

$$\forall c, \forall k, \forall i \in \mathcal{U}_k, \forall m, \frac{P_i G_k(i)}{\gamma_m} \geq \mu + \sum_{\substack{k' \neq k \\ j \in \mathcal{U}_{k'}}} \sum_{m'} x_{jm'}^{k'c} P_j G_k(j) + (x_{im}^{kc} - 1)B$$

Vérification du bilan de liaison

$$\forall c, \forall k, \forall i \in \mathcal{U}_k, \forall m, x_{im}^{kc} \in \{0, 1\}$$

Variables d'allocation (MODCOD dynamique)

Problème formel - 2) Prise en compte de l'équité PF

$$\text{Maximiser}_{\mathbf{x}} \sum_{k,i \in \mathcal{U}_k} \sum_{c,m} x_{im}^{kc} \frac{r_m}{\theta_{t,i} + \delta_i}$$

**Objectif linéarisé,
équivalent à PF**

Débit moyen de l'utilisateur i
à l'instant t

Débit instantané de
l'utilisateur i à l'instant $t+1$

$$\forall c, \forall k, \sum_{i \in \mathcal{U}_k} \sum_m x_{im}^{kc} \leq 1$$

Un utilisateur max par
bloc de ressource (RB)

$$\forall k, \forall i \in \mathcal{U}_k, \sum_c \sum_m x_{im}^{kc} \leq 1$$

Transmission sur une
seule porteuse à la fois

$$\forall c, \forall k, \forall i \in \mathcal{U}_k, \forall m, \frac{P_i G_k(i)}{\gamma_m} \geq \mu + \sum_{\substack{k' \neq k \\ j \in \mathcal{U}_{k'}}} \sum_{m'} x_{jm'}^{k'c} P_j G_k(j) + (x_{im}^{kc} - 1) B$$

Vérification du bilan de liaison

$$\forall c, \forall k, \forall i \in \mathcal{U}_k, \forall m, x_{im}^{kc} \in \{0, 1\}$$

Variables d'allocation
(MODCOD dynamique)

- Problèmes d'optimisation linéaire en nombres entiers

Méthodes de résolution

Problèmes linéaires en nombres entiers :

- + Méthodes de résolution génériques connues
- Ne passent pas à l'échelle dans leur forme générale

Deux méthodes de résolution proposées

- 1 Résolution exacte (EXACTE)
 - Très long
 - Garantie d'optimalité (à une tolérance près)
- 2 Résolution gloutonne, par porteuse (GLOUTONNE)
 - Passe mieux à l'échelle (N_C fois moins de variables)
 - Potentiellement sous-optimale

Méthodes de résolution

Problèmes linéaires en nombres entiers :

- + Méthodes de résolution génériques connues
- Ne passent pas à l'échelle dans leur forme générale

Deux méthodes de résolution proposées

- 1 Résolution exacte (EXACTE)
 - Très long
 - Garantie d'optimalité (à une tolérance près)
- 2 Résolution gloutonne, par porteuse (GLOUTONNE)
 - Passe mieux à l'échelle (N_C fois moins de variables)
 - Potentiellement sous-optimale

Méthodes de résolution

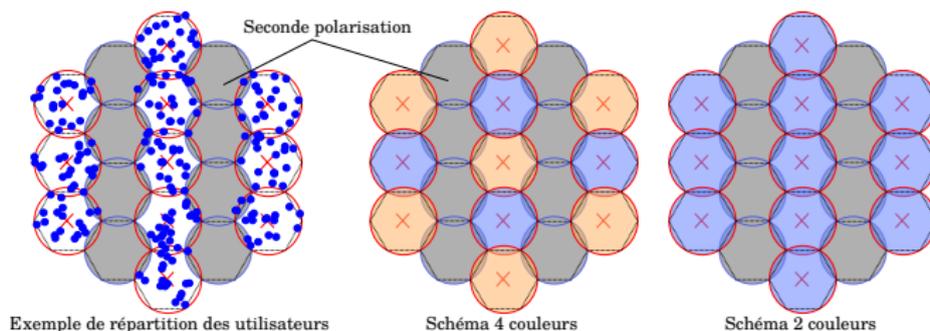
Problèmes linéaires en nombres entiers :

- + Méthodes de résolution génériques connues
- Ne passent pas à l'échelle dans leur forme générale

Deux méthodes de résolution proposées

- 1 Résolution exacte (EXACTE)
 - Très long
 - Garantie d'optimalité (à une tolérance près)
- 2 Résolution gloutonne, par porteuse (GLOUTONNE)
 - Passe mieux à l'échelle (N_C fois moins de variables)
 - Potentiellement sous-optimale → **À quel point ?**

Résultats - Scénario "jouet"



Paramètre	Valeur dans le scénario jouet
Nombre faisceaux	11 (une polarisation)
Nombre porteuses	8
Nombre utilisateurs actifs par faisceau	4 → 16
Durée d'observation	50 slots temporels

