RECHERCHE

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE LYON

Optimisation multi-objectif des réseaux maillés sans fil OFDMA

Anis Ouni, Hervé Rivano et Fabrice Valois

Herve.Rivano@inria.fr - Équipe UrbaNet

www.citi-lab.fr/urbanet

20 janvier 2012

membre de UNIVERSITÉ DE LYON

INRIA

CITI

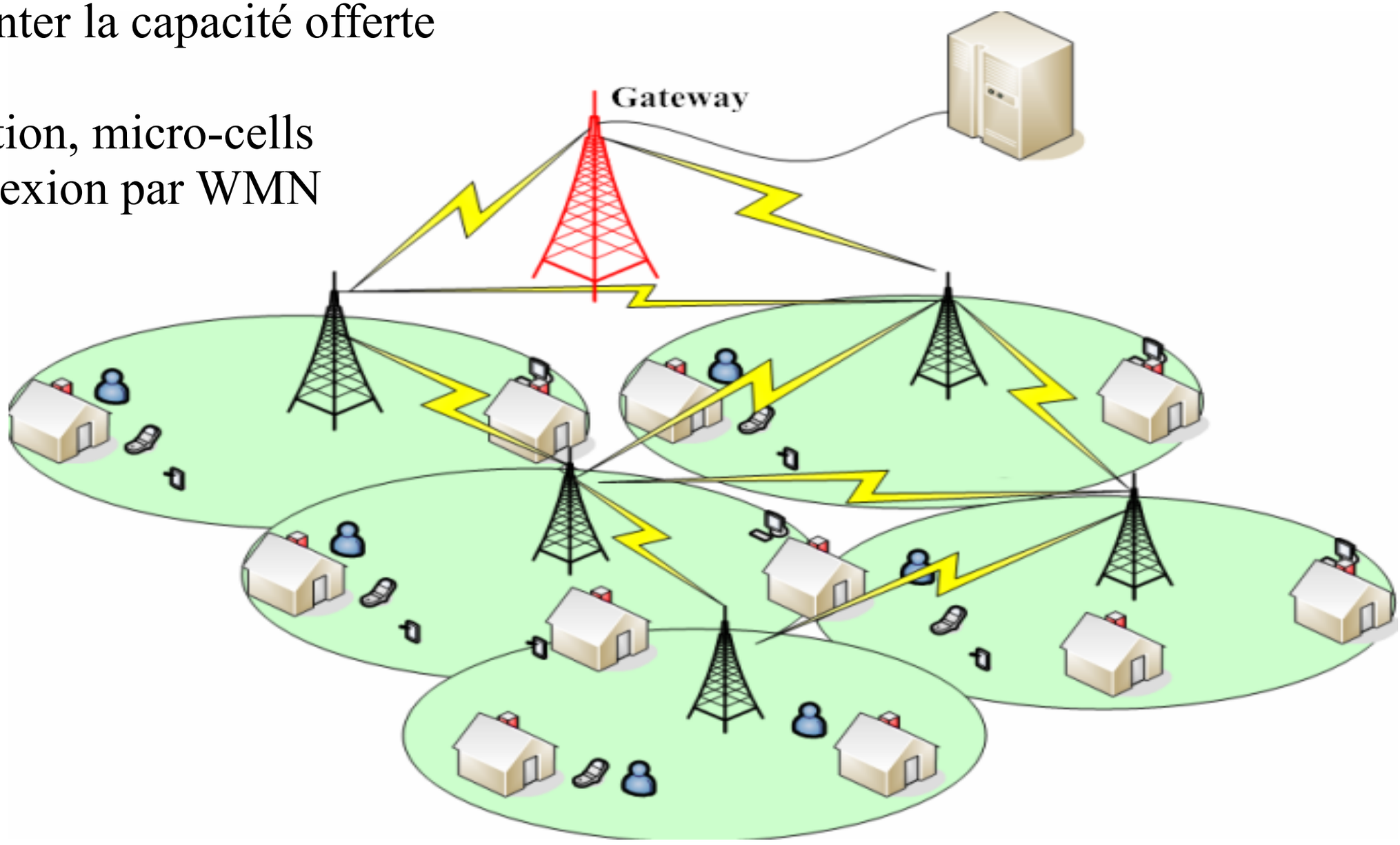
INSA LYON

Introduction & Architecture

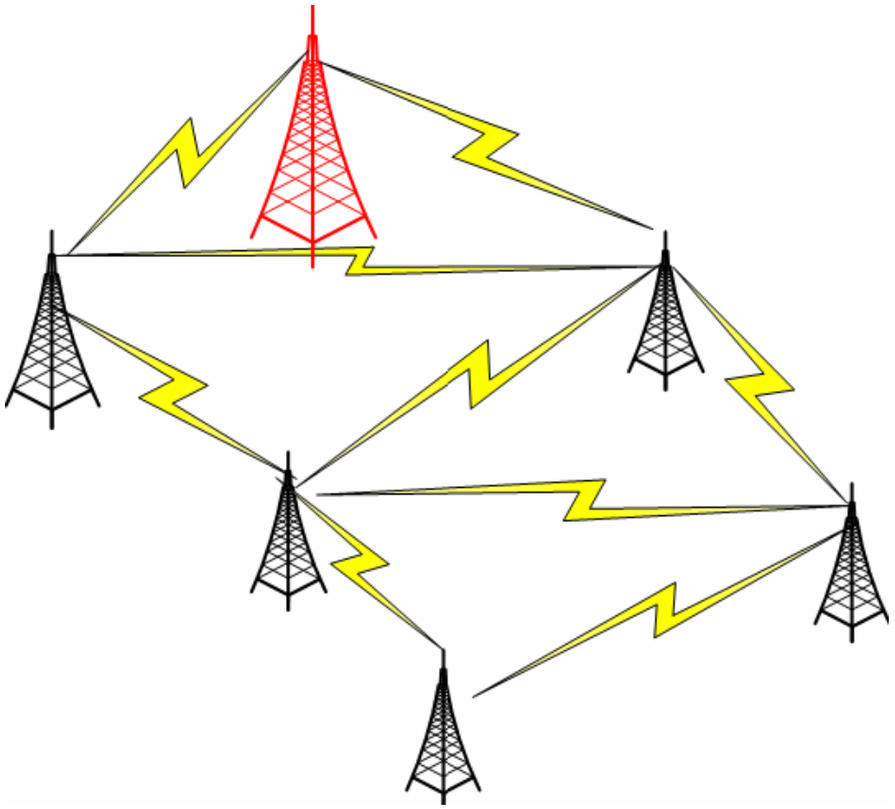
Enjeux sociétaux et environnementaux :

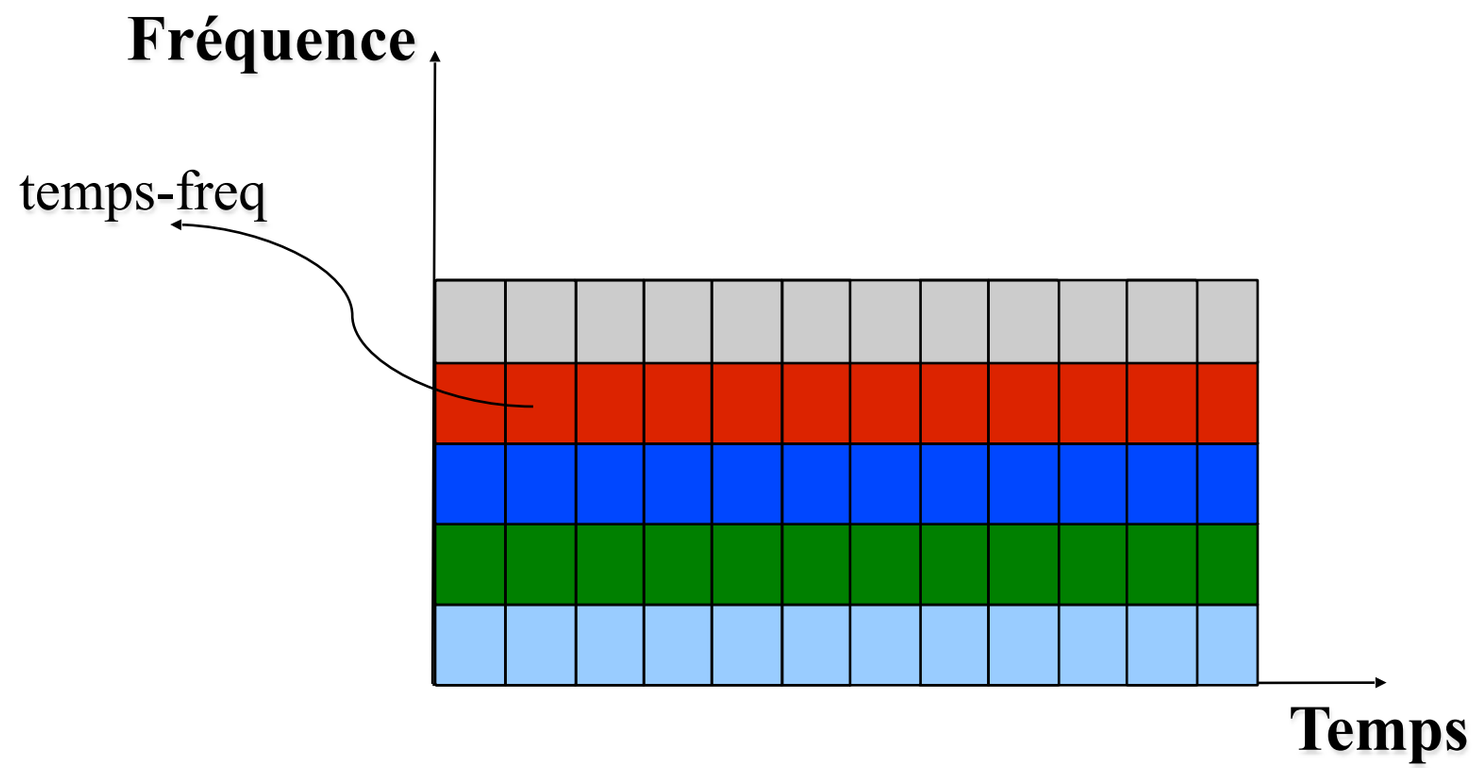
- diminuer consommation énergétique et niveaux de puissance
- augmenter la capacité offerte

=> densification, micro-cells
=> interconnexion par WMN



Problématique





Demande agrégée dans les micro-cellules
Ressource temps-fréquence type OFDMA (4G LTE, etc.)

