

RECHERCHE

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE LYON

Étude de compromis Capacité-consommation énergétique dans les réseaux maillés sans fil de type LTE-Advanced

Anis Ouni, Hervé Rivano et Fabrice Valois

anis.ouni@insa-lyon.fr

Journées Semba

19 Octobre 2010

Plan

Contexte de l'étude

- . Présentation des réseaux radio maillées
- . Problématiques
- . Travaux existants
- . Motivation

Méthodologie

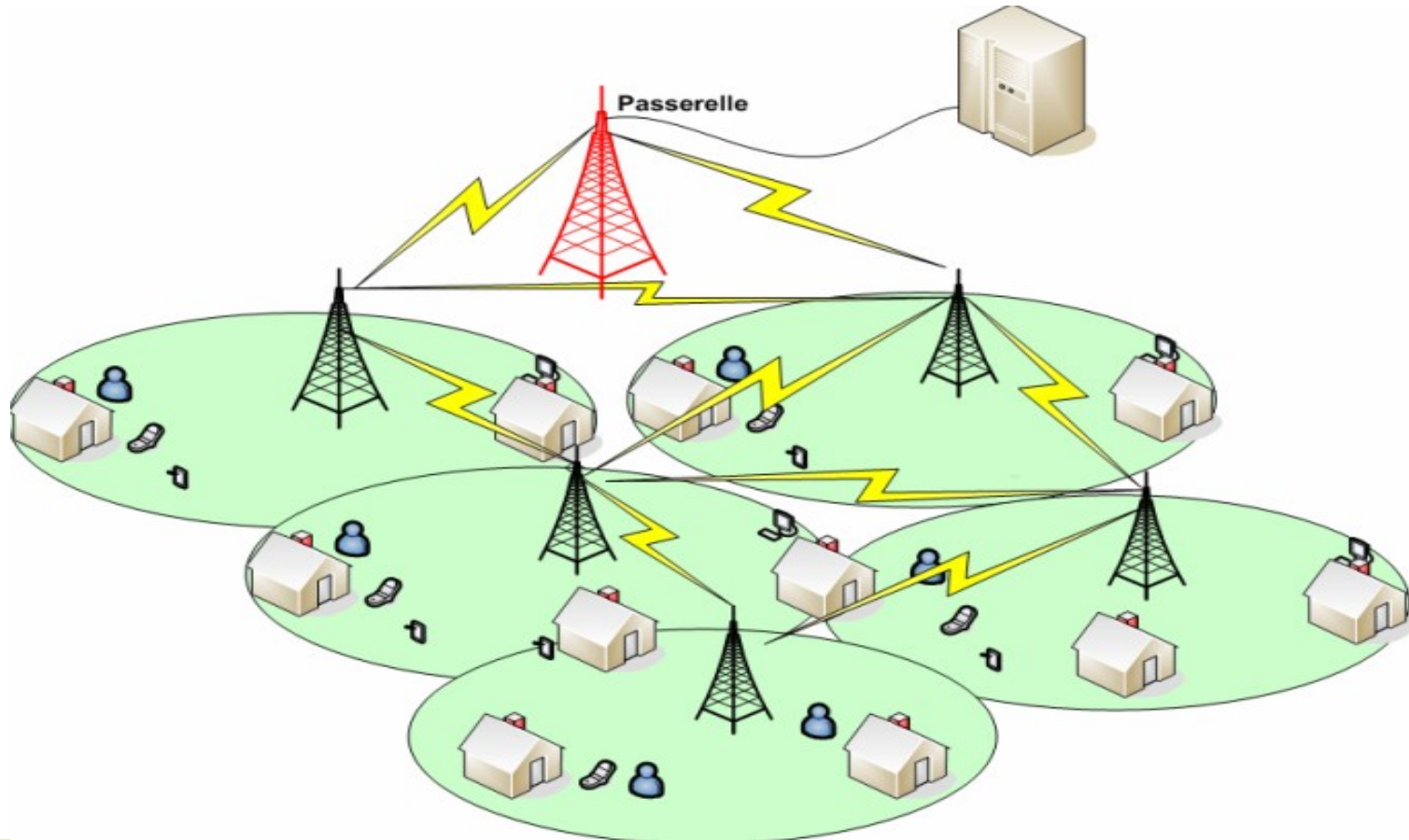
- . Modélisation
- . Formulation

Étude de performances

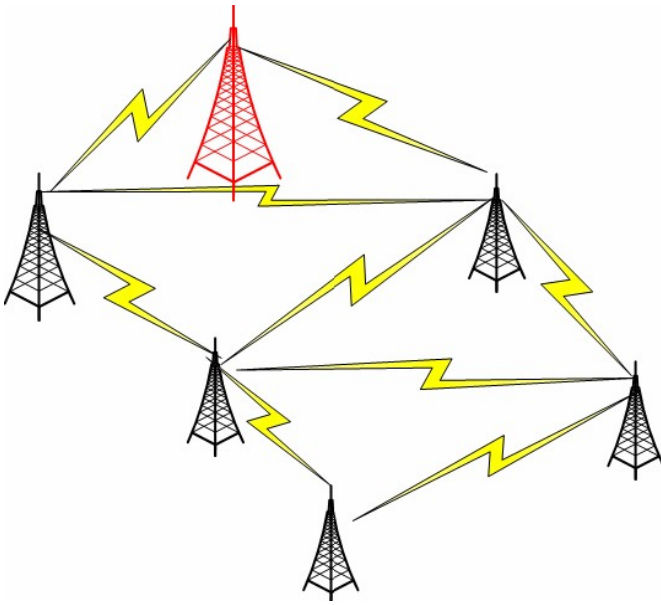
Conclusions

Contexte

Technologie LTE, bloc temps/fréquence, deux communication disjoints, étude du backbone