Résultats - Débit système

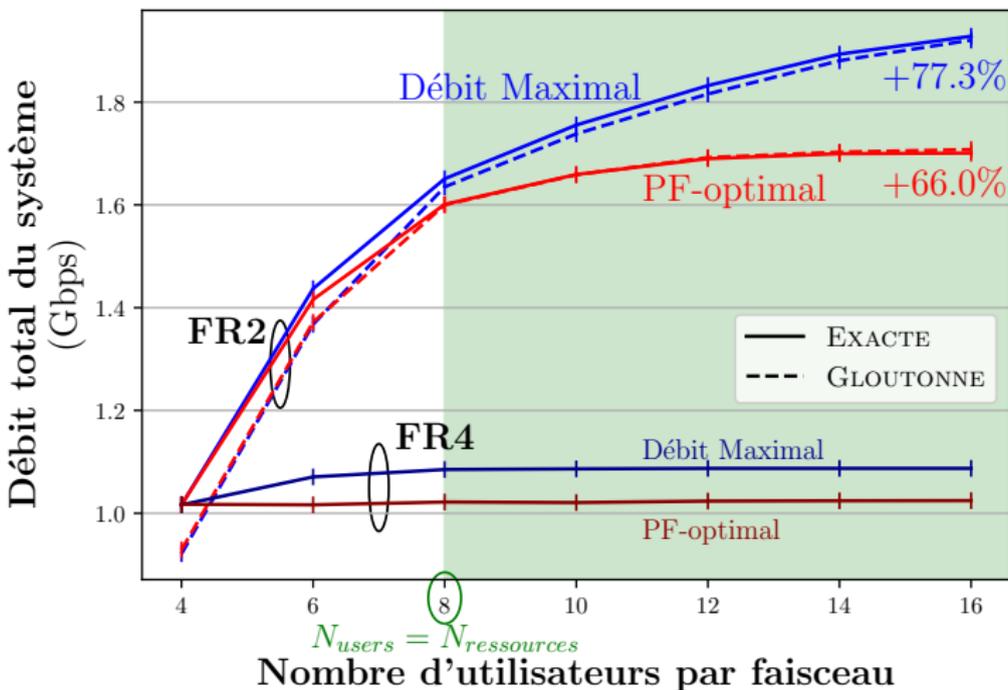


FIGURE – Résultats pour le scénario jouet (8 porteuses)

Résultats - Temps de résolution moyens

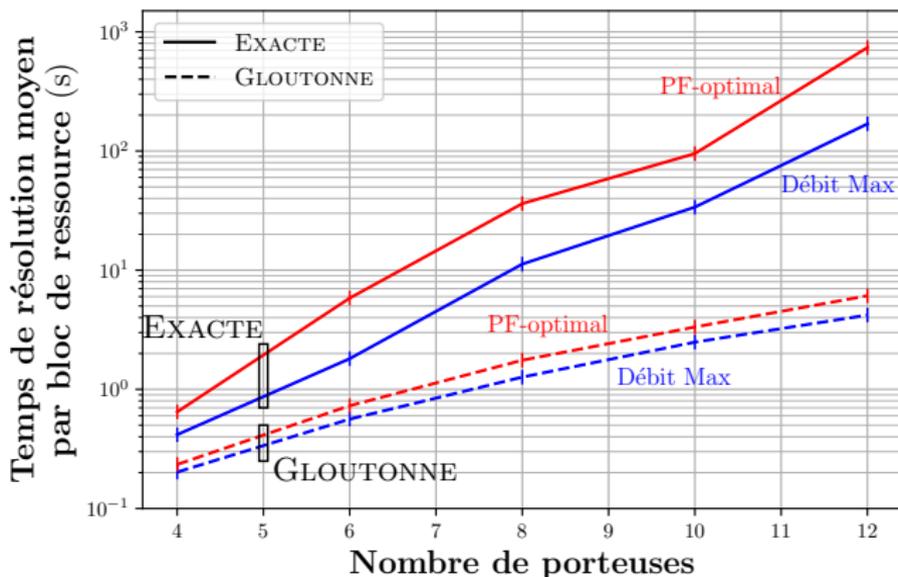


FIGURE – Passage à l'échelle en fonction du nombre de porteuses.
Charge : 1 utilisateur / porteuse.

Conclusions - Calcul des bornes supérieures

Conclusions

- Gains potentiels très importants par rapport au 4 couleurs :
 - Débit maximal : + 60-75%
 - Allocation PF-optimale : + 60-65%
- Méthode GLOUTONNE suffisante
 - $\approx 2\%$ perte d'optimalité
 - Meilleur passage à l'échelle

- 1 Introduction
- 2 Calcul des gains maximaux du schéma 2 couleurs
- 3 Solution pratique : Étude de l'impact de la coordination**
 - Introduction
 - Architecture pour la coordination
 - Nature de la coordination
 - Portée de la coordination
 - Résultats
- 4 Conclusions et Perspectives

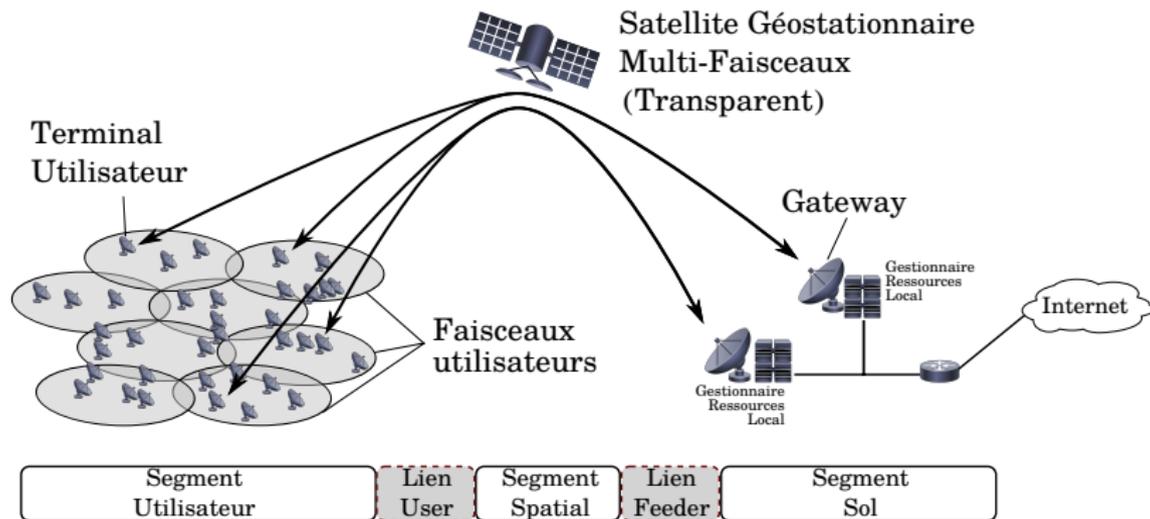
Introduction

Résolution optimale :

