

Soutenance de thèse

Qualité de Service dans des environnements réseaux mobiles, hétérogènes et contraints

par **Guillaume ARTERO GALLARDO**

André-Luc BEYLOT Gentian JAKLLARI Lucile CANOURGUES

lundi 2 mars 2015

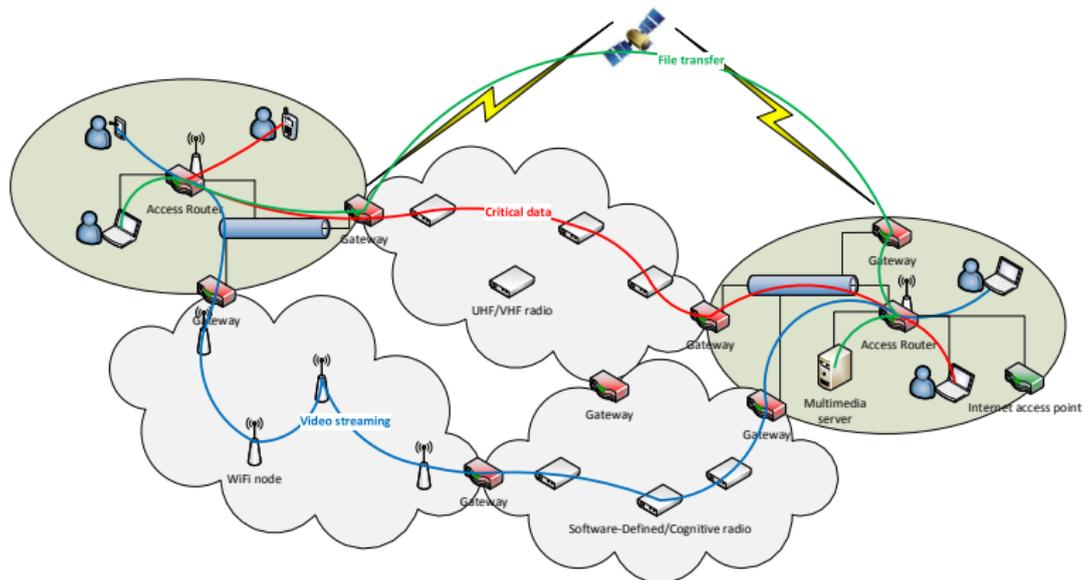
**Rockwell
Collins**

TESA
Télécommunications Spatiales & Aéronautiques

IRIT
CNRS
UMR 5517
UMR 5214
Institut de Recherche en Informatique de Toulouse


Université
de Toulouse

Réseaux tactiques du futur : organisation et enjeux



- Réseaux sans fil avec et sans infrastructure
- Qualité de Service de bout en bout (délai, gigue, débit)
- Technologie clé : **la radio cognitive**

Accès opportuniste sur des fréquences soumises à licence

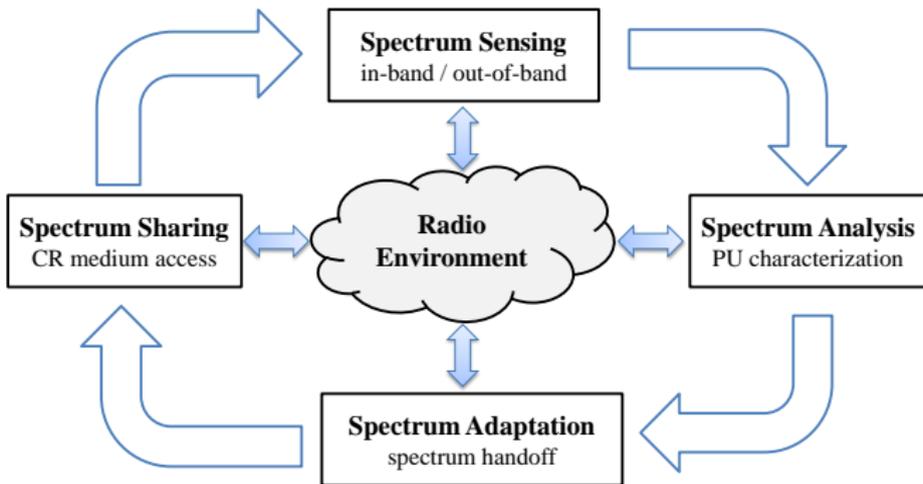
Nouvelle hiérarchie

- 1 Utilisateurs disposant de la licence \Leftrightarrow Utilisateurs Primaires (PU)
- 2 Utilisateurs sans licence \Leftrightarrow **Utilisateurs Secondaires (SU)**

Utilisation des canaux soumis à licence non utilisés

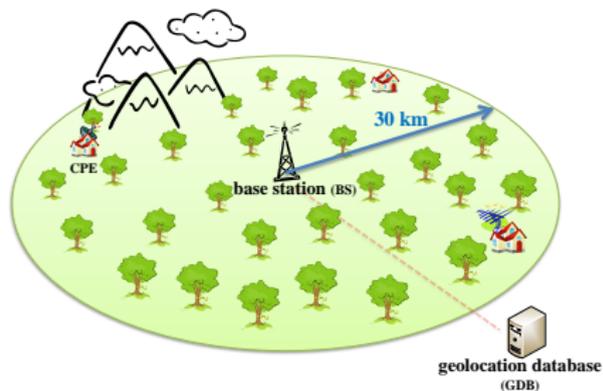
- Autorisation de la FCC en 2010
- Minimiser les interférences des SU sur les PU