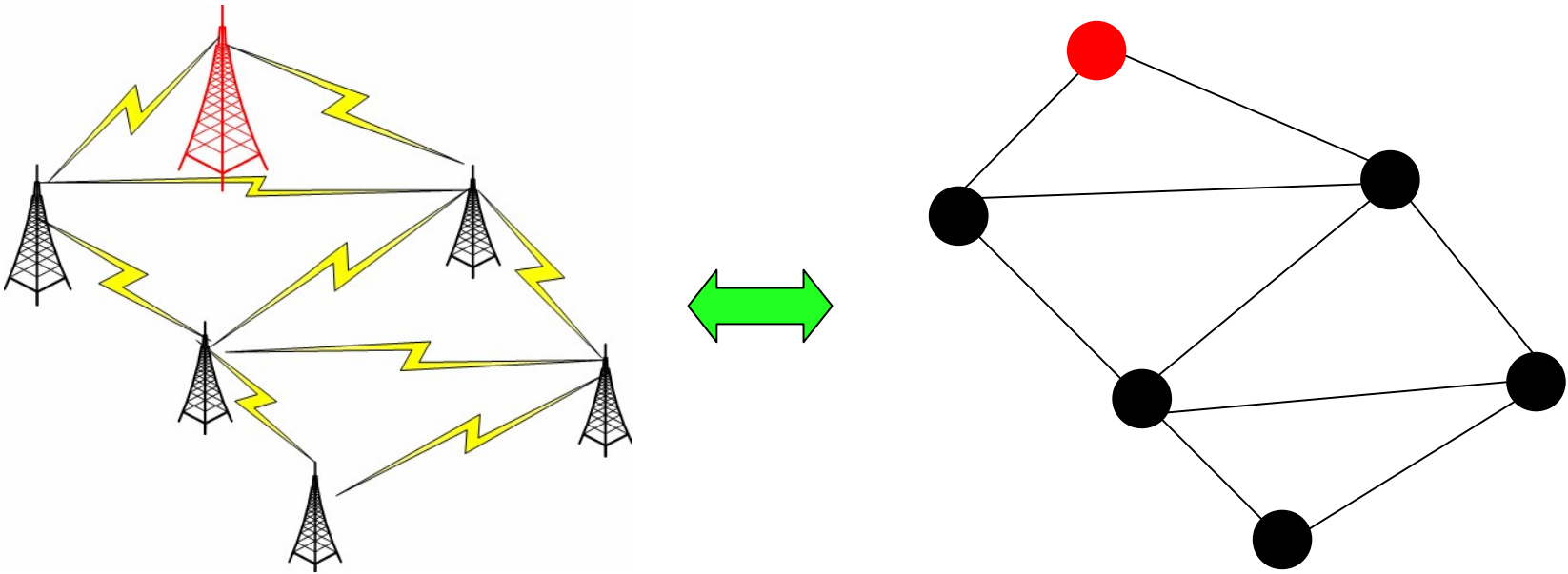
Problématiques



1. Augmenter la capacité → écouler plus de trafic dans le backbone
2. Minimiser la consommation d'énergie → coût global d'électricité, pollution électromagnétique, etc.

Augmenter la capacité consommer de l'énergie !!!!

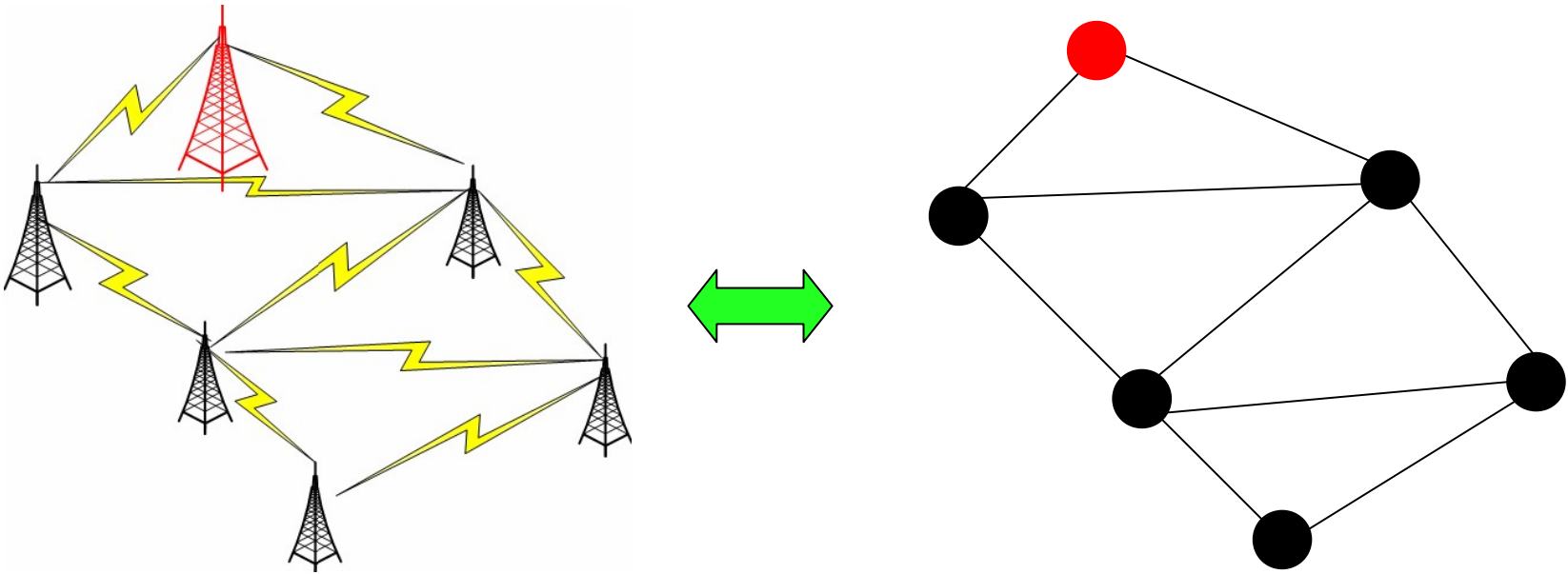
Problématiques



1. Augmenter la capacité → écouler plus de trafic dans le backbone
2. Minimiser la consommation d'énergie → coût global d'électricité, pollution électromagnétique, etc.

Augmenter la capacité consommer de l'énergie !!!!

Problématiques



1. Augmenter la capacité → écouler plus de trafic dans le backbone
2. Minimiser la consommation d'énergie → coût global d'électricité, pollution électromagnétique, etc.