- Interférences voie RETOUR → prises en compte
- Équité entre les utilisateurs → prise en compte
- Taille du problème et contraintes temporelles
→ ne passe pas à l'échelle
- Faisabilité de la coordination ? Quelle architecture ?

⇒ Nécessité de trouver une **solution réaliste de coordination** qui offre un **compromis entre performances et complexité**

Gateway virtuelle centralisée



■ Gestion des ressources centralisée

Non coordonnée

risque d'erreurs

simple

Conjointe

plus pertinente

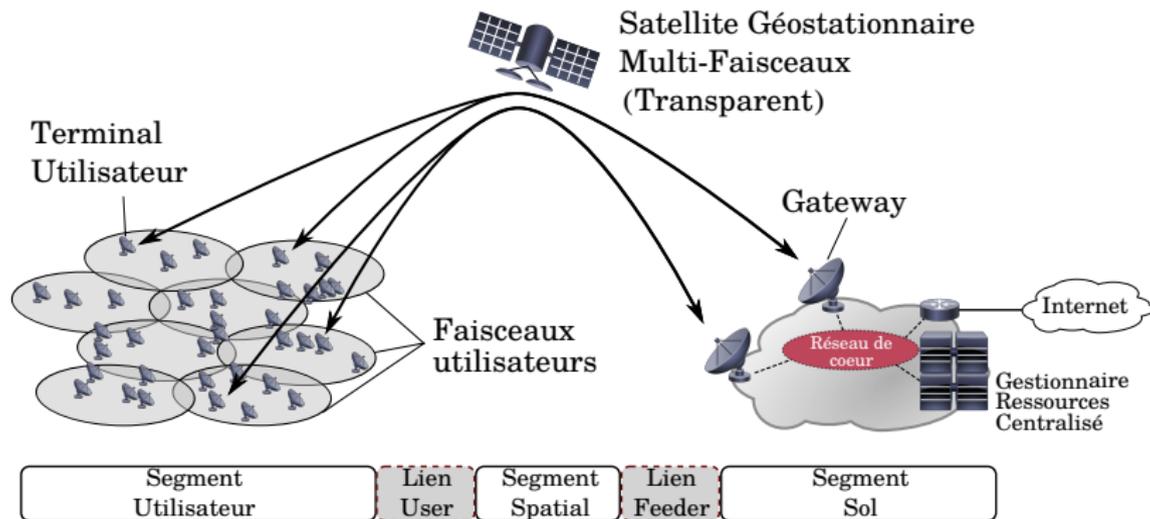
plus complexe

Coordonnée

Compromis

complexité/efficacité

Gateway virtuelle centralisée



■ Gestion des ressources centralisée

Non coordonnée

risque d'erreurs

simple

Conjointe

plus pertinente