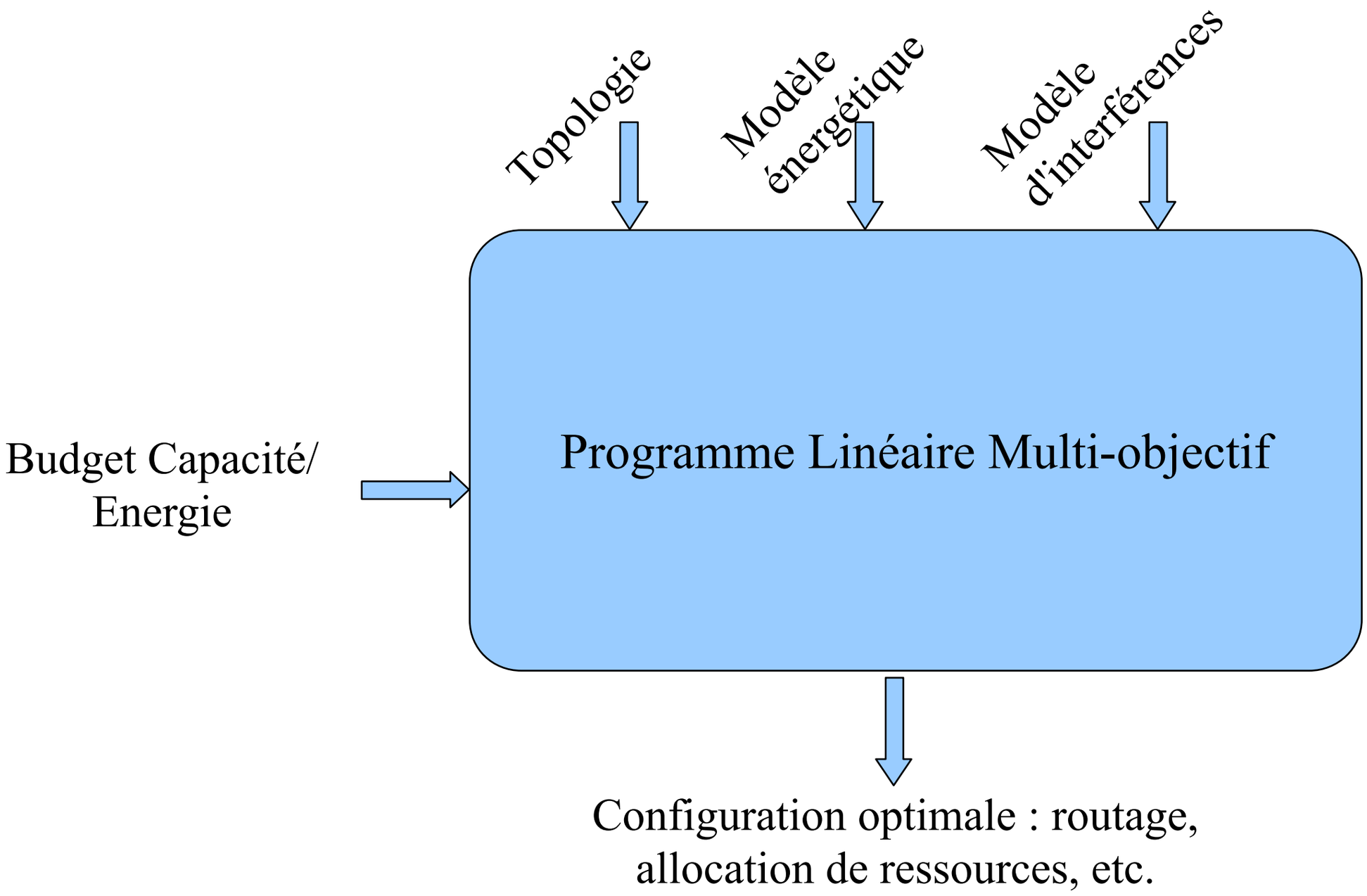
Etude du compromis entre capacité et consommation énergétique

Deux problèmes étudiés séparément

- Capacité des réseaux radio : Ad-hoc, Maillés, Capteurs
  - Réutilisation spatiale
  - Ordonnancement + routage
  - Contrôle de puissance

- Minimisation de la consommation énergétique: réseau de capteurs
  - Endormissement
  - Contrôle de puissance
  - Agrégation de données
  - Consommation de chaque nœud, pas du système global

Optimisation multi-objectif



Programme multi-objectif

Compromis capacité-énergie

- Maximiser la capacité sous une contrainte énergétique
- Minimiser la consommation énergétique sous une contrainte de capacité

Entrée :

- Graphe de connexion (Vr U Vg, E)
- Demande de trafic d(r), $r \in Vr$
- Système périodique => capacité = D/T

Sortie :

- P : routes entre Vr et Vg
- F : configurations, ensemble de transmissions activées simultanément
- ω : temps d'activation de chaque configuration
- $T=\sum \omega(F)$

Formulation

$$\min \sum_{F} w(F)$$

Capacité = ∑d(r)/∑W(F)

$$\forall e \in E \quad \sum_{P \in \mathcal{P}_{DL}, P \ni e} f_{DL}(P) + \sum_{P \in \mathcal{P}_{UL}, P \ni e} f_{UL}(P) \leq \sum_{F \in \mathbf{F}, F \ni e} c_e(F) w(F)$$

Capacité selon les activations

$$\sum_{F} w(F) j(F) \leq J$$

Budget énergétique

$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}^r_{DL}} f_{DL}(P) = d_{DL}(r)$$

$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}^r_{UL}} f_{UL}(P) = d_{UL}(r)$$

Demande à servir

Formulation

$$\min \sum_{F} w(F)$$

$$\forall e \in E \quad \sum_{P \in \mathcal{P}_{\mathcal{D}L}, P \ni e} f_{DL}(P) + \sum_{P \in \mathcal{P}_{\mathcal{U}L}, P \ni e} f_{UL}(P) \leq \sum_{F \in \mathbf{F}, F \ni e} c_e(F) w(F)$$

$$\sum_{F} w(F) j(F) \leq J$$

$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}^r_{DL}} f_{DL}(P) = d_{DL}(r)$$

$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}^r_{UL}} f_{UL}(P) = d_{UL}(r)$$

$$\min \sum_{F} w(F) j(F)$$

$$\forall e \in E \quad \sum_{P \in \mathcal{P}_{\mathcal{D}L}, P \ni e} f_{DL}(P) + \sum_{P \in \mathcal{P}_{\mathcal{U}L}, P \ni e} f_{UL}(P) \leq \sum_{F \in \mathbf{F}, F \ni e} c_e(F) w(F)$$

$$\sum_{F} w(F) \leq T$$

$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}^r_{DL}} f_{DL}(P) = d_{DL}(r)$$

$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}^r_{UL}} f_{UL}(P) = d_{UL}(r)$$

Formulation

$$\min \sum_{F} w(F)$$

$$\forall e \in E \quad \sum_{P \in \mathcal{P}_{\mathcal{D}L}, P \ni e} f_{DL}(P) + \sum_{P \in \mathcal{P}_{\mathcal{U}L}, P \ni e} f_{UL}(P) \leq \sum_{F \in \mathbf{F}, F \ni e} c_e(F) w(F)$$

$$\sum_{F} w(F) j(F) \leq J$$

$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}^r_{DL}} f_{DL}(P) = d_{DL}(r)$$

$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}^r_{UL}} f_{UL}(P) = d_{UL}(r)$$

$$\min \sum_{F} w(F) j(F)$$

$$\forall e \in E \quad \sum_{P \in \mathcal{P}_{\mathcal{D}L}, P \ni e} f_{DL}(P) + \sum_{P \in \mathcal{P}_{\mathcal{U}L}, P \ni e} f_{UL}(P) \leq \sum_{F \in \mathbf{F}, F \ni e} c_e(F) w(F)$$

$$\sum_{F} w(F) \leq T$$

$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}^r_{DL}} f_{DL}(P) = d_{DL}(r)$$

$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}^r_{UL}} f_{UL}(P) = d_{UL}(r)$$

Nombre de contraintes: # noeuds + # liens → OK

Nombre de Variables: # routes P + # Config F → oups

Formulation

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

$$\forall e \in E \quad \sum_{P \in \mathcal{P}_{DL}, P \ni e} f_{DL}(P) + \sum_{P \in \mathcal{P}_{UL}, P \ni e} f_{UL}(P) \leq \sum_{F \in \mathbf{F}, F \ni e} c_e(F) w(F)$$

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

$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}^r_{DL}} f_{DL}(P) = d_{DL}(r)$$

$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}^r_{UL}} f_{UL}(P) = d_{UL}(r)$$

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

$$\forall e \in E \quad \sum_{P \in \mathcal{P}_{DL}, P \ni e} f_{DL}(P) + \sum_{P \in \mathcal{P}_{UL}, P \ni e} f_{UL}(P) \leq \sum_{F \in \mathbf{F}, F \ni e} c_e(F) w(F)$$

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

$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}^r_{DL}} f_{DL}(P) = d_{DL}(r)$$

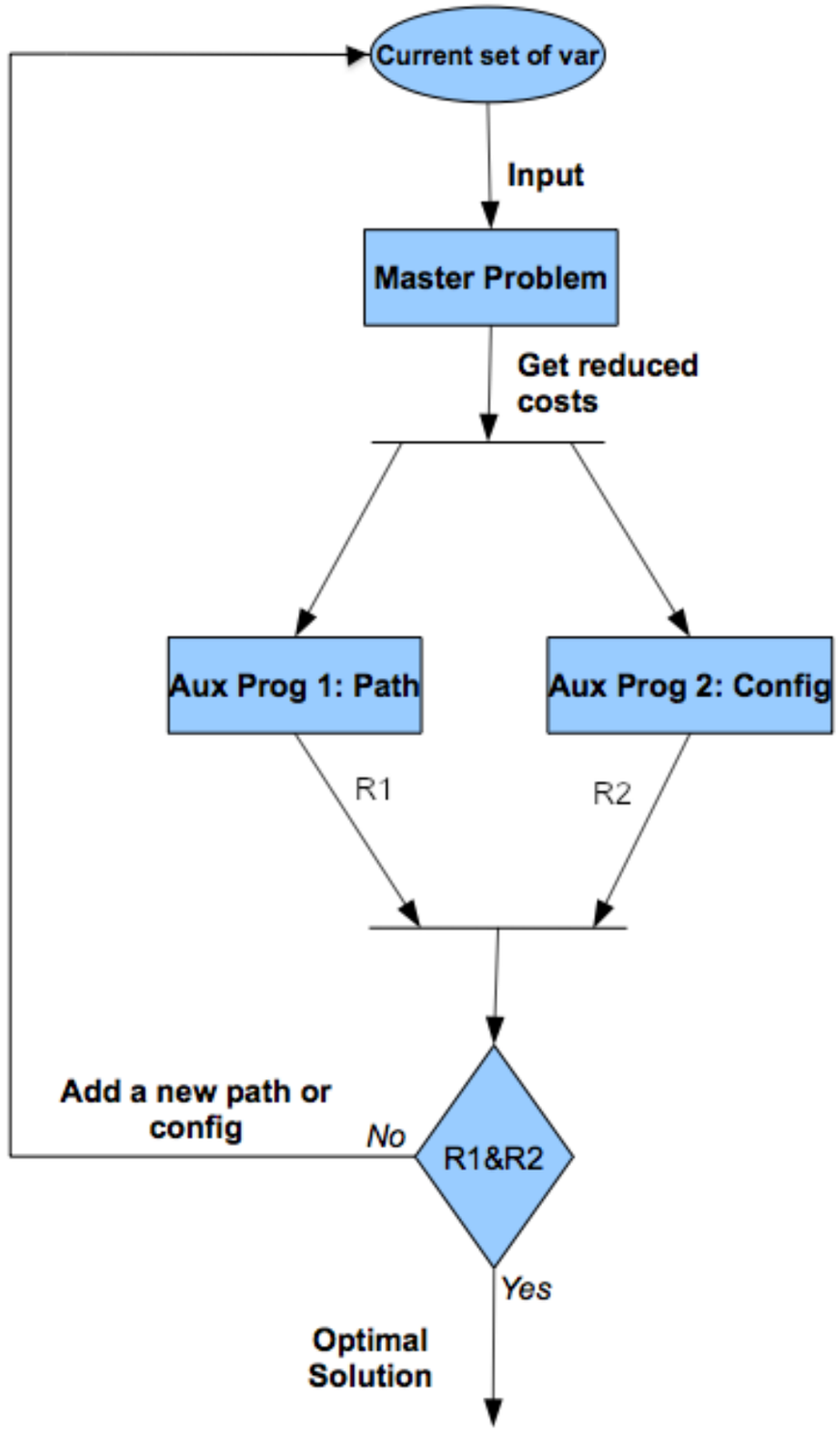
$$\forall r \in V_r \quad \sum_{P \in \mathcal{P}^r_{UL}} f_{UL}(P) = d_{UL}(r)$$