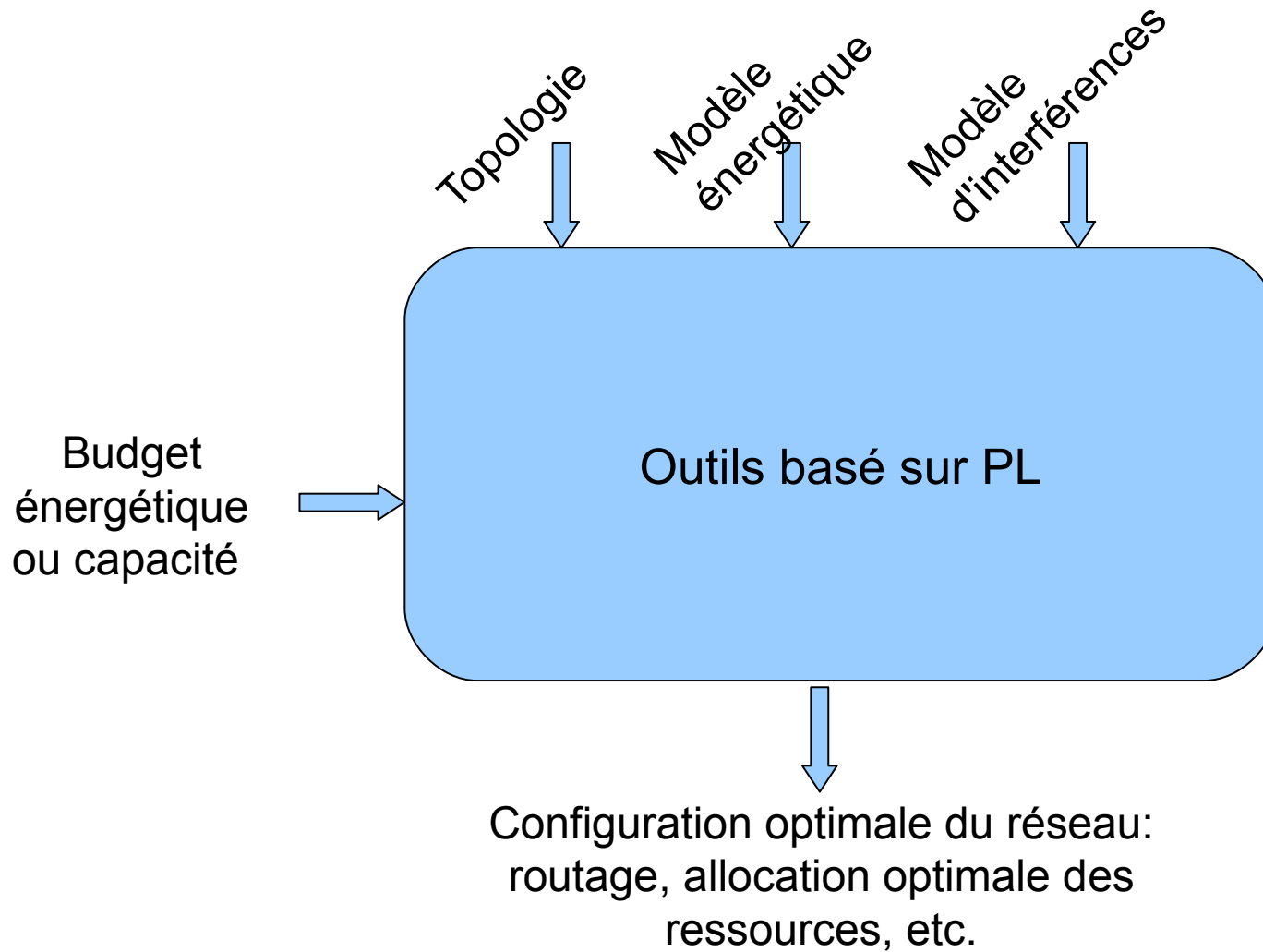
Augmenter la capacité consommer de l'énergie !!!!

➡ Etude de compromis entre capacité et consommation énergétique

Travaux existants

- Etude de la capacité dans les réseaux sans fil: ad-hoc, maillée, capteurs
 - Réutilisation spatiale
 - Ordonnancement + routage
 - Contrôle de puissance
- Minimiser la consommation d'énergie: réseau de capteur
 - Endormissement de capteurs
 - Contrôle de puissance
 - Agrégation de donnée
 - ...
- Réutilisation spatiale + contrôle de puissance: débit par noeud, consommation globale

Motivations: optimisation multi-objectif



Plan

Contexte de l'étude

- . Présentation des réseaux radio maillées
- . Problématiques
- . Travaux existants
- . Motivation

Méthodologie

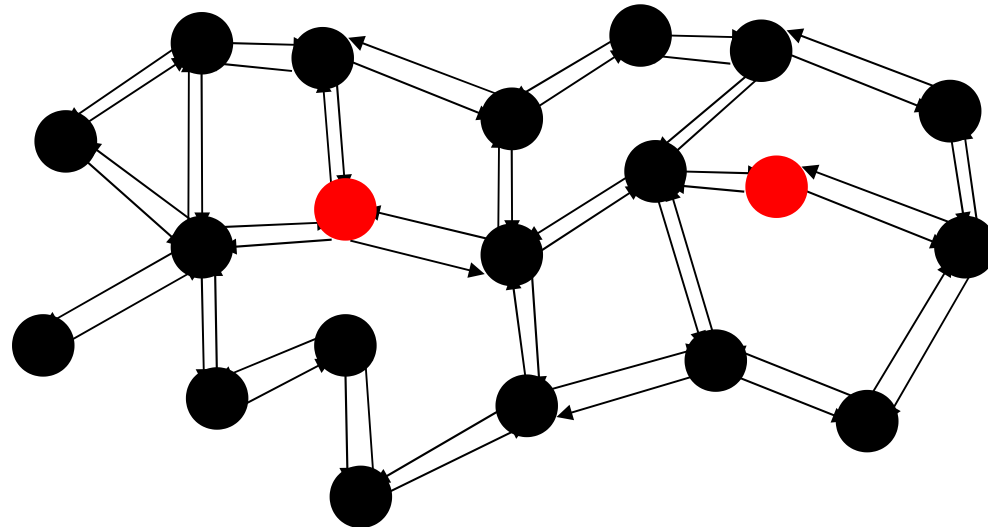
- . Modélisation
- . Formulation

Étude de performances

Conclusions

Modélisation

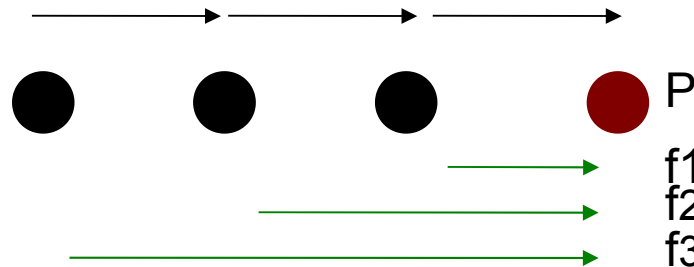
- Graphe orienté symétrique
 - V : ensemble de noeuds = $(V_g \cup V_n)$
 - E : ensemble de liens : caractérisé par une capacité, énergie
 - Demande/noeud,