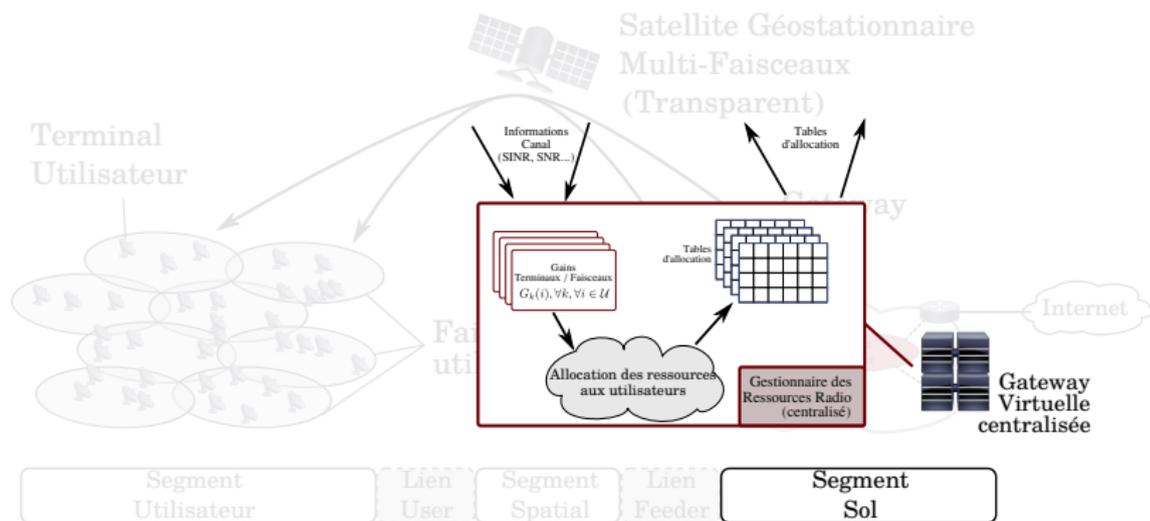
plus complexe

Coordonnée

Compromis

complexité/efficacité

Gateway virtuelle centralisée



■ Gestion des ressources centralisée

Non coordonnée

risque d'erreurs

simple

Conjointe

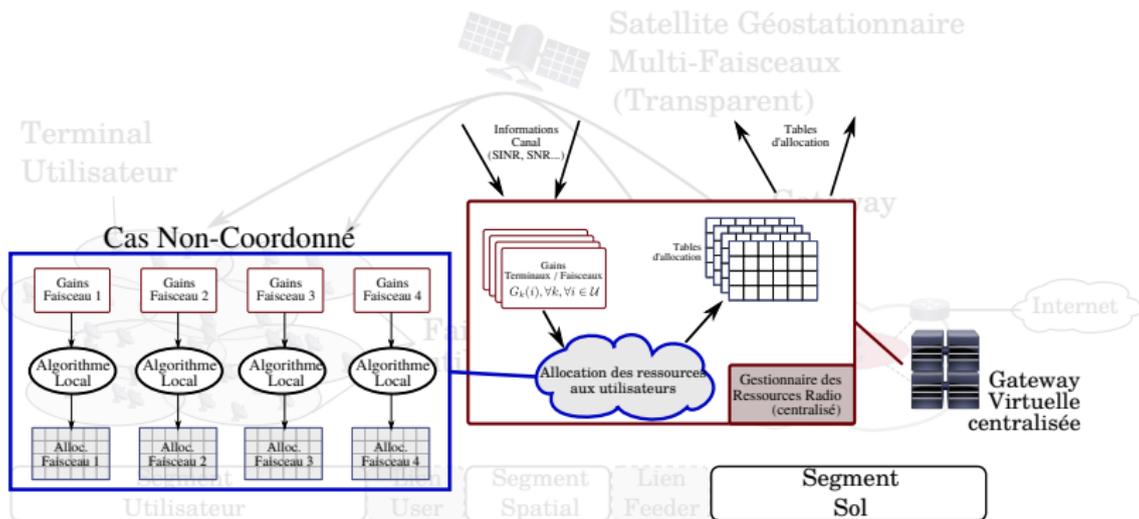
plus pertinente

plus complexe

Coordonnée

Compromis
complexité/efficacité

Gateway virtuelle centralisée



■ Gestion des ressources centralisée

Non coordonnée

risque d'erreurs

simple

Conjointe

plus pertinente

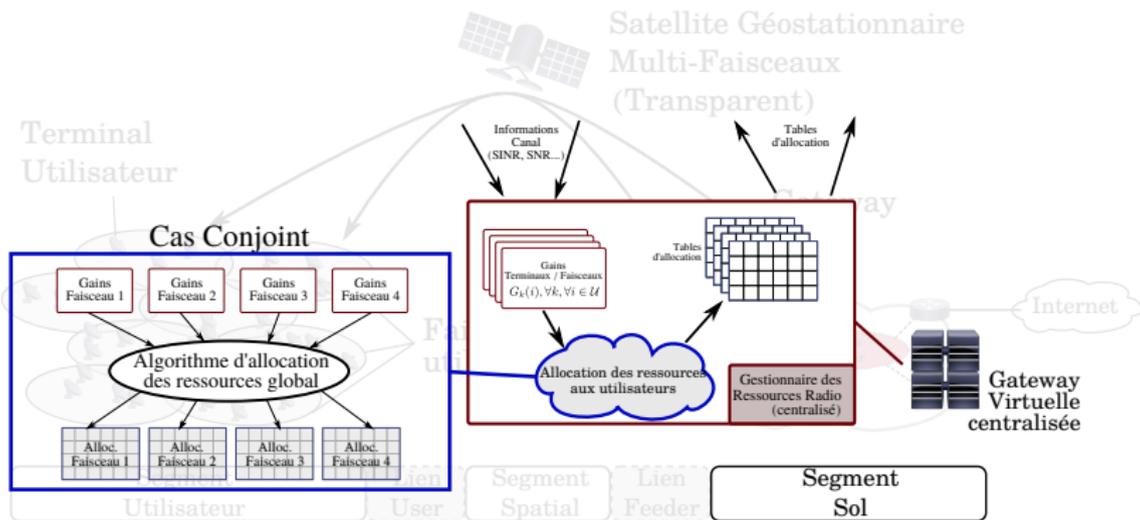
plus complexe

Coordonnée

Compromis

complexité/efficacité

Gateway virtuelle centralisée



■ Gestion des ressources centralisée

Non coordonnée

risque d'erreurs
simple

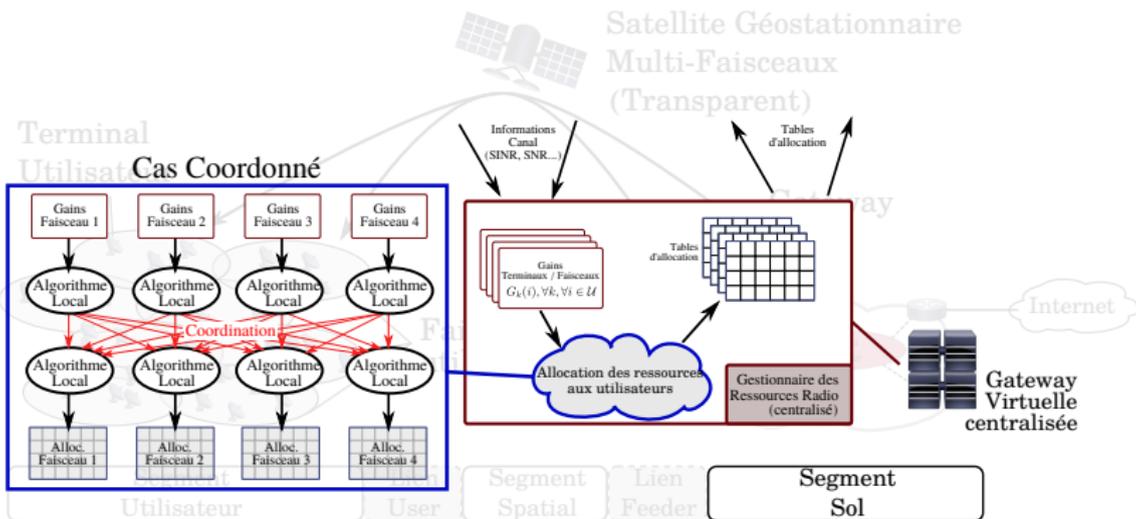