Nombre de contraintes: # noeuds + # liens → OK

Nombre de Variables: # routes P + # Config F → oups

⇒ Génération de colonnes

Génération de colonnes



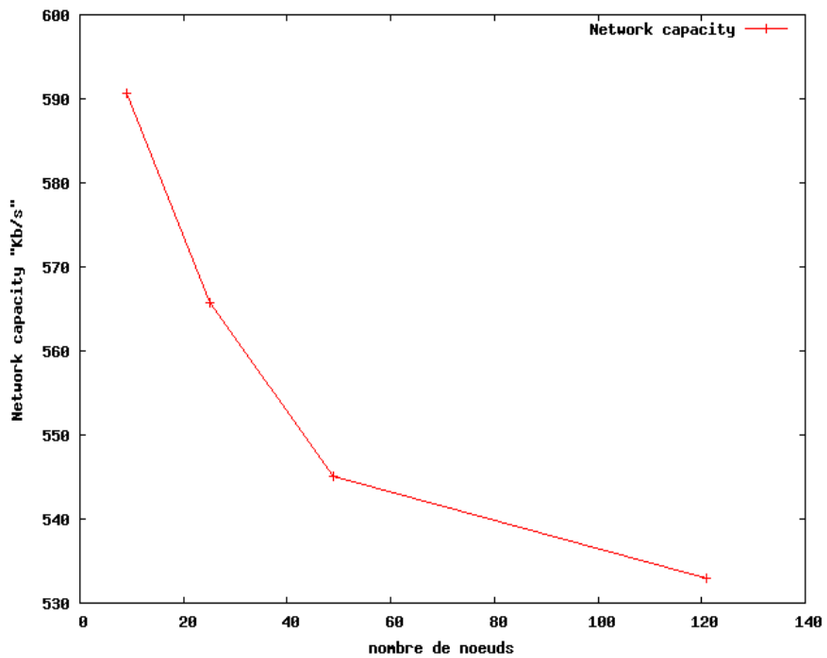
Résultats sur un modèle simple (iste)

- **modèle UDG**
- Puissance fixe
- **modèle d'interférences binaire**
- **topologie**: grille et aléatoire
- **modèle énergétique:** TX, RX, Idle

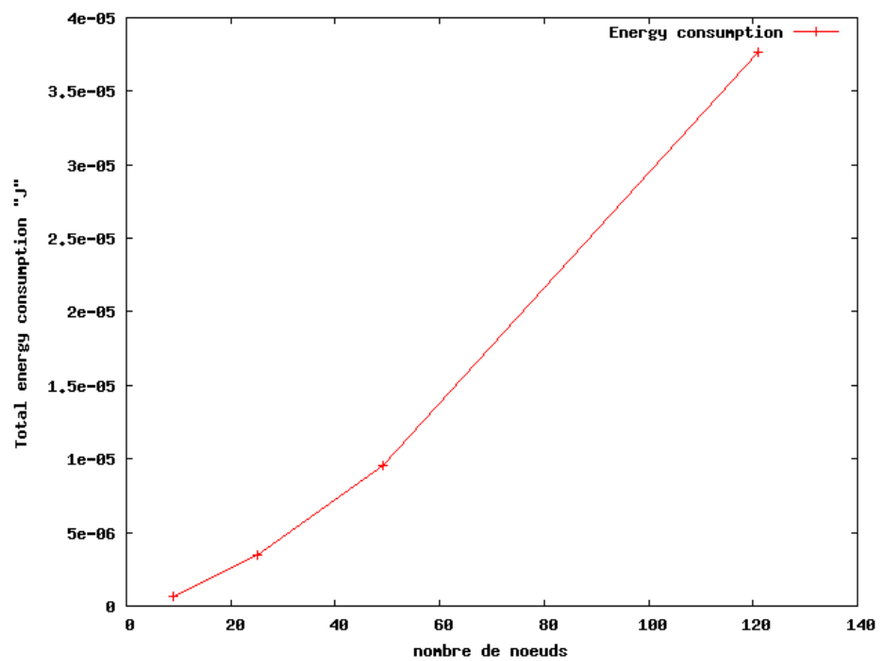
- Bloc temps-fréquence: 1ms/180khz
- Modulation: 4QAM
- SNR 22db
- N(bruit) = -174dBm/Hz

Génération de configuration = max weighted independent set par fréq.