Cycle cognitif



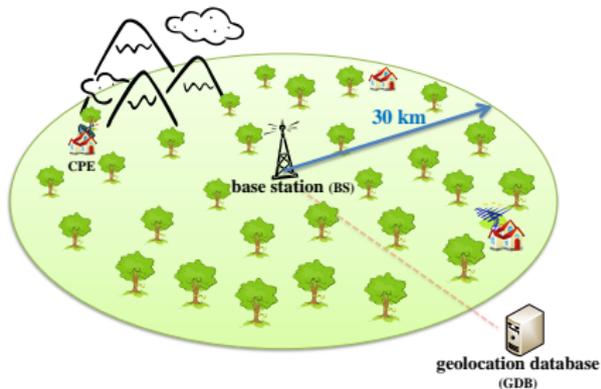
Architectures centralisées

- Standard IEEE 802.22 (2011)
- Connectivité à échelle régionale
- Base de géolocalisation des PU
- Produits sur le marché américain



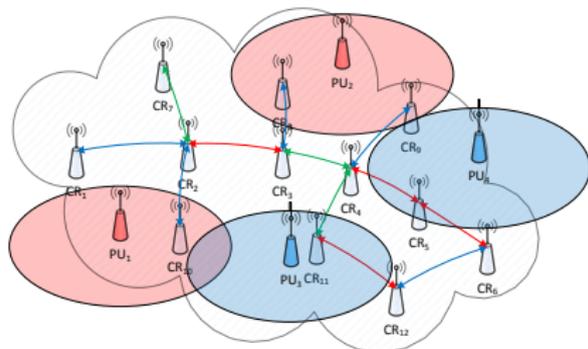
Architectures centralisées

- Standard IEEE 802.22 (2011)
- Connectivité à échelle régionale
- Base de géolocalisation des PU
- Produits sur le marché américain



Architectures ad-hoc

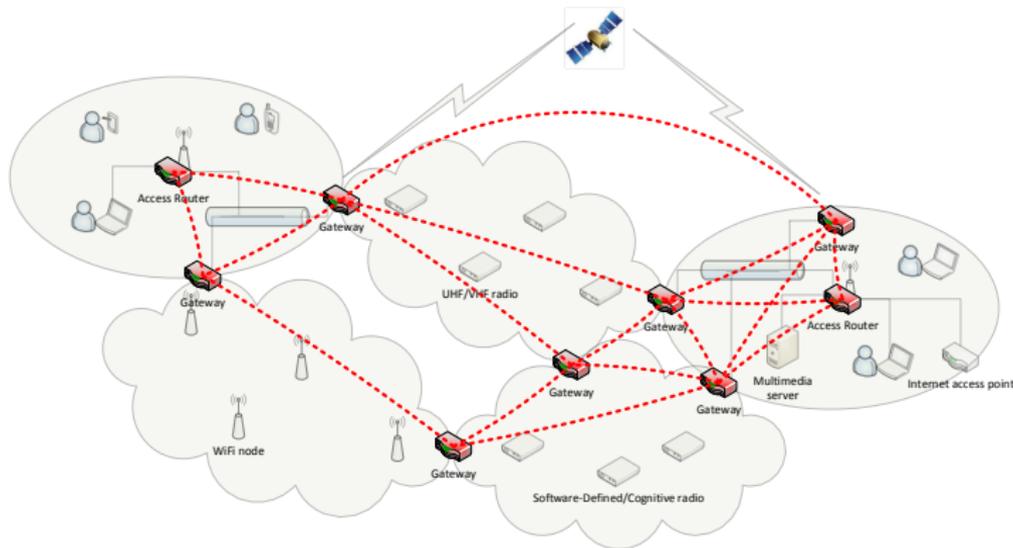
- Pas d'infrastructure
- Pas de base de géolocalisation
- État expérimental



Conséquences de la hiérarchie entre utilisateurs

- Protocoles différents \Rightarrow Pas de coordination
- Interférences PU-SU \neq Interférence SU-SU
- Synchronisation entre les SU
- Architectures inter-couches