Améliorer la capacité

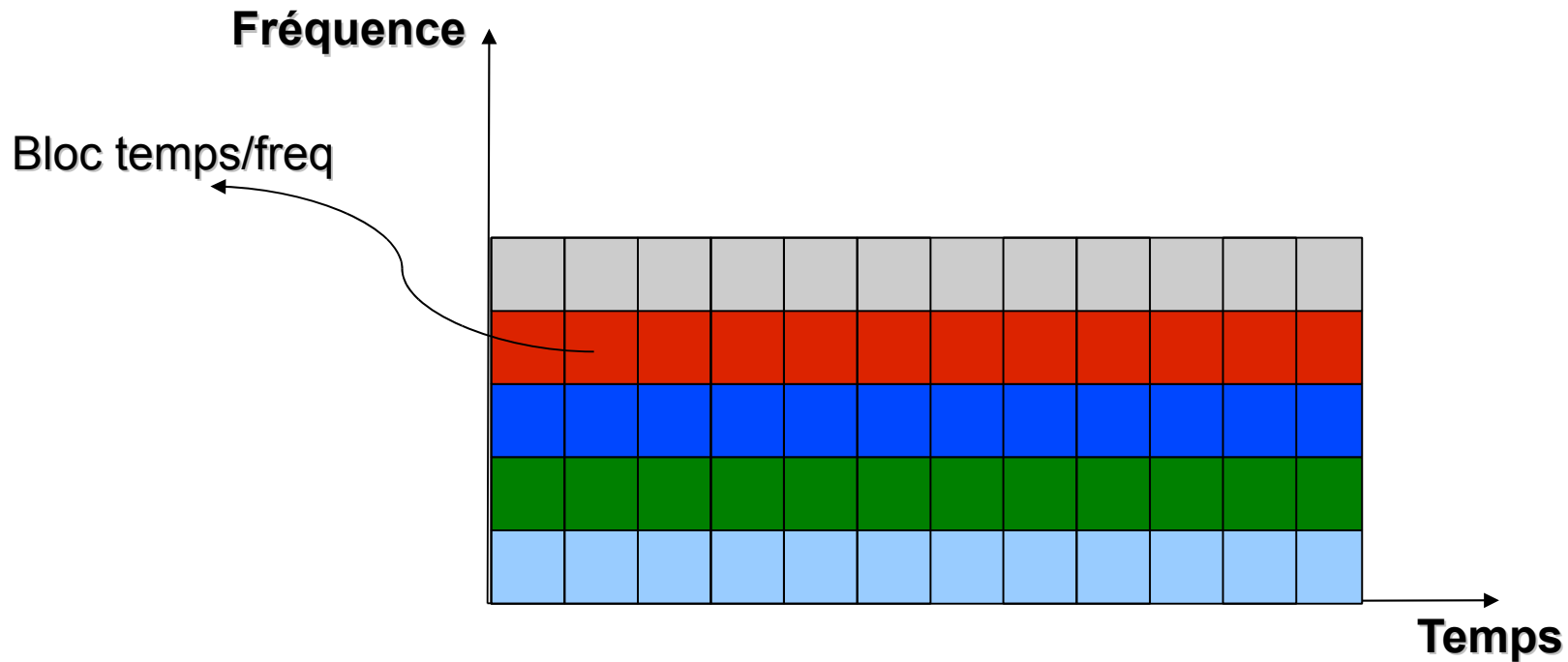
- . Réseau en régime permanent : système périodique
 - . Ecouler le trafic dans un minimum de temps
- Minimiser la période T → Maximiser la capacité:

$$\text{Capacité du réseau} = \frac{\sum \text{Trafic reçu par les passerelles}}{\text{Période } T}$$