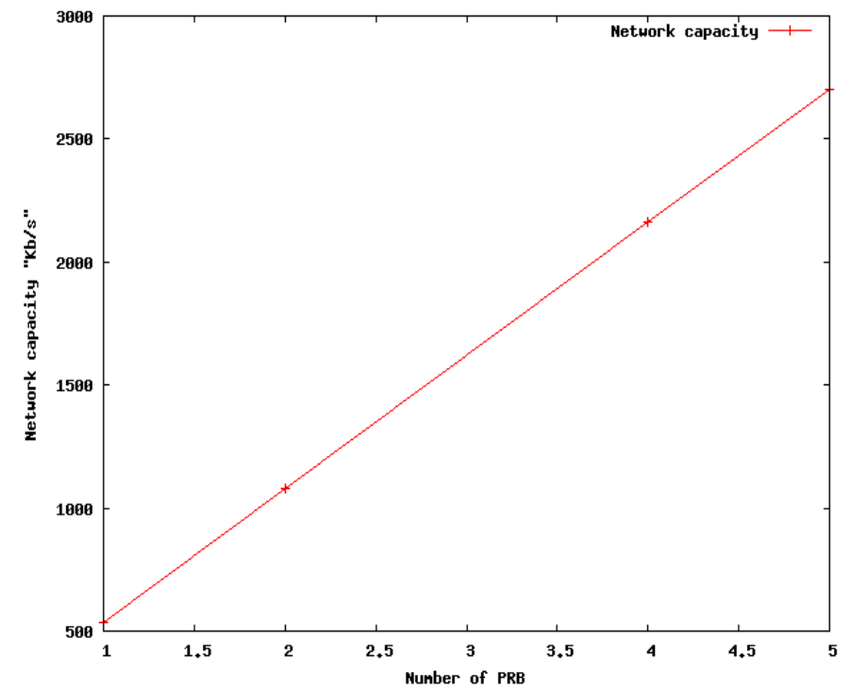
Quelques résultats



Capacity Vs network size

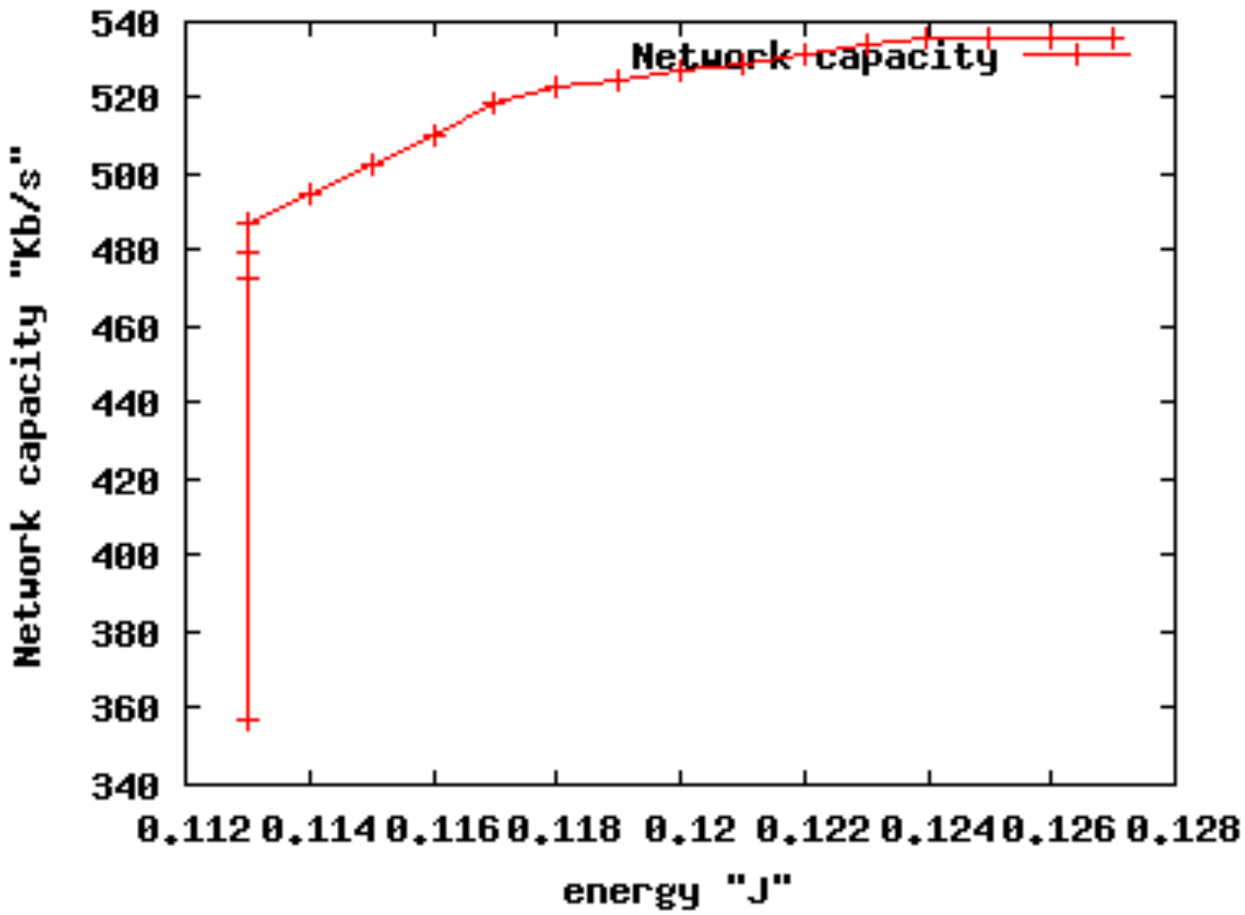


Energy consumption Vs network size

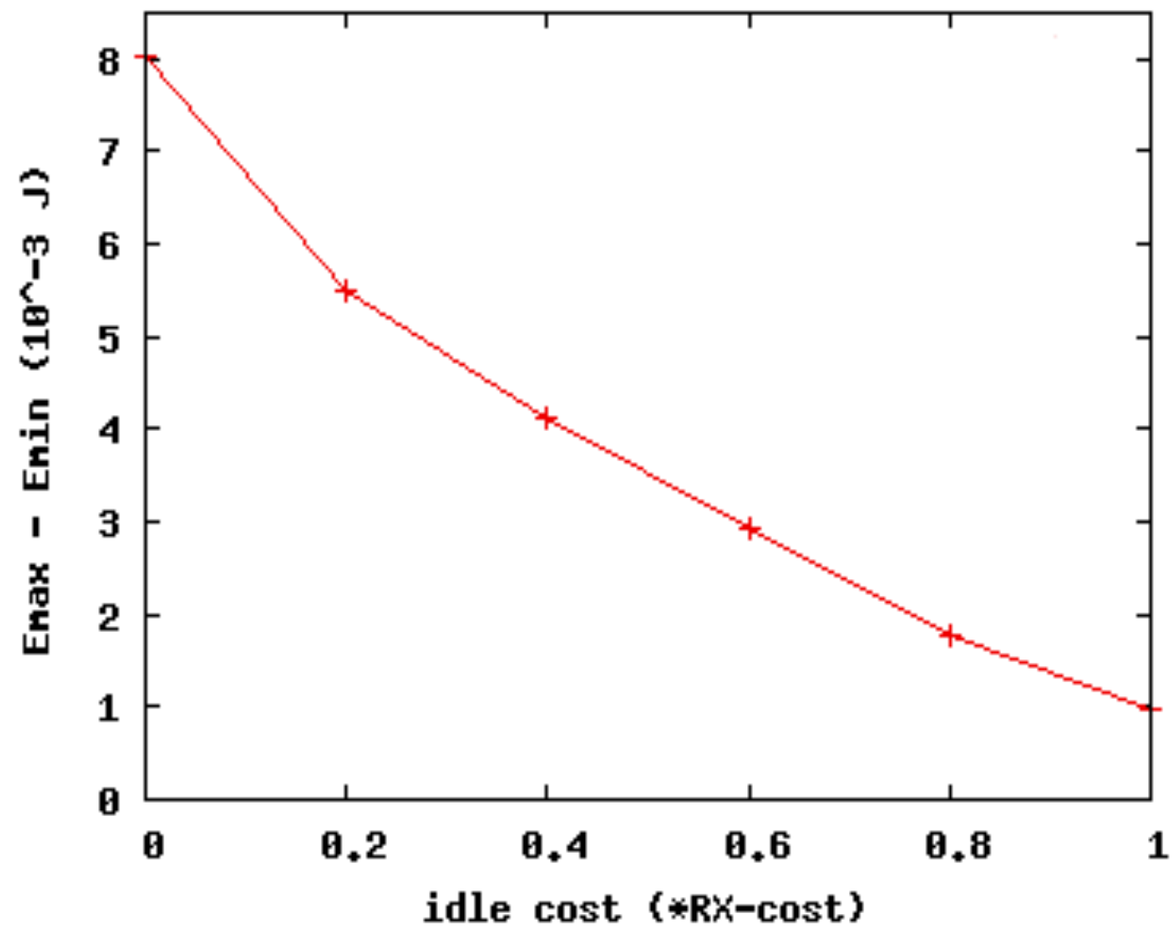


Capacity Vs frequency number

Compromis capacité-énergie



Random topology, 49 nodes,
Capacity and energy tradeoff,
assuming Idle_cost = 0



Capacity and energy
tradeoff Vs Idle_cost

Plus la consommation idle est forte, moins le compromis est significatif

Scénarii et paramètres

- **Modèle d'interférences** : SINR
- Contrôle de puissance
- **Modèle d'énergie :** TX, RX et mode en veille
- **Demande de Trafic** : Uniforme, aléatoire

Résultats numérique : paramètres LTE

- Bloc temps-fréquence : 1ms/ 180khz
- N(bruit) = -174dBm/Hz

MCS	Modulation	CR	β	Débit	Efficacité
MCS1	QPSK	1/2	1.259	164 Kb/s	0.933 b/s/Hz
MCS2	16QAM	1/2	10	328.12 Kb/s	1.866 b/s/Hz
MCS3	16QAM	3/5	13.80	393.75 Kb/s	2.24 b/s/Hz
MCS4	64QAM	1/2	15.13	492.18 Kb/s	2.8 b/s/Hz
MCS5	64QAM	3/5	23.98	590.625 Kb/s	3.36 b/s/Hz

Génération de configurations

$$\max \sum_{e \in E} \sum_{k} (c_e^k \lambda_e) - \sigma \sum_{u} J_u$$

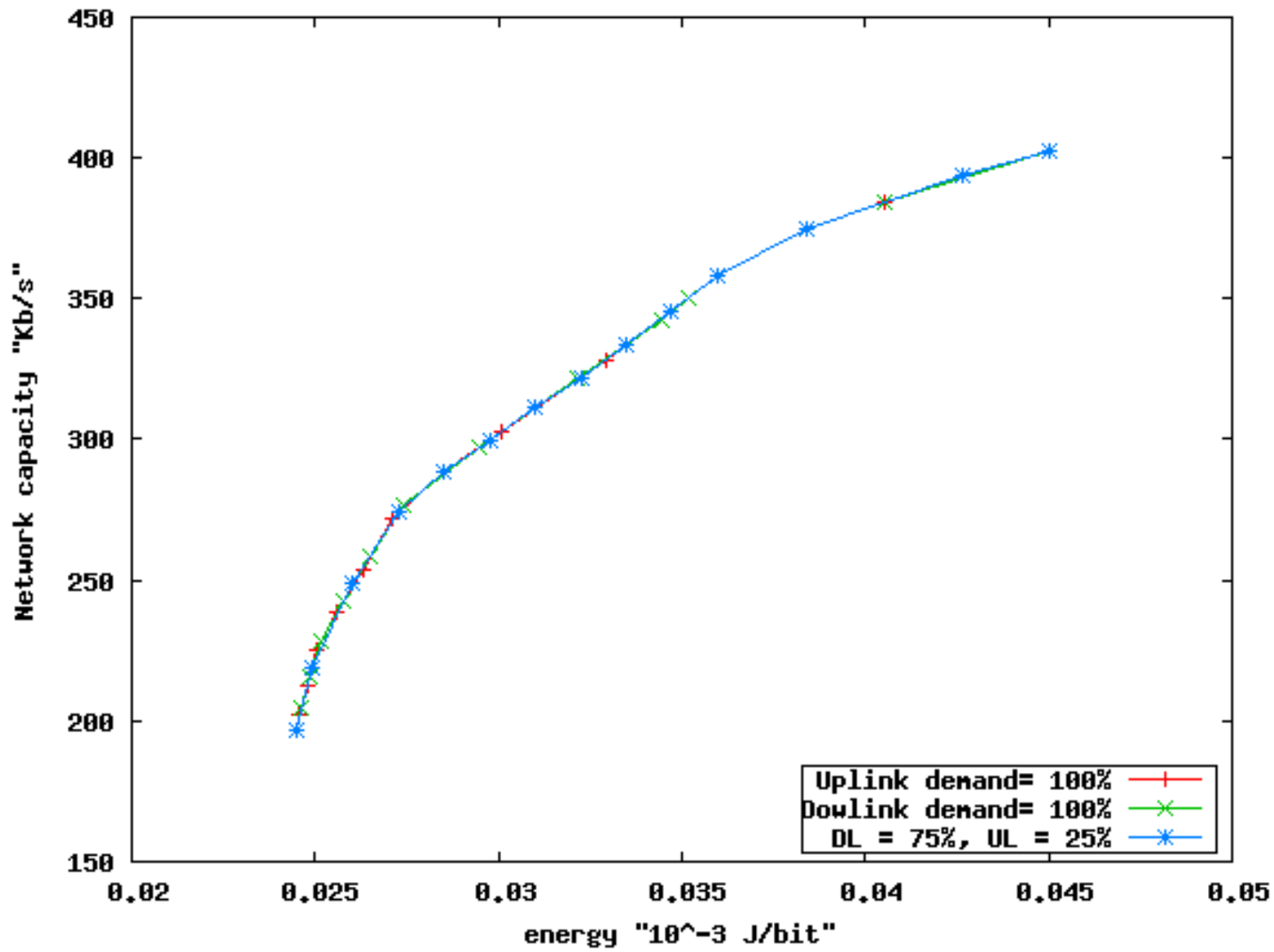
$$\forall u, v, k \qquad J_u \geq \sum_{k} T_s * P_t^k(u) + \sum_{k} \sum_{v} j_r^k(v) \Psi_{(v,u),k}$$

$$\forall u \qquad J_u \geq J_{idle}(u)$$

$$\forall e = (u,v), k \qquad c_e^k = C_1 \Psi_{(u,v),k}$$

$$\forall u, v, k \qquad P_t^k(u) * L(u,v) \geq \beta * \Big(\sum_{(u',v') \neq (u,v)} P_t^k(u') * L(u,v) + \mu \Big) - (1 - \Psi_{(u,v),k}) n P_{max}$$