Un problème de routage à Qualité de Service



Collecte des métriques de Qualité de Service

- **Débit résiduel**
- **Nombre moyen de retransmissions par paquet**

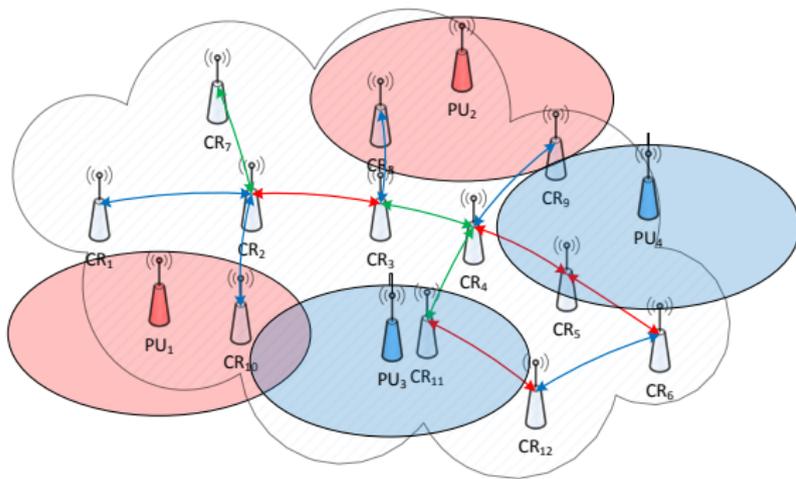
Plan de la présentation

- 1 **Contrôle d'admission dans les réseaux ad-hoc de radios cognitives**
 - Architecture considérée
 - Problème d'estimation du débit
 - Algorithme de calcul BRAND
 - Version distribuée de BRAND
 - Résultats
- 2 **Nombre moyen de transmissions dans les réseaux de radios cognitives**
 - Métrique ETX
 - Plateforme expérimentale
 - Efficacité de la métrique ETX
 - COExiST (COgnitive radio EXpected transmiSSion counT)
 - Évaluation de COExiST en environnement réel
- 3 **Conclusions et Perspectives**
 - Résumé
 - Perspectives

Plan de la présentation

- 1 **Contrôle d'admission dans les réseaux ad-hoc de radios cognitives**
 - **Architecture considérée**
 - Problème d'estimation du débit
 - Algorithme de calcul BRAND
 - Version distribuée de BRAND
 - Résultats
- 2 **Nombre moyen de transmissions dans les réseaux de radios cognitives**
 - Métrique ETX
 - Plateforme expérimentale
 - Efficacité de la métrique ETX
 - COExiST (COgnitive radio EXpected transmiSsion counT)
 - Évaluation de COExiST en environnement réel
- 3 **Conclusions et Perspectives**
 - Résumé
 - Perspectives

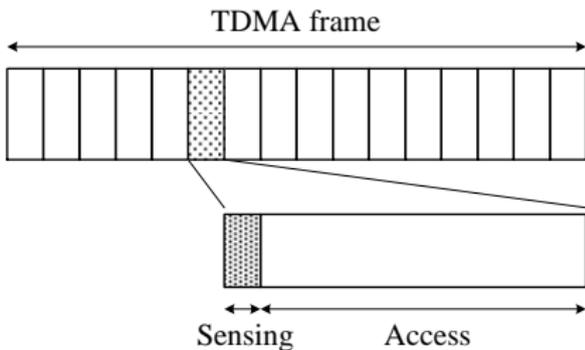
Architecture considérée



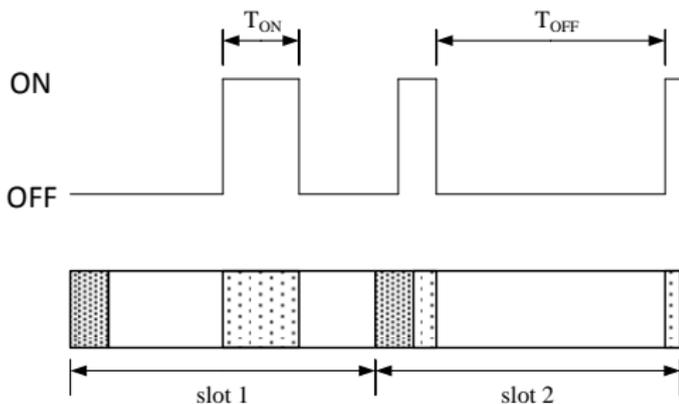
- Radios cognitives à interfaces multiples
- Chaque lien de communication opérant sur un seul canal
- Schéma d'activité des PU non connu *a priori* par les SU

Méthode d'accès

- Accès déterministe de type TDMA
- Réserve locale de time-slots
- Temps de sensing / accès
- Accès conditionné au résultat du spectrum sensing



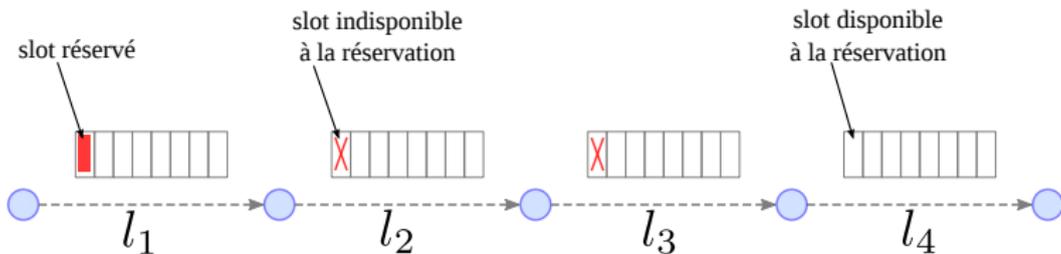
Effet des interférences causées par les utilisateurs primaires