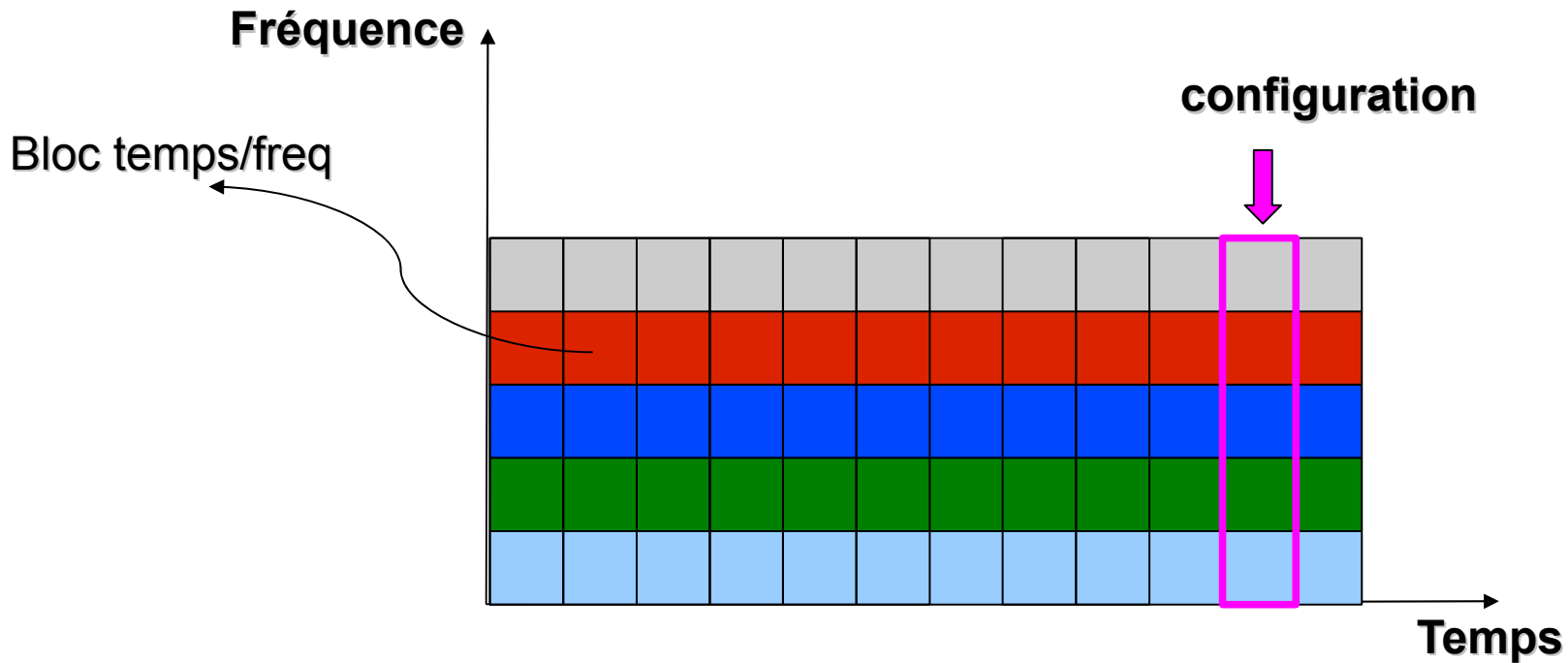
Allocation de ressources

- Une ressource = un bloc temps/fréquence
- Période de temps décomposée en intervalles de durée fixe
- 'K' fréquences non interférant



Allocation de ressources

- Une ressource = un bloc temps/fréquence
- Période de temps décomposée en intervalles de durée fixe
- 'K' fréquences non interférant



Configuration : Ensemble de liens activables simultanément.

Pondération sur les « configs »

- **Relaxation:**

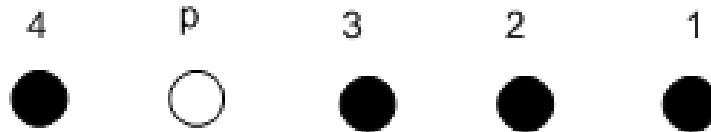
Nombre d'activation de chaque configuration F pour écouler toutes les demandes $d(r)$: $W : F \rightarrow \mathbb{R}$.

Pondération sur les « configs »

■ Définition:

Nombre d'activation de chaque config F pour écouler toutes les demandes $d(r) : W : F \rightarrow \mathbb{R}$.

Exemple: avec une seule fréquence

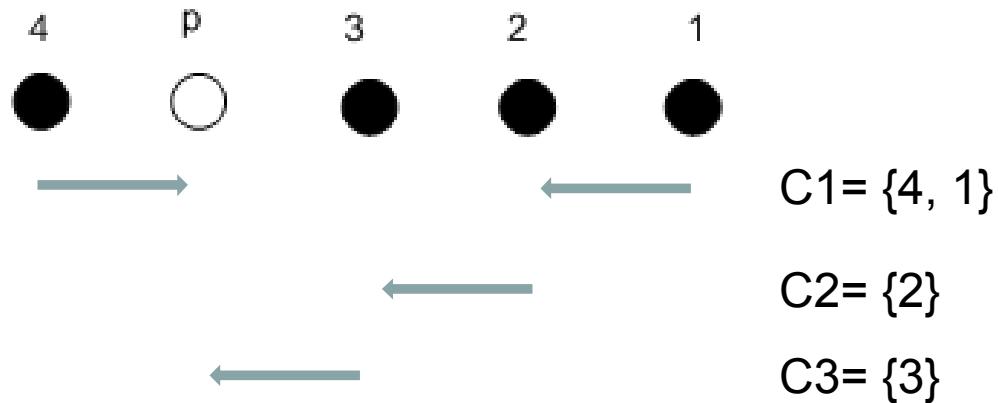


Pondération sur les « configs »

■ Définition:

Nombre d'activation de chaque config F pour écouler toutes les demandes $d(r) : W : F \dashrightarrow \mathbb{R}$.

Exemple: avec une seule fréquence

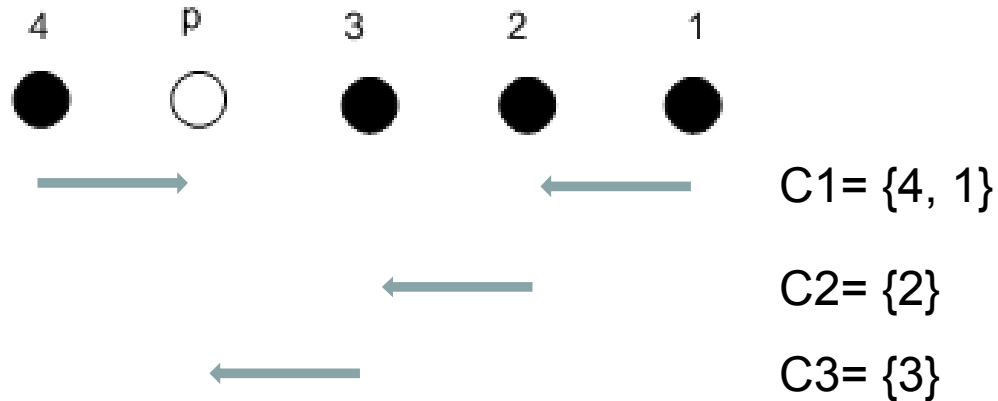


Pondération sur les « configs »

■ Définition:

Nombre d'activation de chaque config F pour écouler toutes les demandes $d(r) : W : F \dashrightarrow \mathbb{R}$.