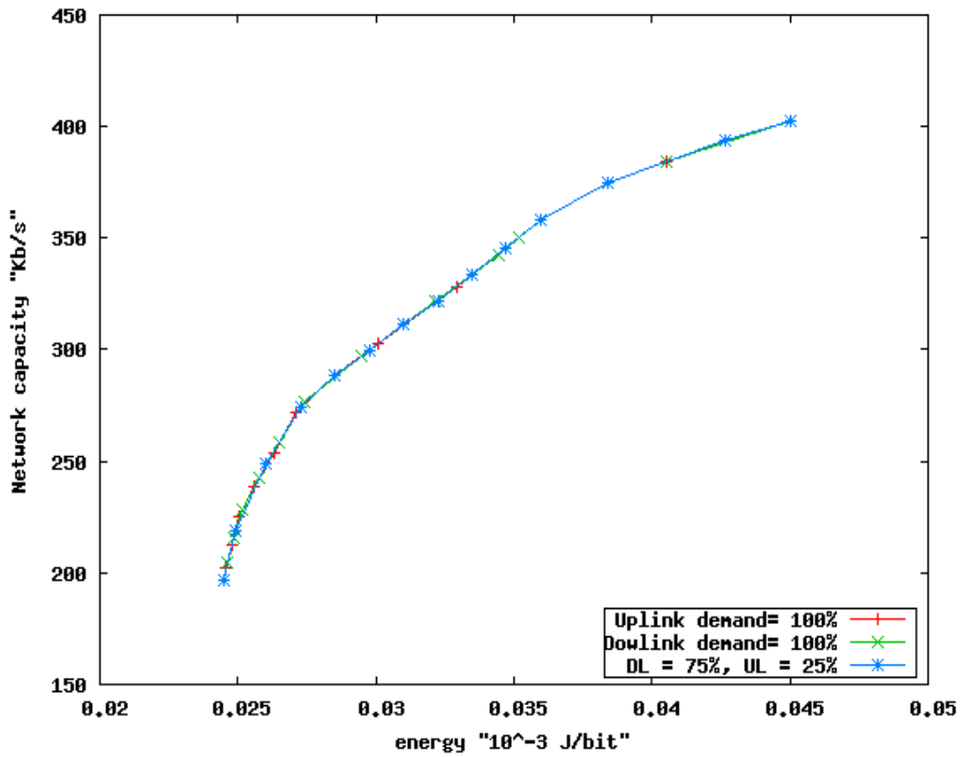
Compromis capacité-énergie

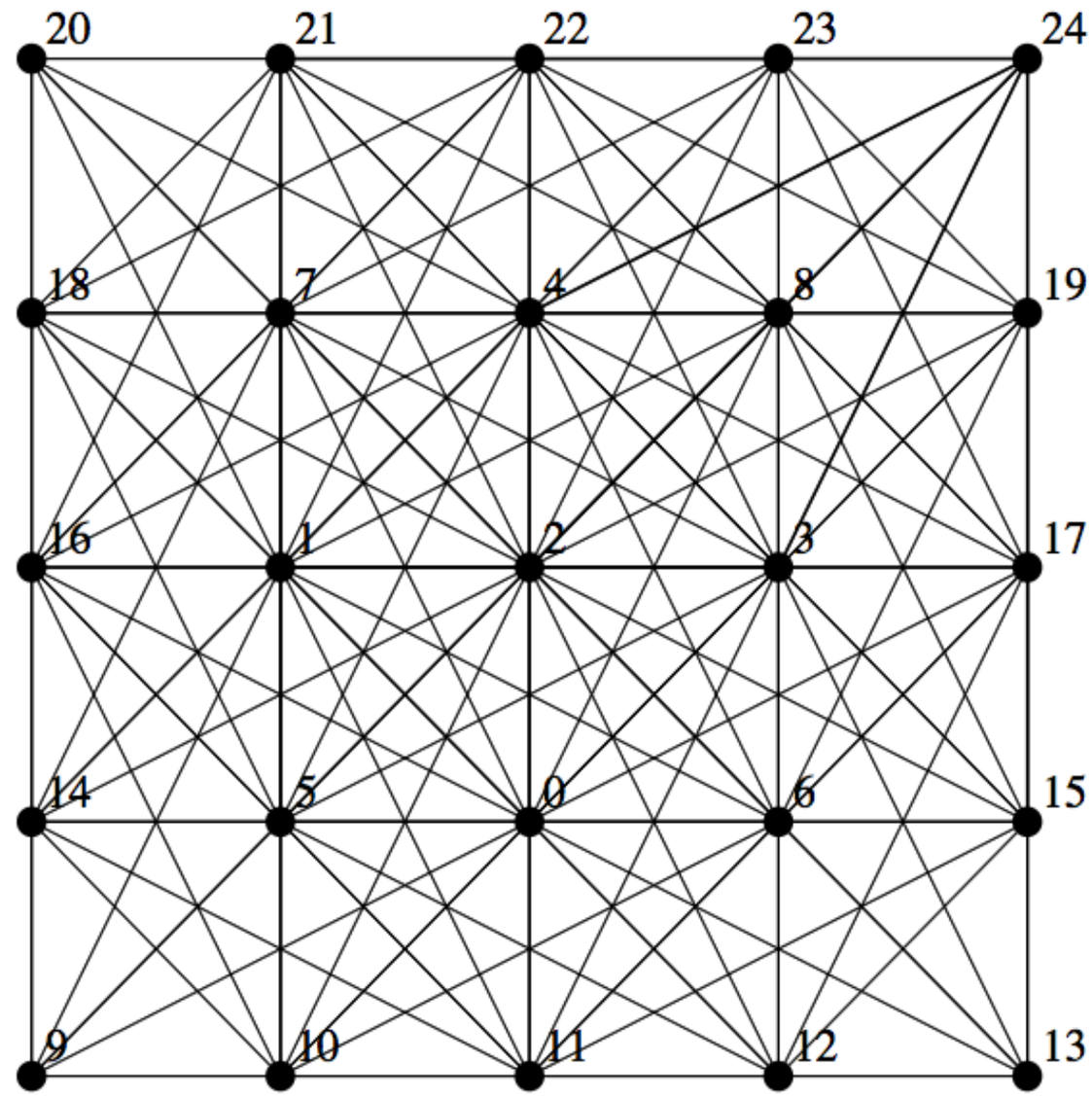


Compromis capacité-énergie :
Seuil SNR = 15.13, grille 5x5

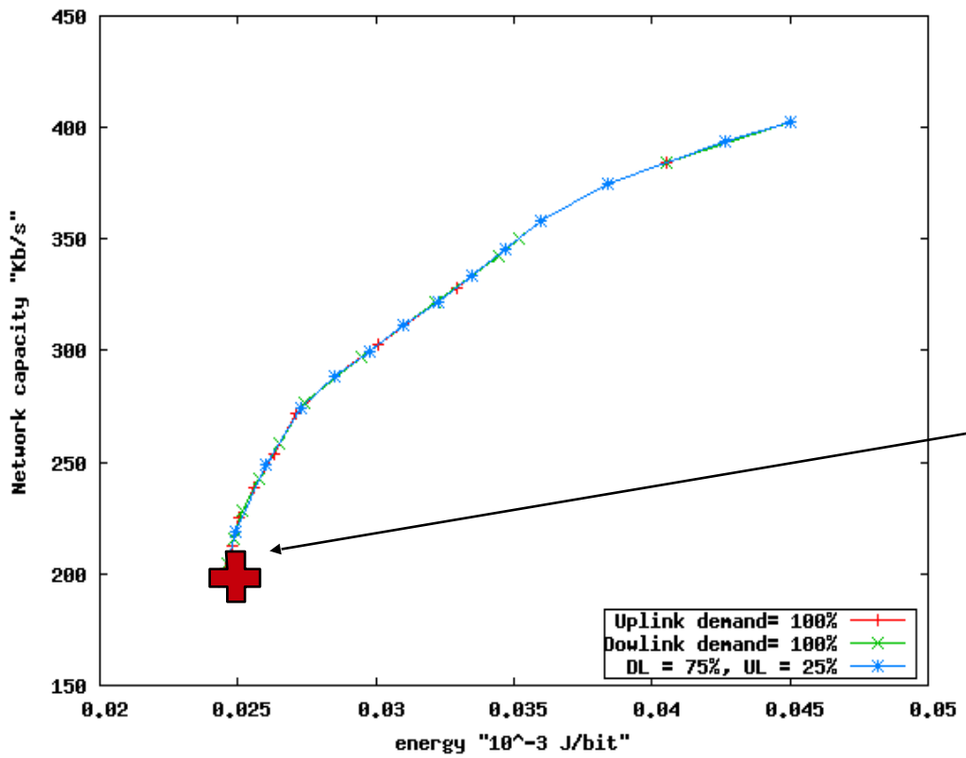
Il n'y a pas d'impact de la répartition du trafic entre UL et DL.
Artefact de la relaxation linéaire ?

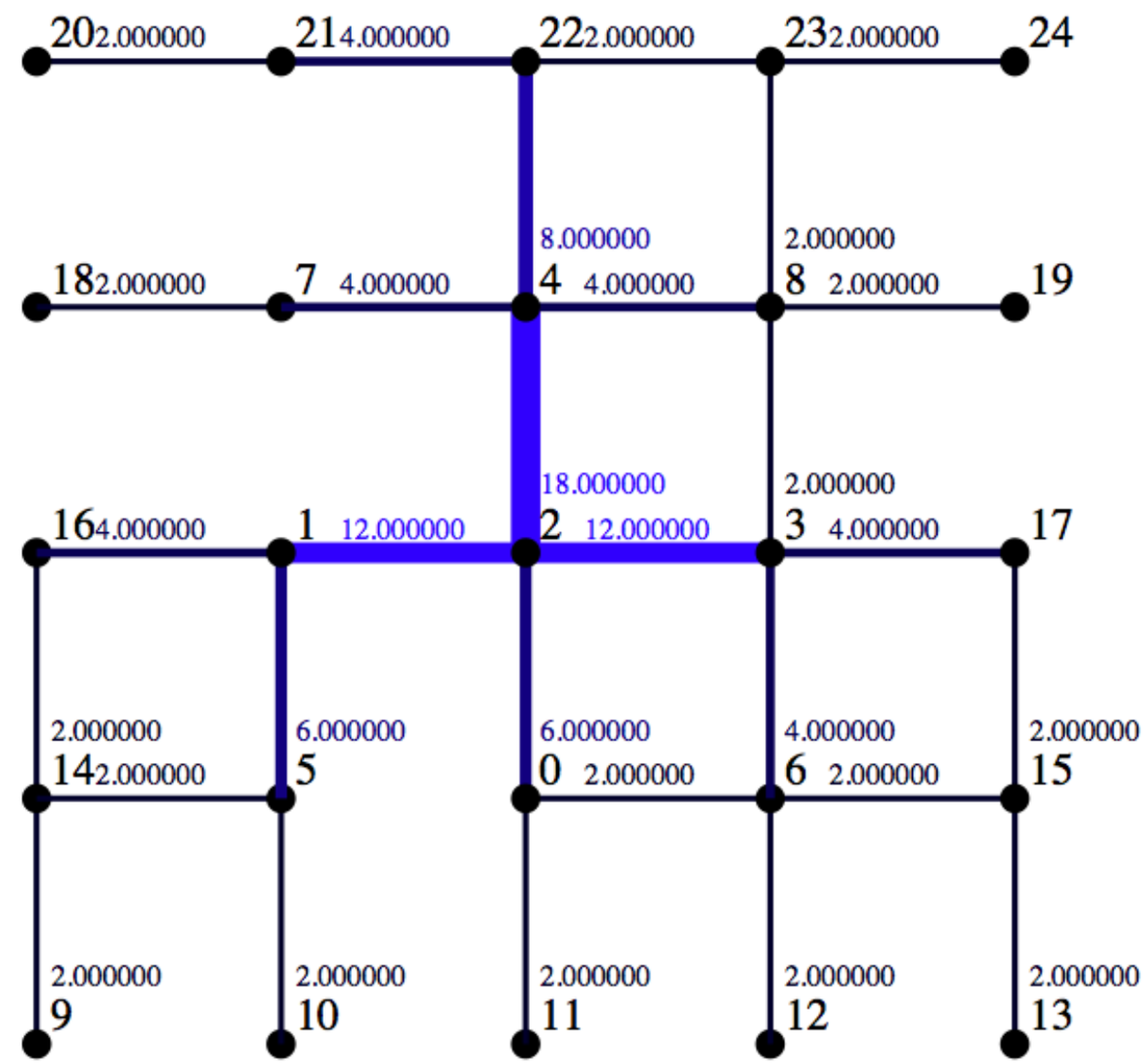
Multi-saut Vs mono-saut, routage,...