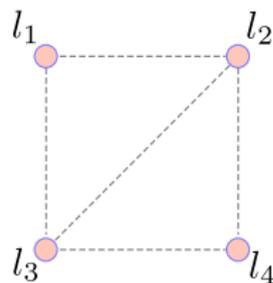
- Détection par mesure d'énergie
- Activité aléatoire des PU durant l'accès

⇒ **Interférences réduisant le débit des SU**

Effet des interférences causées entre utilisateurs secondaires



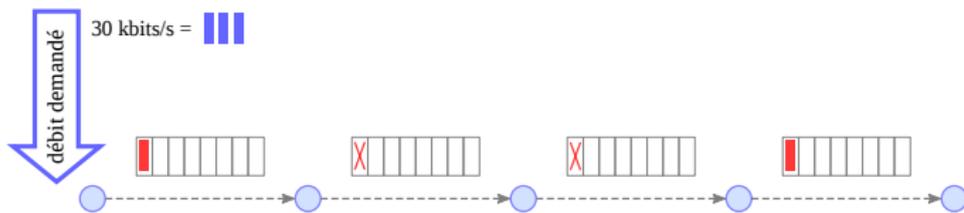
- Radios half-duplex
- Cliques d'interférence



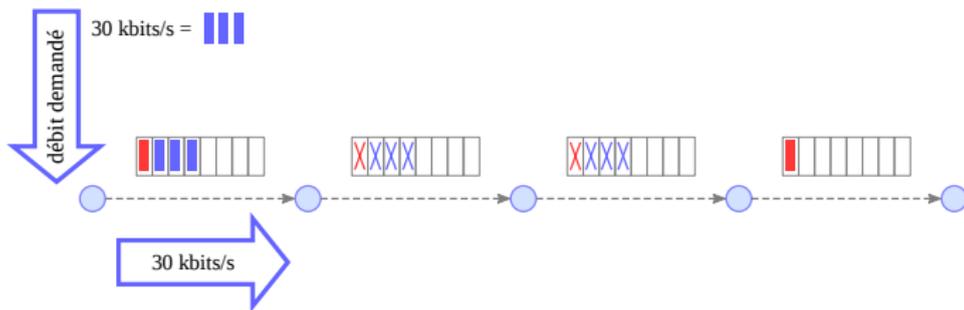
Plan de la présentation

- 1 **Contrôle d'admission dans les réseaux ad-hoc de radios cognitives**
 - Architecture considérée
 - **Problème d'estimation du débit**
 - Algorithme de calcul BRAND
 - Version distribuée de BRAND
 - Résultats
- 2 **Nombre moyen de transmissions dans les réseaux de radios cognitives**
 - Métrique ETX
 - Plateforme expérimentale
 - Efficacité de la métrique ETX
 - COExiST (COgnitive radio EXpected transmiSsion counT)
 - Évaluation de COExiST en environnement réel
- 3 **Conclusions et Perspectives**
 - Résumé
 - Perspectives

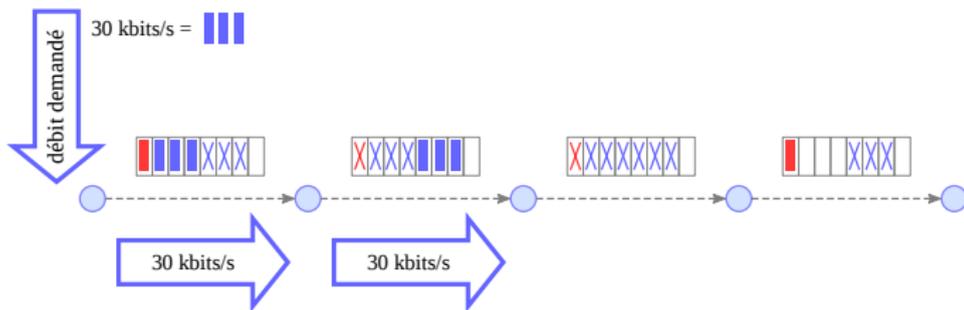
Comprendre le problème de calcul du débit résiduel de bout en bout



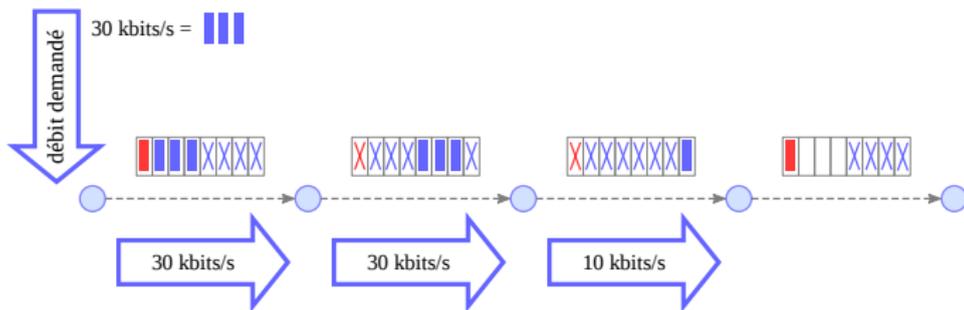
Comprendre le problème de calcul du débit résiduel de bout en bout