Conjointe

plus pertinente
plus complexe

Coordonnée

Compromis
complexité/efficacité

Gateway virtuelle centralisée



■ Gestion des ressources centralisée

Non coordonnée

risque d'erreurs
simple

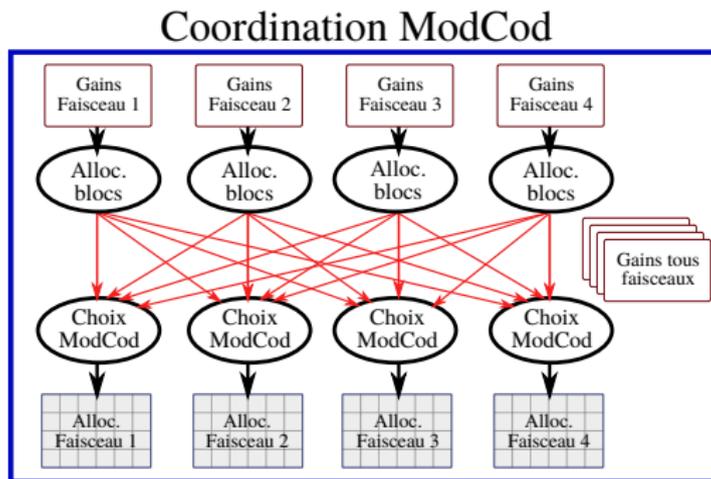
Conjointe

plus pertinente
plus complexe

Coordonnée

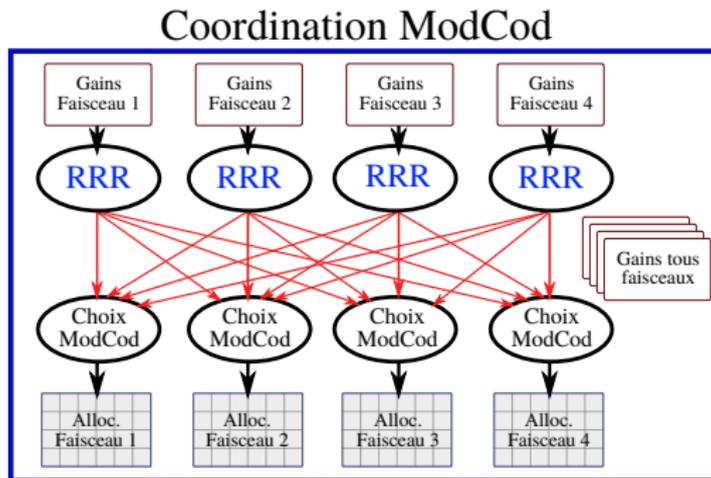
Compromis
complexité/efficacité

Solution de coordination proposée : Coord. ModCod



- Séparation sélection utilisateurs et ModCod
- Sélection utilisateur locale : Randomized Round Robin (RRR)
- Échange tables d'allocation
- Alloc. + Gains → Choix ModCod optimal

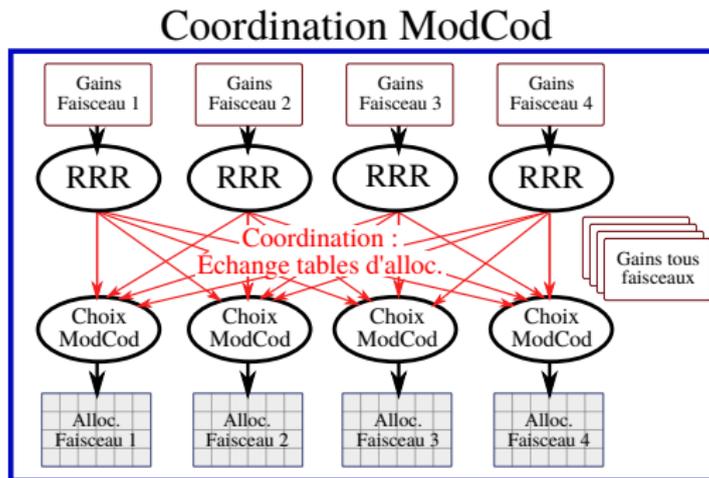
Solution de coordination proposée : Coord. ModCod



Sélection utilisateur :