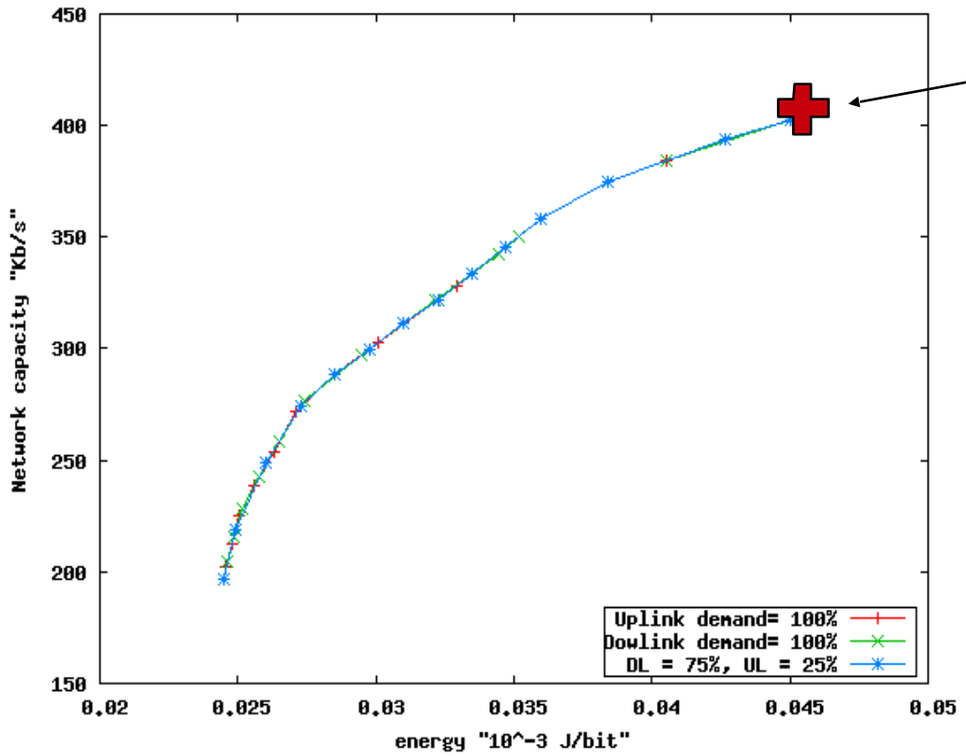


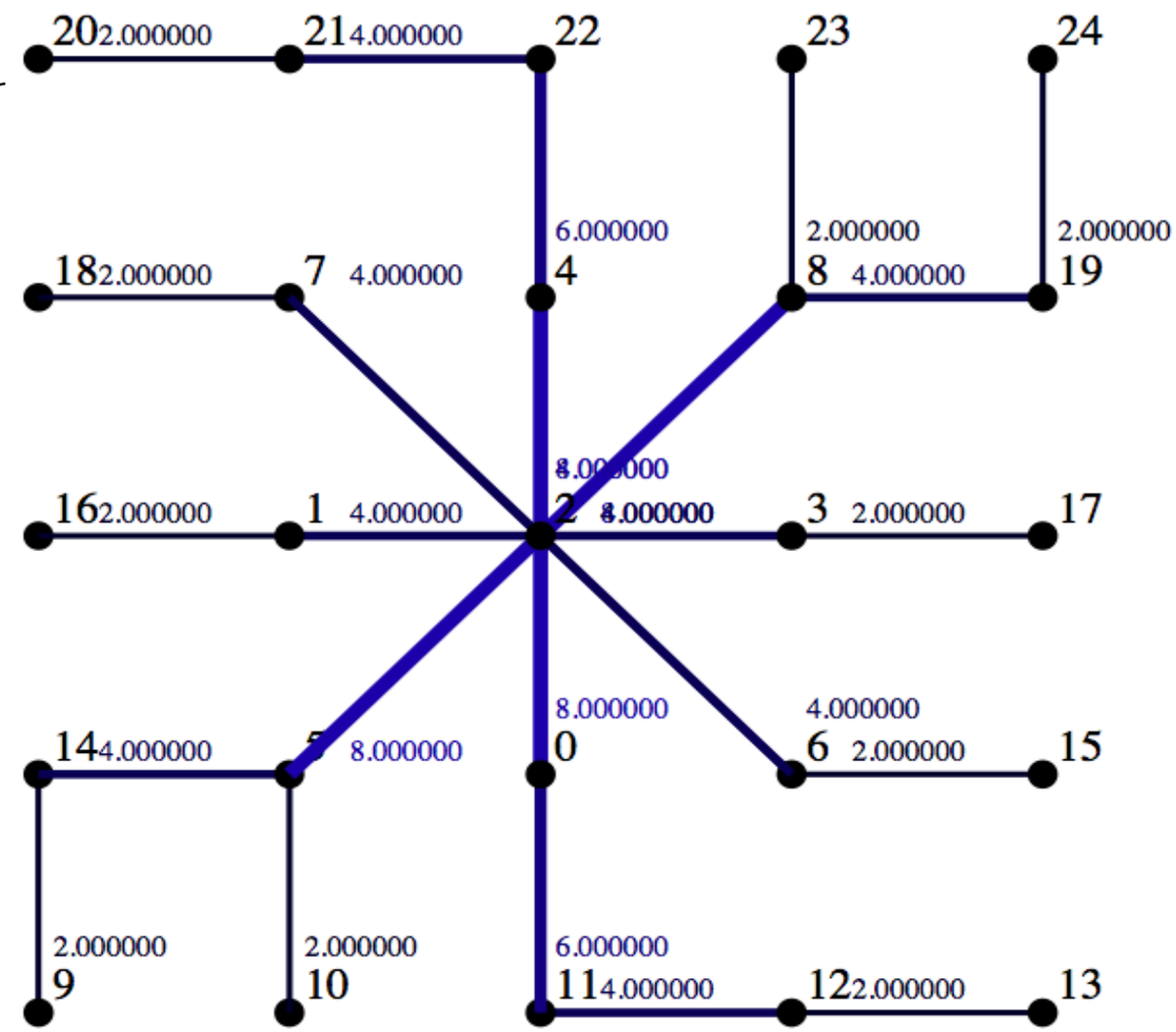
Multi-saut Vs mono-saut, routage,...





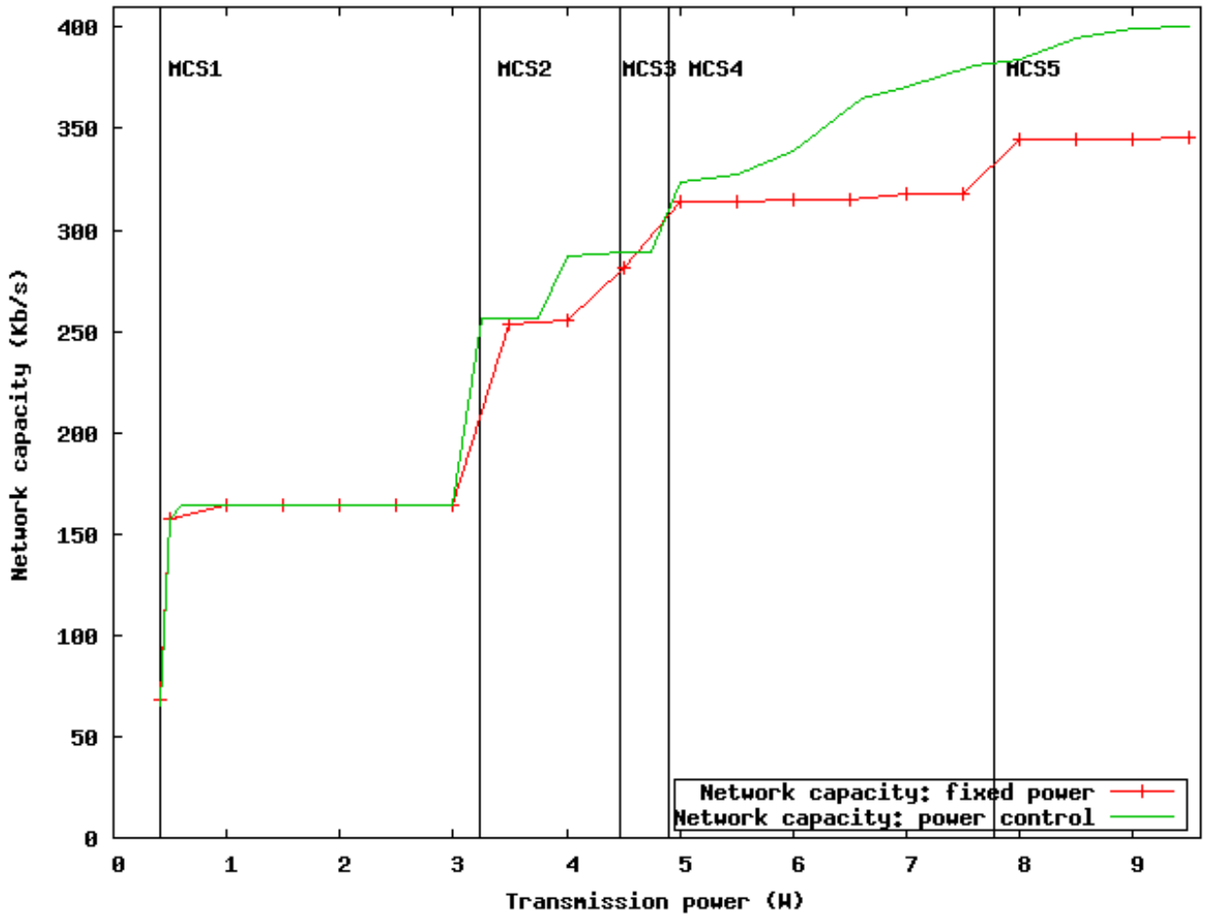
Multi-saut Vs mono-saut, routage,...



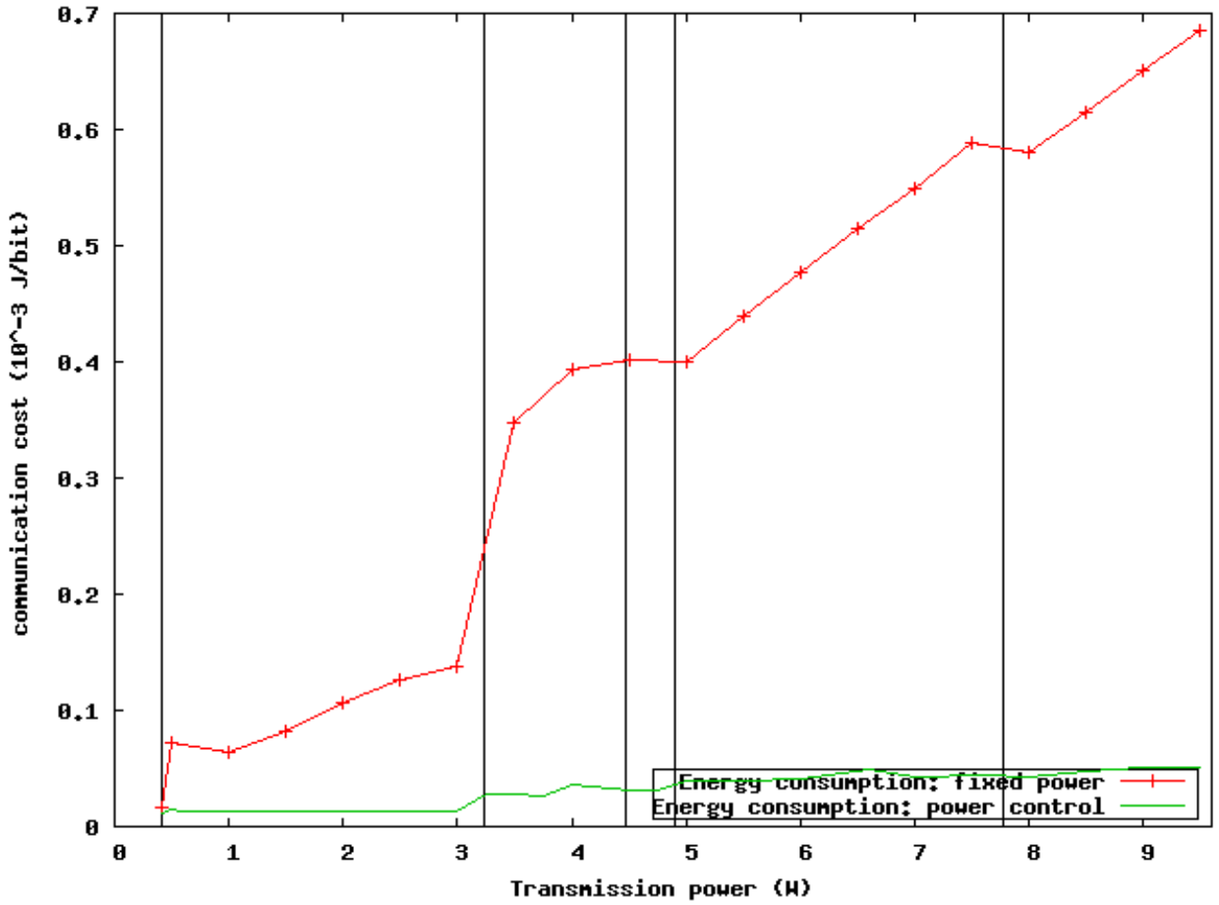


- Multi-saut est plus efficace que le mono-saut !!!