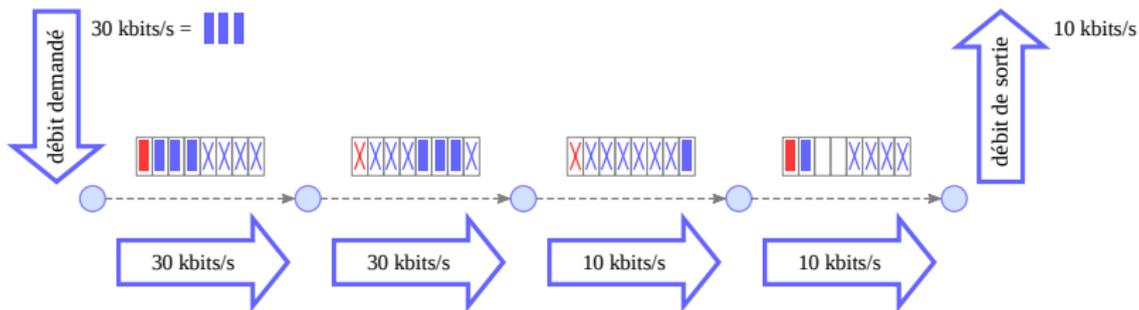
Comprendre le problème de calcul du débit résiduel de bout en bout



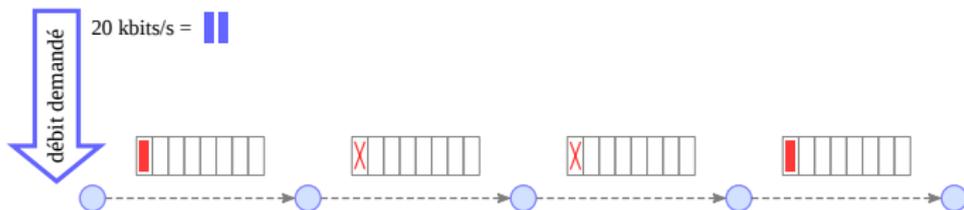
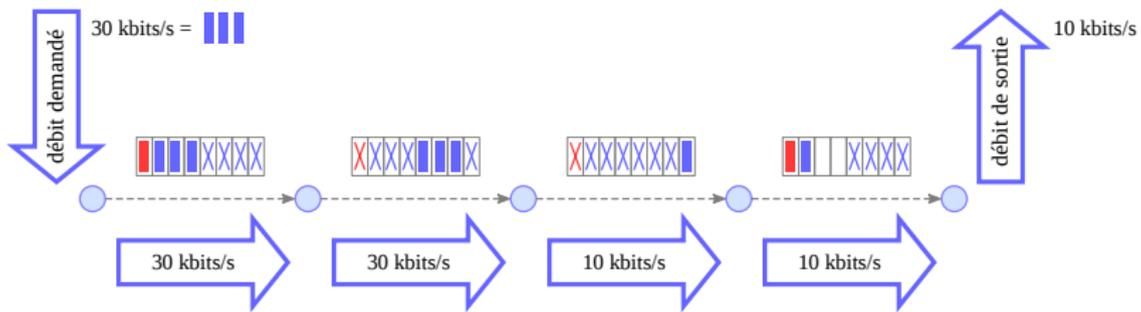
Comprendre le problème de calcul du débit résiduel de bout en bout



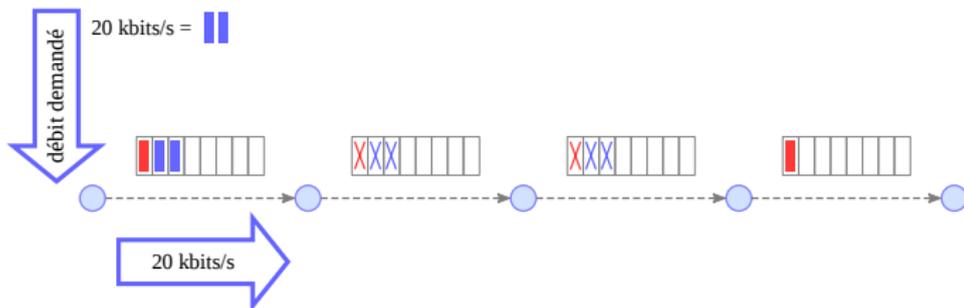
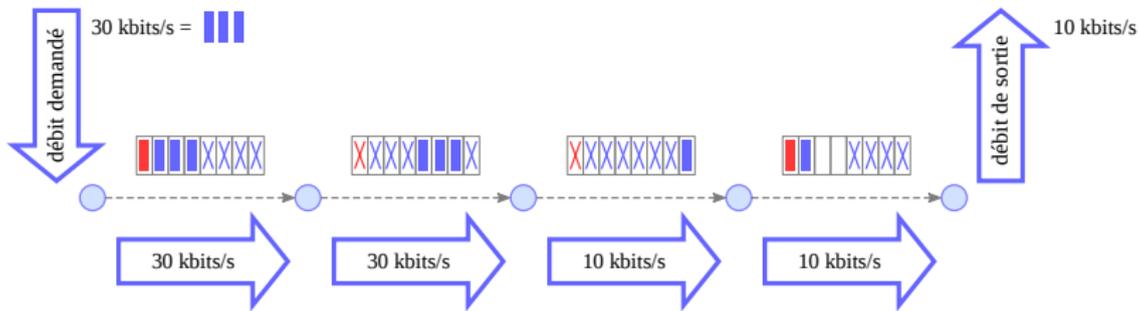
Comprendre le problème de calcul du débit résiduel de bout en bout