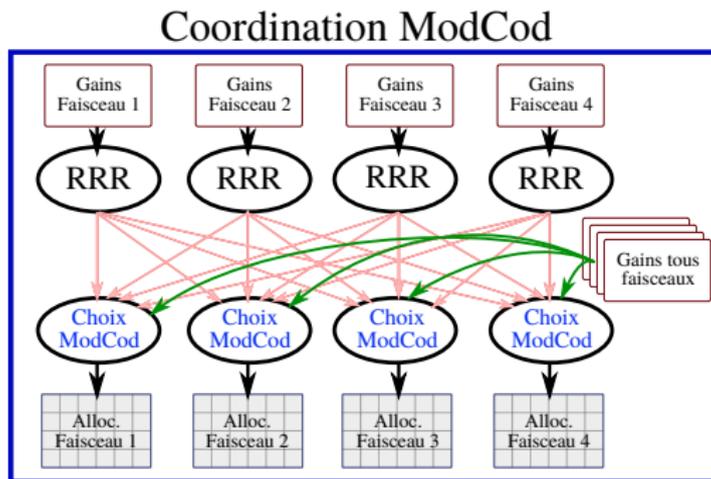
- Non-coordonnée : interférences inconnues
- Puissances et Gains fixes : PF \Leftrightarrow Équité en temps
- **Randomized Round Robin (RRR)** plus efficace en pratique

Solution de coordination proposée : Coord. ModCod



- Séparation sélection utilisateurs et ModCod
- Sélection utilisateur locale : Randomized Round Robin (RRR)
- Échange tables d'allocation
- Alloc. + Gains → Choix ModCod optimal

Solution de coordination proposée : Coord. ModCod



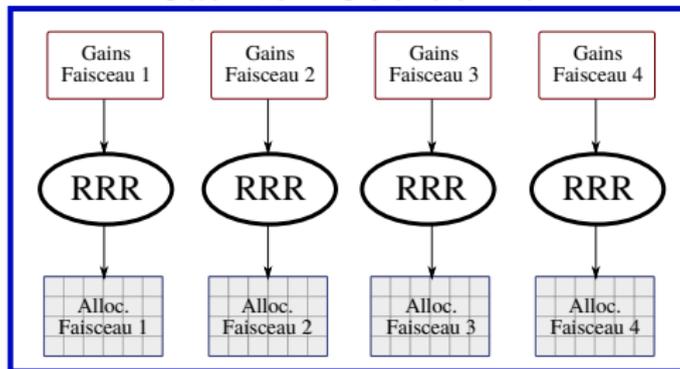
- Séparation sélection utilisateurs et ModCod
- Sélection utilisateur locale : Randomized Round Robin (RRR)
- Échange tables d'allocation
- Alloc. + Gains → Choix ModCod optimal

Solution de référence (\approx état de l'art)

Pas de coordination dynamique :

- Partage d'un **niveau moyen d'interférence** (e.g. mesures, estimation)
→ MODCOD choisi de manière locale et statique
- Affectation des ressources non-coordonnée (RRR)

Cas Non-Coordonné



Nature de la coordination – Résultats

Solution d'allocation des ressources	Moy. Geom. débits (métrique PF)	Taux de Perte RB	Temps de Calcul moyen par RB
Quasi-optimal PF	100.0%	$\approx 10^{-5}$	682.2s
Coord. MODCOD	79.6%	$\approx 10^{-5}$	0.587ms
Non-coordonnée	0.0%	1.10^{-2}	0.278ms
Non-coordonnée(FR-4)	61.3%	4.10^{-3}	0.119ms

TABLE – Comparaison des performances des trois solutions.

- Non-coordonné → contre-productif (interférences trop variables)
- Coordination ModCod : $\approx 80\%$ optimal et gain de 30% par rapport à FR4

Coordination de ModCod offre un bon compromis entre efficacité et complexité

Nature de la coordination – Résultats

Solution d'allocation	Moy. Geom. débits (métrique PF)	Taux de Perte RB	Temps de Calcul moyen par RB
Moyenne Géométrique: Au moins 1 terminal n'a jamais de transmission réussie	100.0%	$\approx 10^{-5}$	682.2s
Coord. MODCOD	79.6%	$\approx 10^{-5}$	0.587ms
Non-coordonnée	0.0%	1.10^{-2}	0.278ms
Non-coordonnée(FR-4)	61.3%	4.10^{-3}	0.119ms

TABLE – Comparaison des performances des trois solutions.

- Non-coordonné → contre-productif (interférences trop variables)
- Coordination ModCod : $\approx 80\%$ optimal et gain de 30% par rapport à FR4

Coordination de ModCod offre un bon compromis entre efficacité et complexité

Nature de la coordination – Résultats

Solution d'allocation des ressources	Moy. Geom. débits (métrique PF)	Taux de Perte RB	Temps de Calcul moyen par RB
Quasi-optimal PF	100.0%	$\approx 10^{-5}$	682.2s
Coord. MODCOD	79.6%	$\approx 10^{-5}$	0.587ms
Non-coordonnée	0.0%	1.10^{-2}	0.278ms
Non-coordonnée(FR-4)	61.3%	4.10^{-3}	0.119ms

TABLE – Comparaison des performances des trois solutions.

- Non-coordonné → contre-productif (interférences trop variables)
- Coordination ModCod : $\approx 80\%$ optimal et **gain de 30% par rapport à FR4**