Puissance fixe Vs contrôle de puissance: modulation adaptative



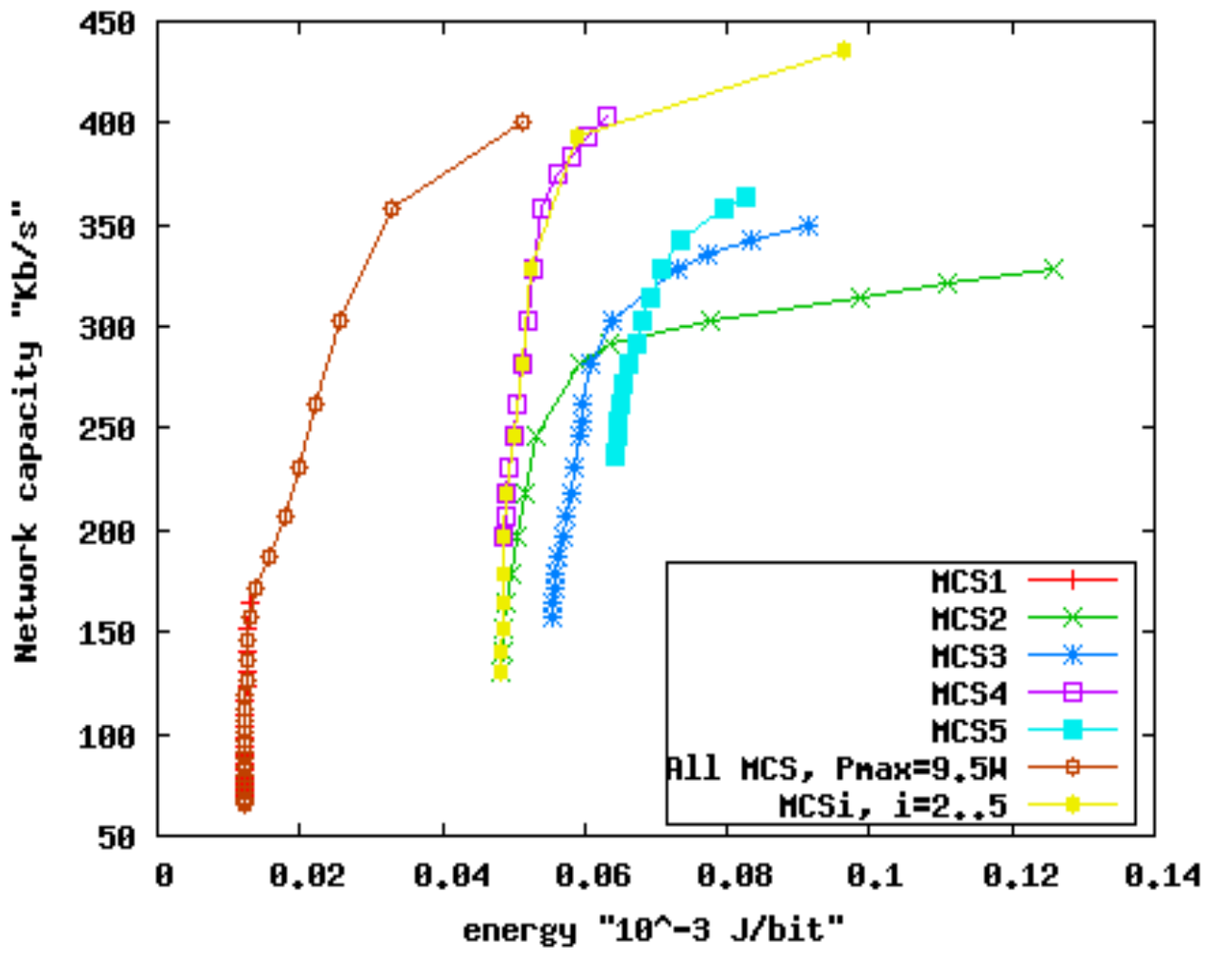
Capacité du réseau



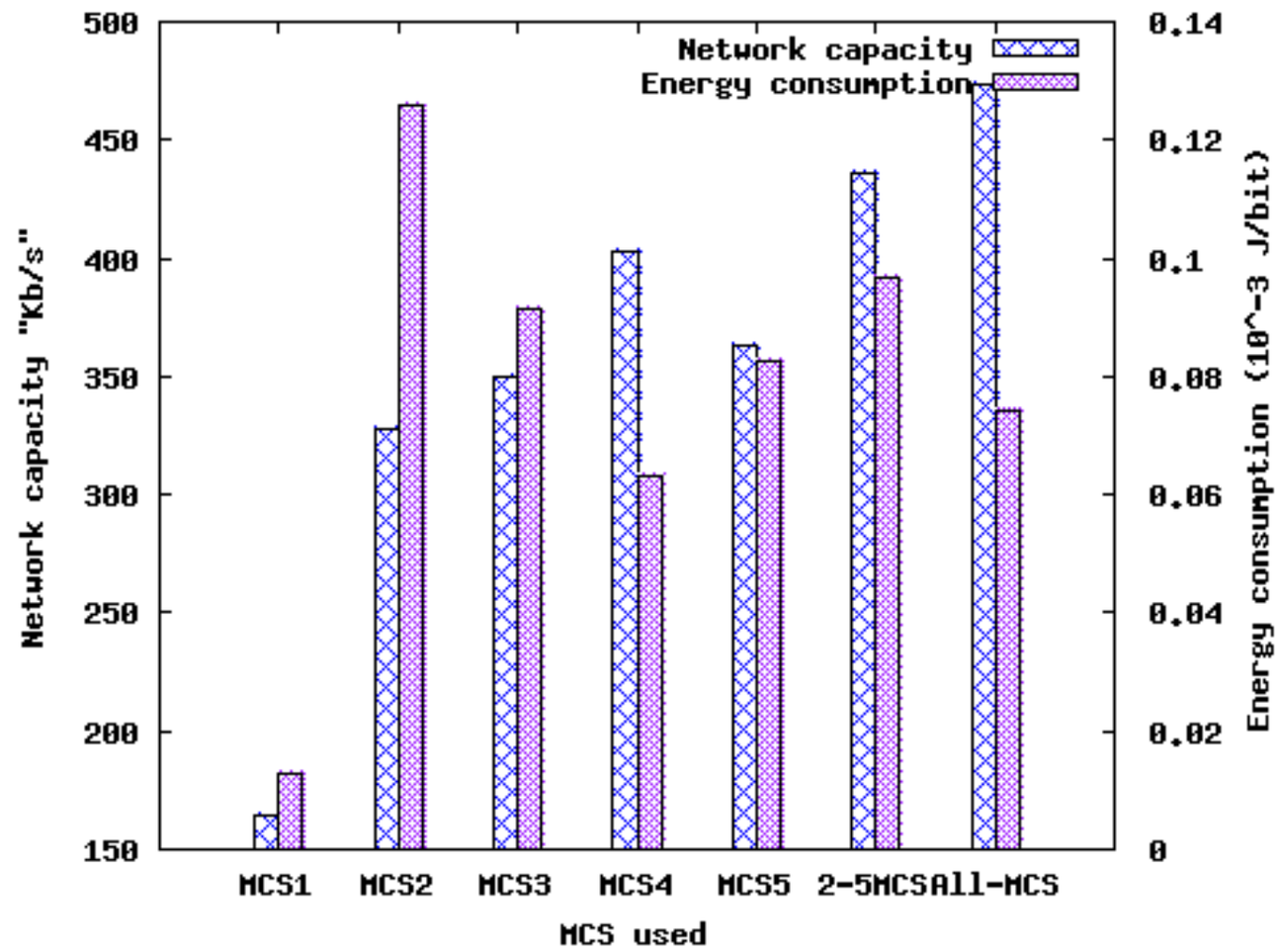
Consommation d'énergie par bit

L'apport du contrôle de puissance est important

L'apport modulations adaptative



Compromis Capacité-énergie



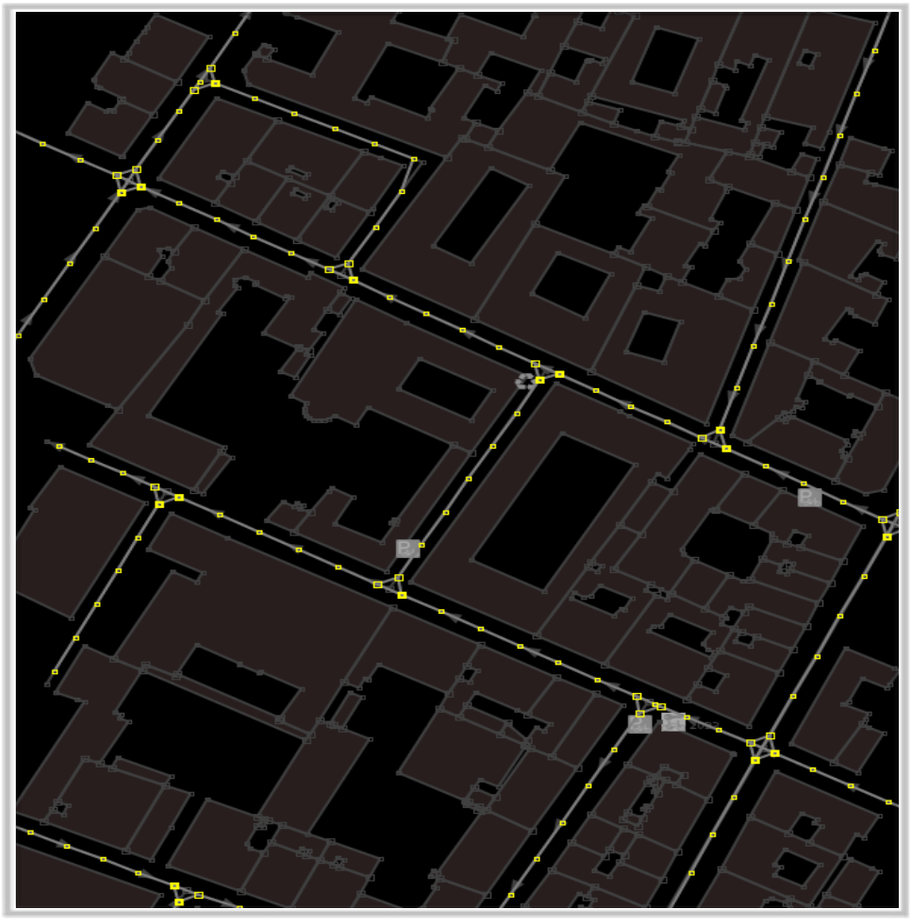
Capacité maximale et consommation minimale d'énergie dans le cas seule/+ieurs modulations

L'apport de la modulations adaptative est imporatant !!!