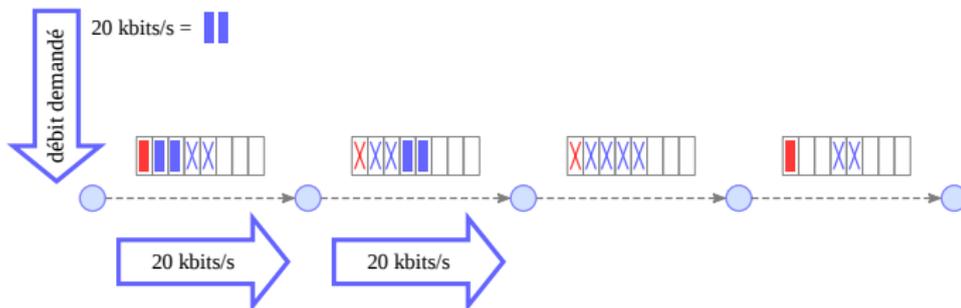
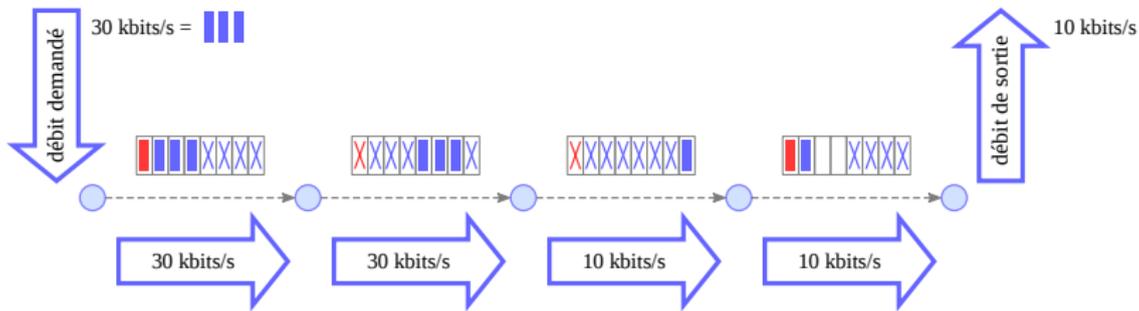
Comprendre le problème de calcul du débit résiduel de bout en bout



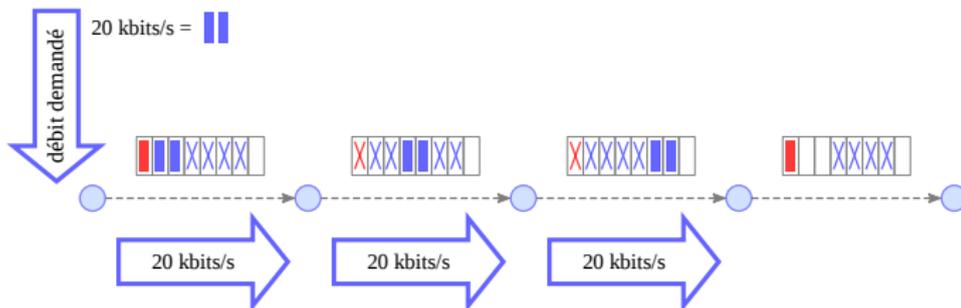
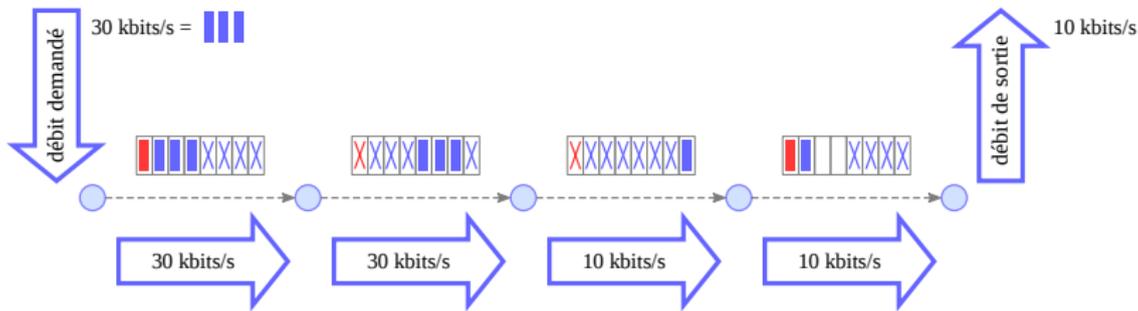
Comprendre le problème de calcul du débit résiduel de bout en bout