Coordination de ModCod offre un bon compromis entre efficacité et complexité

Nature de la coordination - Passage à l'échelle

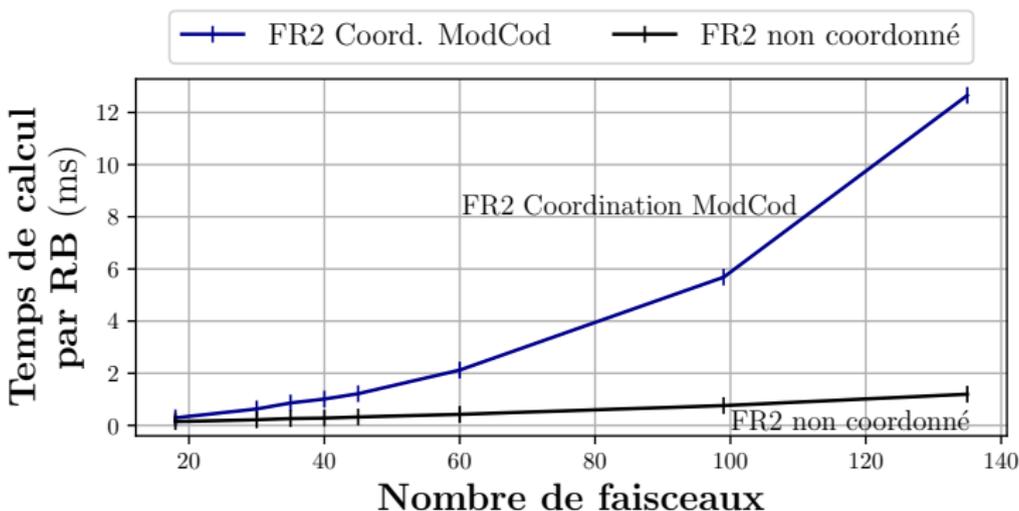
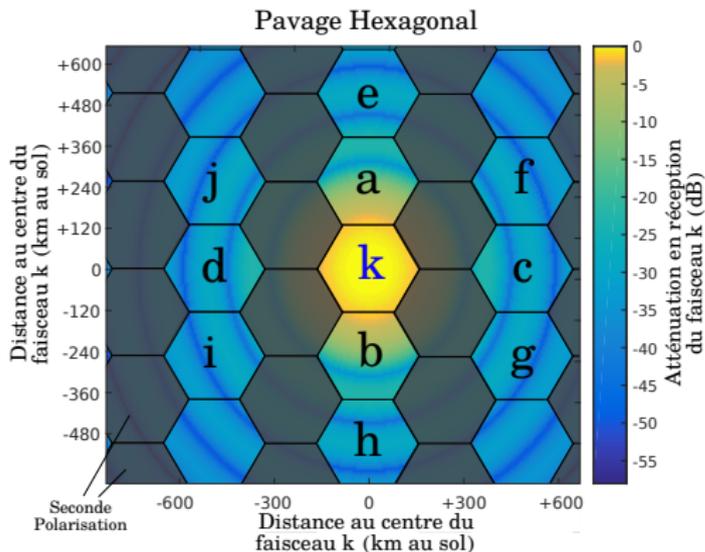


FIGURE – Passage à l'échelle.

Coordination ModCod : Passage à l'échelle à améliorer.

Portée de la coordination – Principe



Quelles données sont pertinentes ?

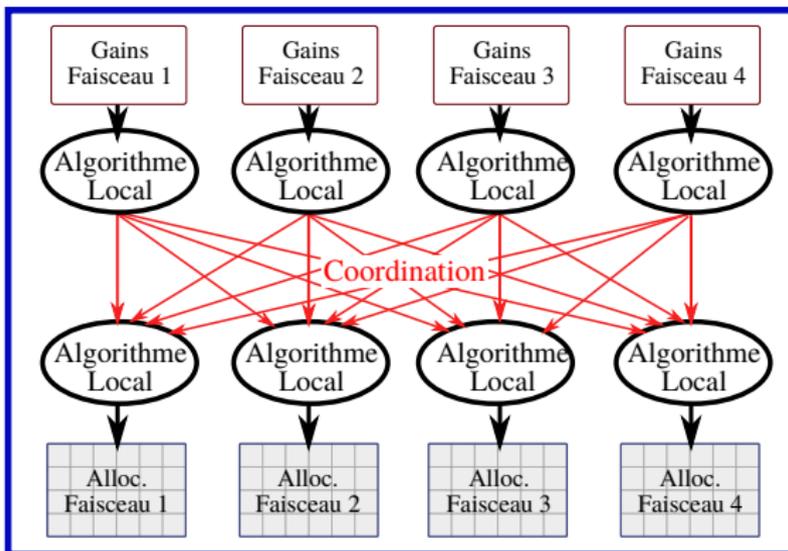
4 portées de coordination

- $P = 2 : \{a, b\}$
- $P = 3 : \{a, b, c, d\}$
- $P = 4 :$
 $\{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j\}$
- $P = \infty : \text{Tous}$