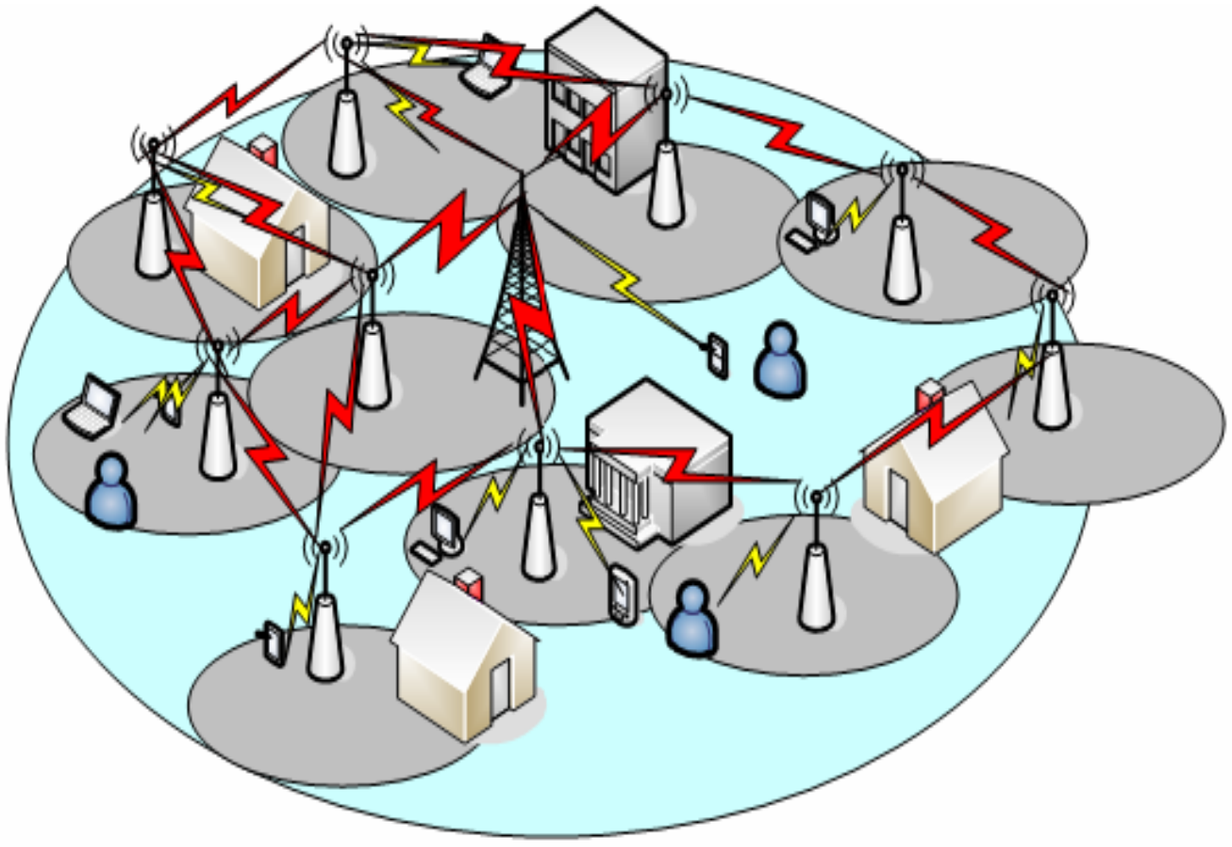
Conclusions et Perspectives

- Optimisation multi-objectif : allocation de ressource, routage et ordonnancement
- Minimiser la complexité et le temps de calcul
- Etudier le délai de bout en bout, compromis délai-énergie

Réseau urbain

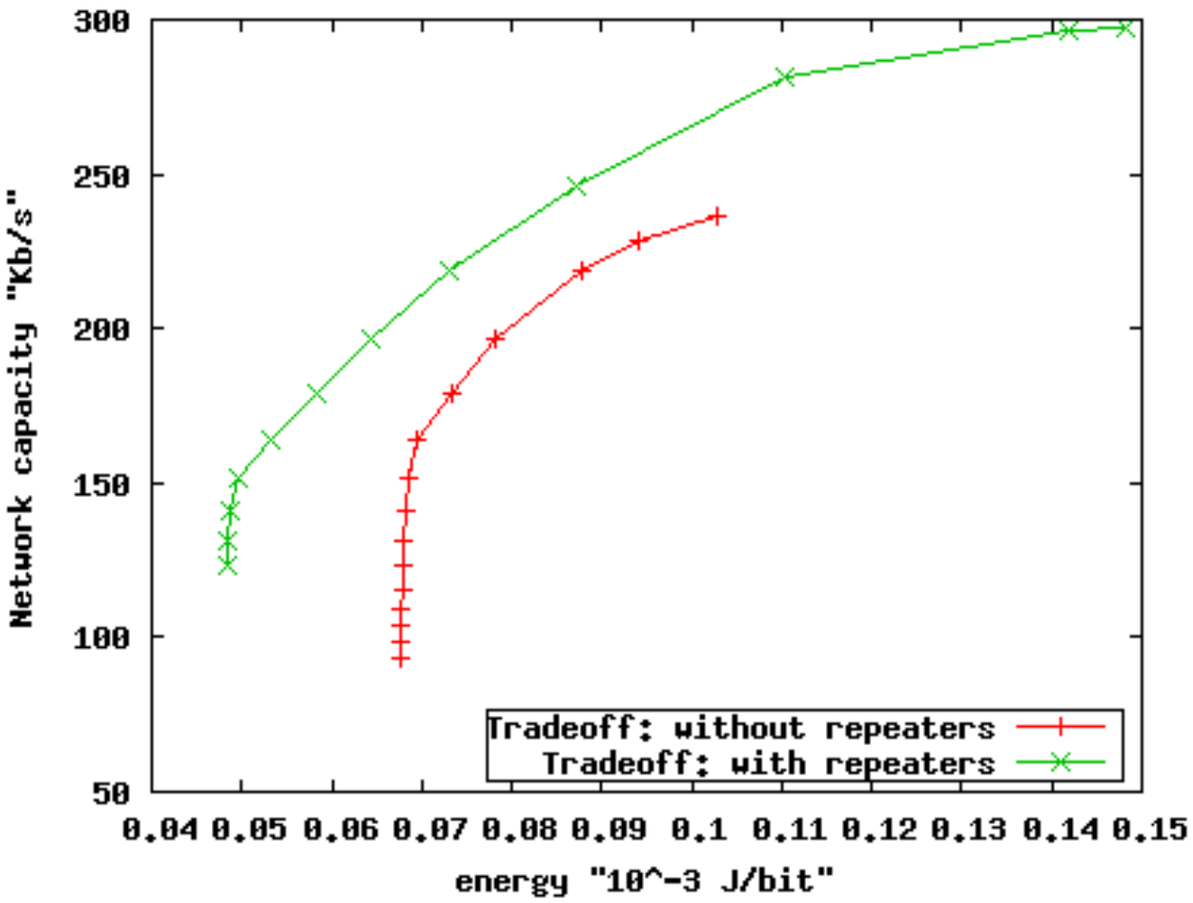


Réseau cellulaire macro/femto Cell

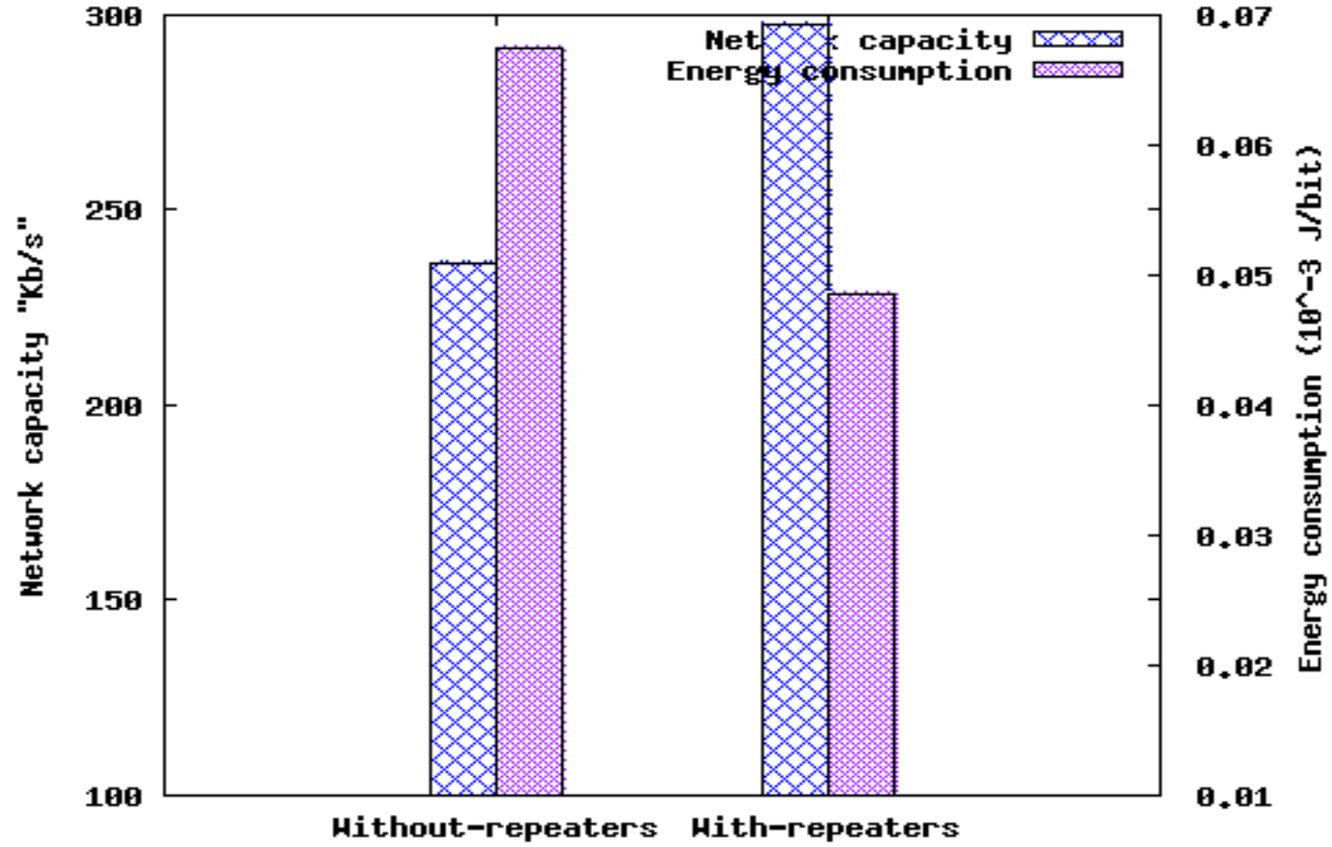


L'apport des répéteurs dans un réseau urbain

Topologie urbaine avec une seule rue de 6 répéteurs + 6 BS + 1passerelle



Compromis Capacité-énergie



Capacité maximale et consommation minimale d'énergie dans le cas de sans/avec répéteurs

Les répéteurs apportent un gain de 25% en capacité, et 28% en énergie

RECHERCHE

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE LYON

Merci pour votre attention …

Herve.Rivano@inria.fr

membre de

UNIVERSITÉ DE LYON

INSA LYON