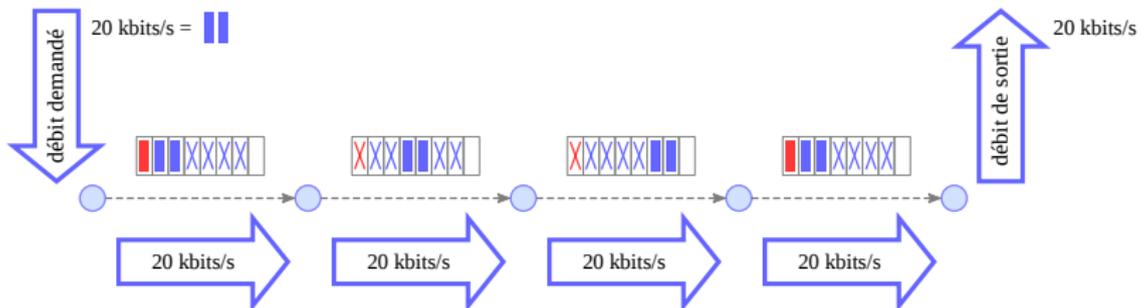
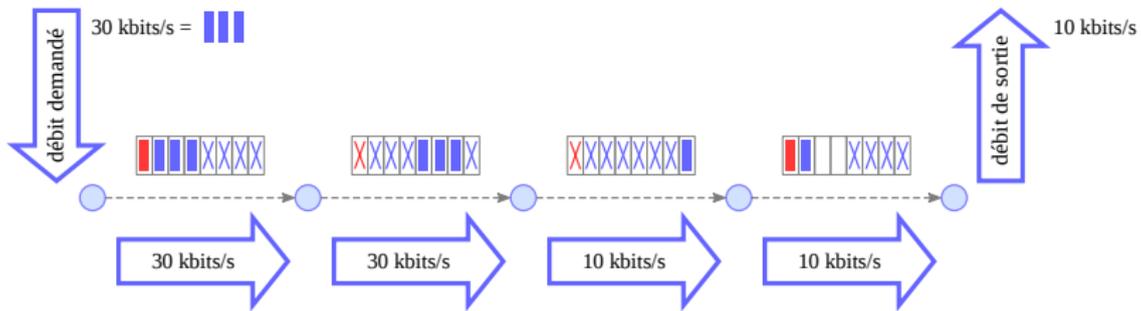
Comprendre le problème de calcul du débit résiduel de bout en bout



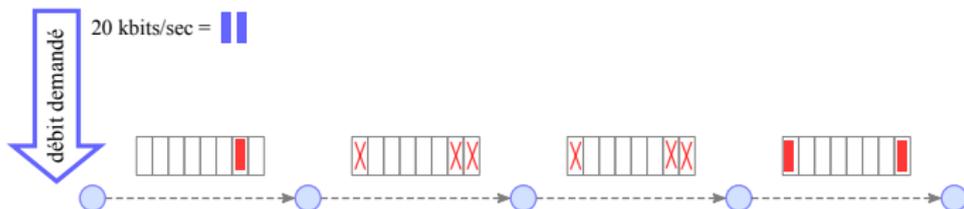
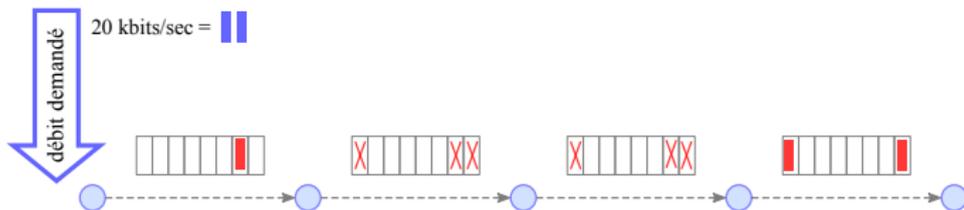
Comprendre le problème de calcul du débit résiduel de bout en bout