FIGURE – Diagramme d'antenne du faisceau k , et position des faisceaux voisins

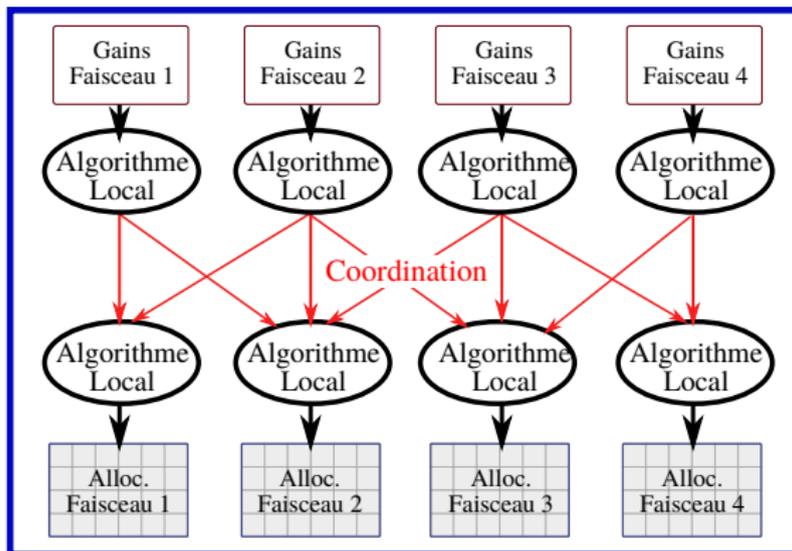
Portée de la coordination - Principe

Cas Coordonné



Portée de la coordination - Principe

Cas Coordonné



Portée de la coordination – Résultats

Solution d'allocation des ressources	Portée	Perte moy. geom. par rapport à $P = \infty$	Temps de calcul par bloc de ressource
Coord. ModCod	$P = 2$	-2.2%	0.292ms
Coord. ModCod	$P = 3$	-1.0%	0.317ms
Coord. ModCod	$P = 4$	-0.4%	0.348ms
Coord. ModCod	$P = \infty$	0.0%	0.587ms
Non-Coordonné(FR2)	$P = 0$	N/A	0.278ms
Quasi-Optimal PF	$P = \infty$	N/A	682.207s

TABLE – Perte d'optimalité par rapport la coordination globale.

Portée de la coordination – Résultats

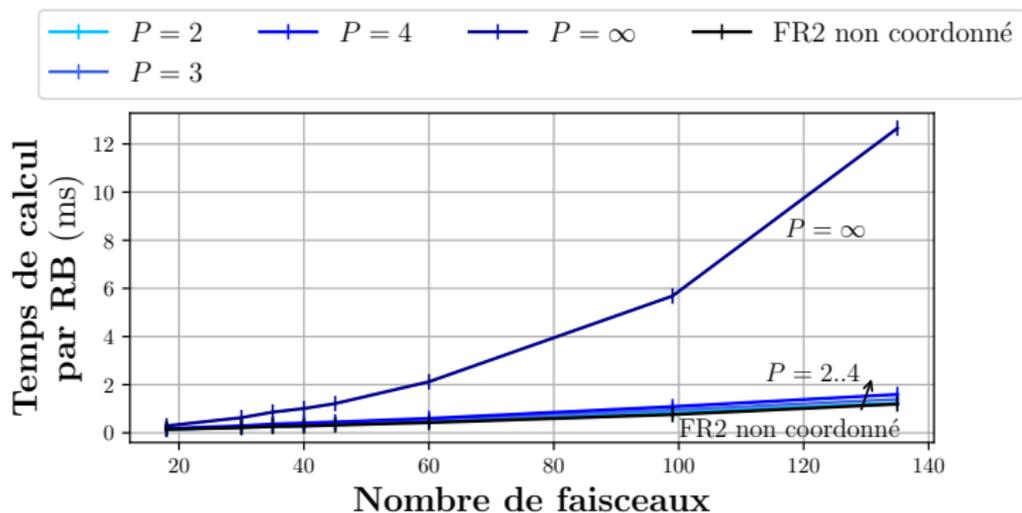


FIGURE – Passage à l'échelle avec portée réduite.

Coordination avec plus proches voisins : perte faible d'efficacité, meilleur passage à l'échelle.

- 1 Introduction
- 2 Calcul des gains maximaux du schéma 2 couleurs
- 3 Solution pratique : Étude de l'impact de la coordination
- 4 Conclusions et Perspectives**
 - Conclusions
 - Perspectives

Conclusions

Question initiale : Schéma 2 couleurs viable et à quel point ?

- Potentiel du 2 couleurs : Gains très importants
→ Motive l'étude approfondie de solutions coordonnées
- Solution d'allocation coordonnée : **Coord. ModCod**
→ Bon compromis entre **performances** ($\approx 80\%$ opt.) et **complexité**
- Coordination avec 2 plus proches voisins
→ Perte de performances faible ($\approx 2\%$), meilleur passage à l'échelle

Perspectives

- Adaptation à un plan de fréquence non homogène
- Combinaison avec techniques d'atténuation d'interférence
 - Suppression successive d'interférences
- Revisiter notre approche pour d'autres types de systèmes satellitaires
 - Mégaconstellations
 - dynamique du système
 - Systèmes hybrides satellite-terrestre
 - gestion unifiée des ressources radio

Optimisation de la gestion des ressources sur la voie retour

Yoann COUBLE



Résumé

- Système satellite GEO multifaisceau pour l'accès à Internet
- Étude de plusieurs aspects :
 - Bornes supérieures (avec/sans équité)
 - Nature de la coordination
 - Portée de la coordination
- Densification réutilisation des fréquences
 - ⇒ Gestion des interférences
- Allocation des ressources (temps/fréquence) centralisée

Conclusions

- Schéma 2 couleurs viable et efficace ssi.
Coordination forte
- Coordination ModCod performante (80% opt.)
- Coordination avec plus proches voisins suffisante
+ réduction complexité

Perspectives

- Généralisation à un plan non-homogène
- Combinaison avec techniques d'atténuation d'interférences
- Revisite pour RRM Mégaconstellations et Systèmes hybrides

Publications

- *"Interference-aware frame optimization for the return link of a multi-beam satellite"*
Y. Couble, E. Chaput, T. Deleu, C. Baudoin, J.-B. Dupé, C. Bès et A.-L. Beylot, IEEE ICC, Paris, 2017
- *"Two-Color Scheme For A Multi-Beam Satellite Return Link : Impact of Interference Coordination"*
Y. Couble, C. Rosenberg, E. Chaput, J.-B. Dupé, C. Baudoin et A.-L. Beylot, IEEE JSAC "Advances on Satellite Communications", 2018
- *"Procédé d'allocation de fréquences dans un système de radiocommunication satellitaire multifaisceaux, et système associé"*
C. Baudoin, Y. Couble, T. Deleu, J.-B. Dupé et E. Chaput, BREVET, 2018