Exemple: avec une seule fréquence



Poids des configs:

$$W(C1) = 1$$

$$W(C2) = 2$$

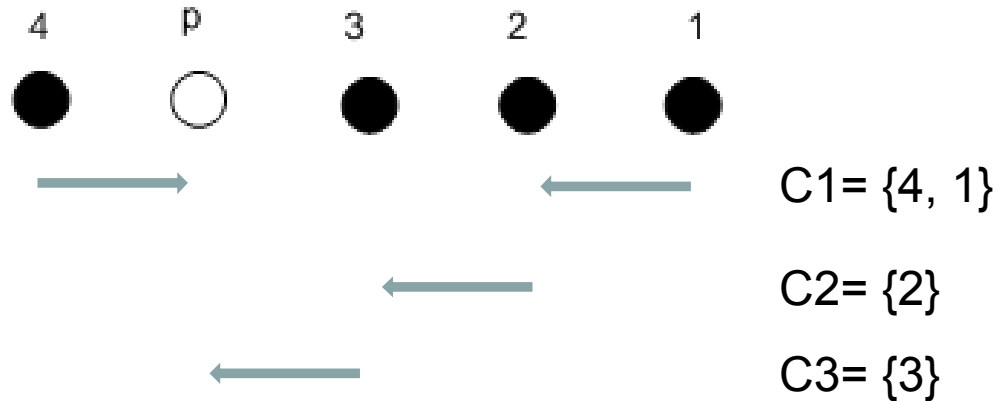
$$W(C3) = 3$$

Pondération sur les « configs »

■ Définition:

Nombre d'activation de chaque config F pour écouler toutes les demandes $d(r) : W : F \rightarrow \mathbb{R}$.

Exemple: avec une seule fréquence



Poids des configs:

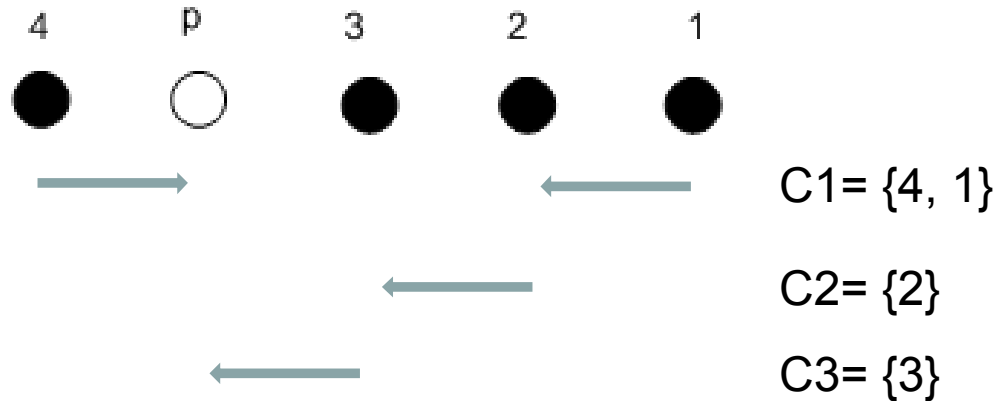
$W(C1) = 1$	➔	SLOT 1
$W(C2) = 2$		SLOT 2, SLOT 3
$W(C3) = 3$		SLOT 4, SLOT 5, SLOT 6

Pondération sur les « configs »

■ Définition:

Nombre d'activation de chaque config F pour écouler toutes les demandes $d(r) : W : F \rightarrow \mathbb{R}$.

Exemple: avec une seule fréquence



Poids des configs:

$$W(C1) = 1$$

$$W(C2) = 2$$

$$W(C3) = 3$$

SLOT 1

SLOT 2, SLOT 3

SLOT 4, SLOT 5, SLOT 6

$$C = d/T$$

$$C_{\text{flux}} = 1/6$$

$$C_{\text{réseau}} = 4/6$$

Définition du problème

Compromis Capacité/Energie

- Maximiser la capacité sous contrainte énergétique
- Minimiser l'énergie sous contrainte de capacité

Entrée :

- graphe de connectivité ($V_r \cup V_g, E$)
- trafic $d(r)$, $r \in V_r$
- capacité et énergie par lien
- ensemble des chemins et des configs possibles
- budget de capacité/énergie

Sortie

- Pondération des configs $W : F \rightarrow \mathbb{R}$
- Routage entre V_r et V_g satisfaisant la demande et minimisant la somme de $W(F)$

Formulation

$$\min \sum_F w(F)$$

$$\forall e \in E \quad \sum_{P \in \mathcal{P}, P \ni e} f(P) \leq \sum_{F \in \mathbf{F}, F \ni e} c_e(F) w(F)$$

$$\sum_F w(F) j(F) \leq J$$

$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}_r} f(P) = d(r)$$

Min somme d'activation = Max débit

contrainte de capacité

contrainte budgétaire en énergie

contraintes de satisfaction de la demande

Formulation

$$\min \sum_F w(F)$$

$$\forall e \in E \quad \sum_{P \in \mathcal{P}, P \ni e} f(P) \leq \sum_{F \in \mathbf{F}, F \ni e} c_e(F) w(F)$$

$$\sum_F w(F) j(F) \leq J$$

$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}_r} f(P) = d(r)$$

$$\min \sum_F w(F) j(F)$$

$$\forall e \in E \quad \sum_{P \in \mathcal{P}, P \ni e} f(P) \leq \sum_{F \in \mathbf{F}, F \ni e} c_e(F) w(F)$$

$$\sum_F w(F) \leq T$$

$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}_r} f(P) = d(r)$$

Formulation

$$\begin{array}{l} \min \sum_F w(F) \\ \forall e \in E \quad \sum_{P \in \mathcal{P}, P \ni e} f(P) \leq \sum_{F \in \mathbf{F}, F \ni e} c_e(F) w(F) \\ \sum_F w(F) j(F) \leq J \\ \forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}_r} f(P) = d(r) \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} \min \sum_F w(F) j(F) \\ \forall e \in E \quad \sum_{P \in \mathcal{P}, P \ni e} f(P) \leq \sum_{F \in \mathbf{F}, F \ni e} c_e(F) w(F) \\ \sum_F w(F) \leq T \\ \forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}_r} f(P) = d(r) \end{array}$$

Nombre de contraintes : # noeuds + # liens → OK

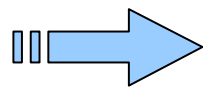
Nombre de variables : # chemins P + # config F → exponentiel

Formulation

$$\begin{array}{l} \min \sum_F w(F) \\ \forall e \in E \quad \sum_{P \in \mathcal{P}, P \ni e} f(P) \leq \sum_{F \in \mathbf{F}, F \ni e} c_e(F) w(F) \\ \sum_F w(F) j(F) \leq J \\ \forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}_r} f(P) = d(r) \end{array} \quad \left| \right. \quad \begin{array}{l} \min \sum_F w(F) j(F) \\ \forall e \in E \quad \sum_{P \in \mathcal{P}, P \ni e} f(P) \leq \sum_{F \in \mathbf{F}, F \ni e} c_e(F) w(F) \\ \sum_F w(F) \leq T \\ \forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}_r} f(P) = d(r) \end{array}$$

Nombre de contraintes : # noeuds + # liens → OK

Nombre de variables : # chemins P + # config F → exponentiel



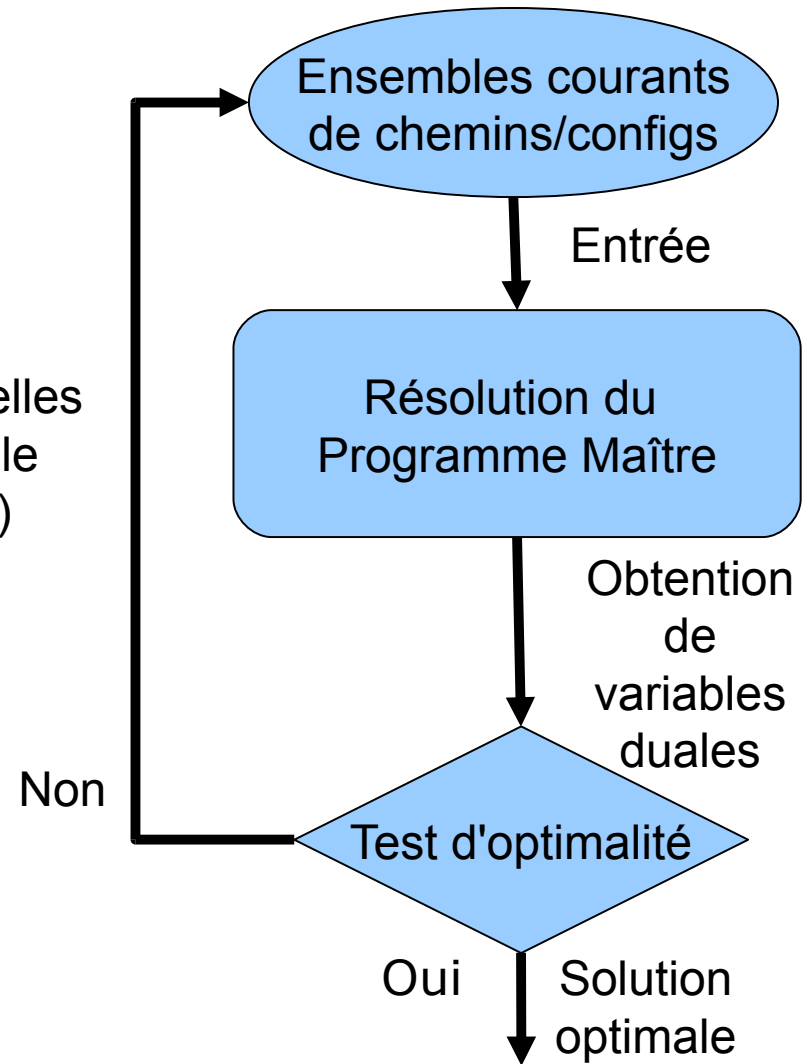
La génération de colonnes

Génération de colonnes

Ensemble initial de variables :

- Chemins : plus court chemins
- Configs : singletons $\{e\}$, $\forall e \in E$

Ajout d'une nouvelles
colonne (variable
chemin/config)



Plan

Contexte de l'étude

- . Présentation des réseaux radio maillées
- . Problématiques
- . Travaux existants
- . Motivation

Méthodologie

- . Modélisation
- . Formulation

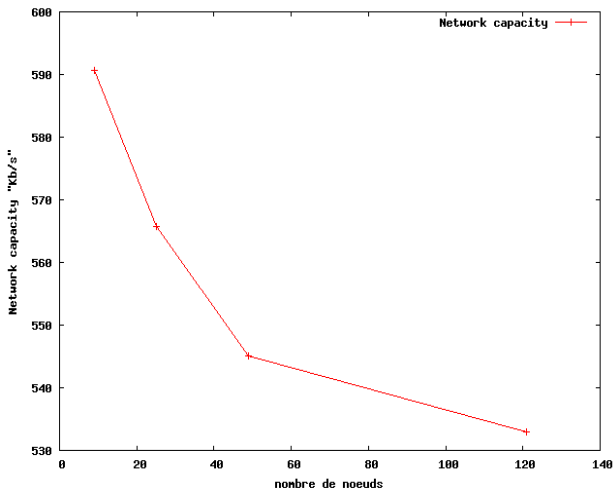
Étude de performances

Conclusions

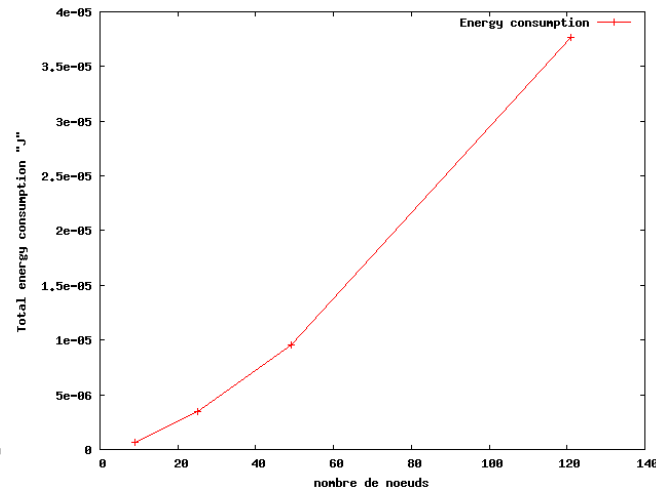
Scénarii étudiés

- Modèle UDG
- Puissance fixe
- Modèle d'interférences a deux sauts
- Topologie en grille/aléatoire
- Modèle énergétique: consommation à la réception + émission + en veille
- Bloc temps/fréquence : 1ms/180khz
- Modulation 4QAM
- SNR 22db
- $N(\text{bruit}) = -174\text{dbm/Hz}$

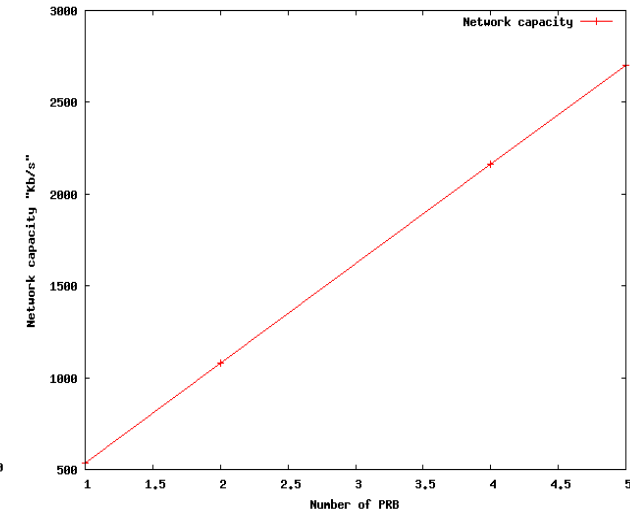
Divers résultats



Capacité vs taille du réseau

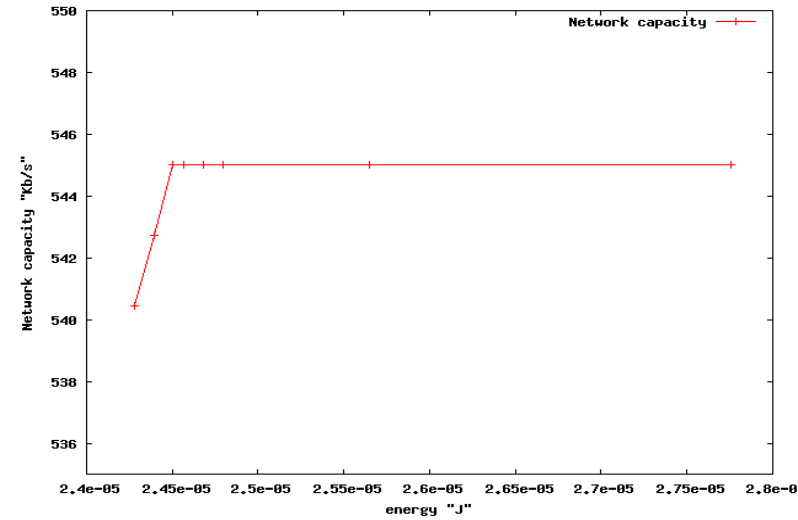
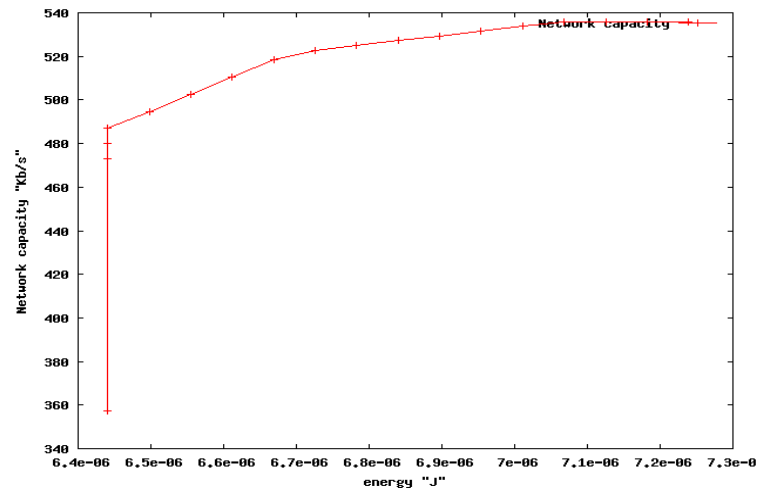


Consommation vs taille du réseau

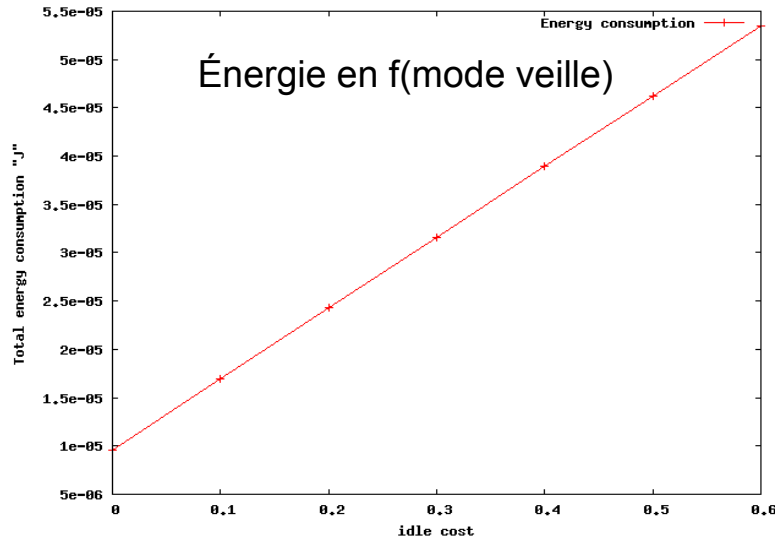


Capacité vs Nombre des fréquences

Compromis capacité-énergie



Réseau aléatoire de 49 noeuds, pas de consommation en mode veille



Avec consommation en mode veille

Conclusion

Développement et implémentation d'un modèle en programmation linéaire:

- Compromis capacité/énergie
- Allocation optimale de ressources

Cas de modèle d'interférences simple

- Utiliser un modèle d'interférences SINR avec contrôle de puissance
- Intégration du délai dans la formulation
- Voir des scénarii : demande/trafic variable, topologie, ...

RECHERCHE ↴

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE LYON

Merci pour votre attention ...

anis.ouni@insa-lyon.fr



Intégration de la consommation énergétique de mode en veille

$$\max \sum_{e \in E} \sum_k (c_e^k \lambda_e) - \sigma \sum_u P_u$$

$$P_u \geq \sum_k P_u^k$$

$$P_u^k = \sum_v z(u, v, k) j(u, v, k)$$

$$P_u \geq P_{idle}$$

$$\forall e \in E, e' \in I_e, k \in [1, K] \quad z(e, k) + z(e', k) \leq 1$$

$$z(e, k) \in \{0, 1\}, \forall e \in E$$