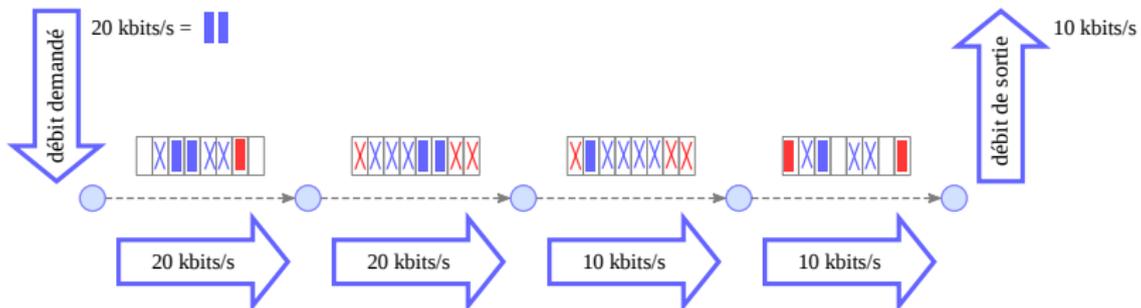
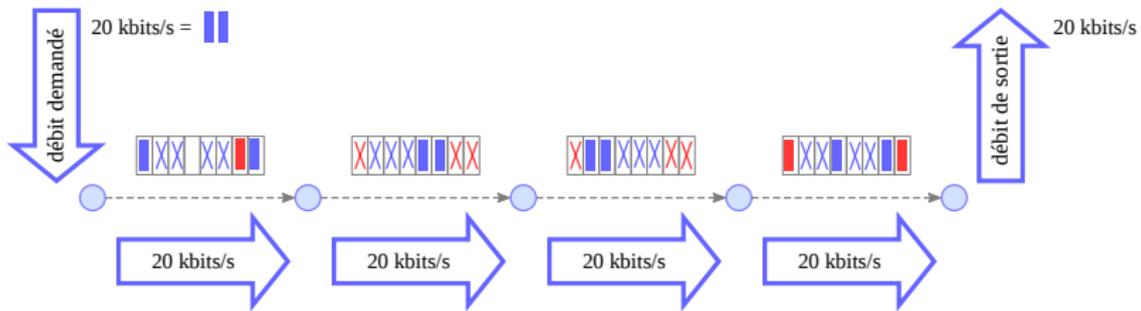
Comprendre le problème de calcul du débit résiduel de bout en bout



Comprendre le problème de calcul du débit résiduel de bout en bout



Comprendre le problème de calcul du débit résiduel de bout en bout



Paramètres du calcul du débit de sortie

- Débit d'entrée injecté
 - Schéma d'allocation de slots
-
- Indisponibilité directe dans un voisinage à 2 sauts
 - Disponibilité indirecte pour les liens au-delà

Paramètres du calcul de la capacité résiduelle de bout en bout

Difficulté du problème

- Capacité résiduelle \Leftrightarrow Débit maximal de sortie
- Calcul de la capacité résiduelle \Leftrightarrow Allocation optimale de slots
- Problème NP-complet

Approches envisagées

- 1 Algorithmes d'approximation (centralisés)
- 2 Heuristiques simples (distribuées)

\Rightarrow **Sélection aléatoire des slots (RAND)**

Plan de la présentation

- 1 **Contrôle d'admission dans les réseaux ad-hoc de radios cognitives**
 - Architecture considérée
 - Problème d'estimation du débit
 - **Algorithme de calcul BRAND**
 - Version distribuée de BRAND
 - Résultats
- 2 **Nombre moyen de transmissions dans les réseaux de radios cognitives**
 - Métrique ETX
 - Plateforme expérimentale
 - Efficacité de la métrique ETX
 - COExiST (COgnitive radio EXpected transmiSSion counT)
 - Évaluation de COExiST en environnement réel
- 3 **Conclusions et Perspectives**
 - Résumé
 - Perspectives

Algorithme BRAND : available Bandwidth with RANDom scheduling

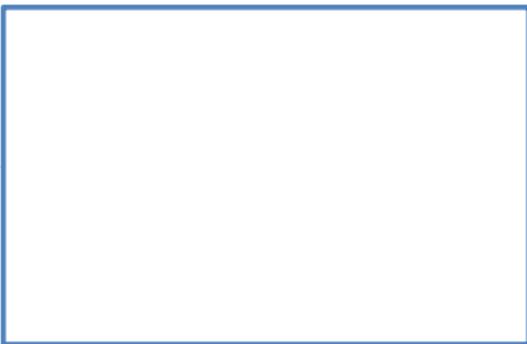
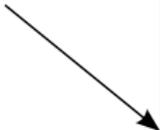
Algorithm 1: BRAND

Output : The available end-to-end bandwidth

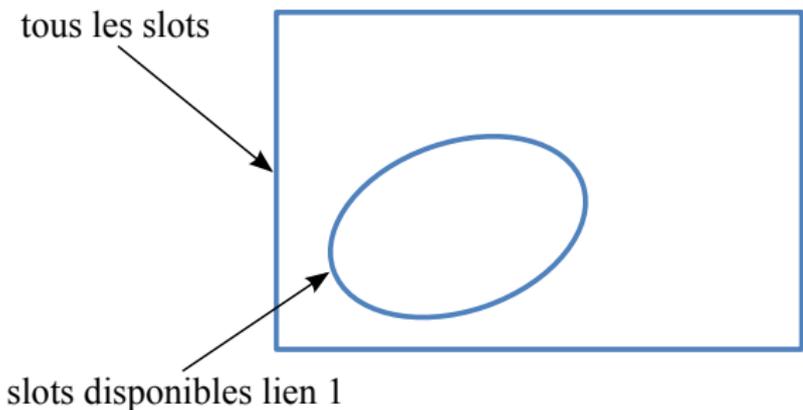
```
1: begin
2:   for every possible demand d do
3:     // Based on RANDOM Scheduling
4:     avThput ← Compute-averageThput (d);
5:     if avThput > AvailBW then
6:       AvailBW ← avThput;
7:   Return AvailBW ;
```

Principe du calcul pour une demande de débit donnée

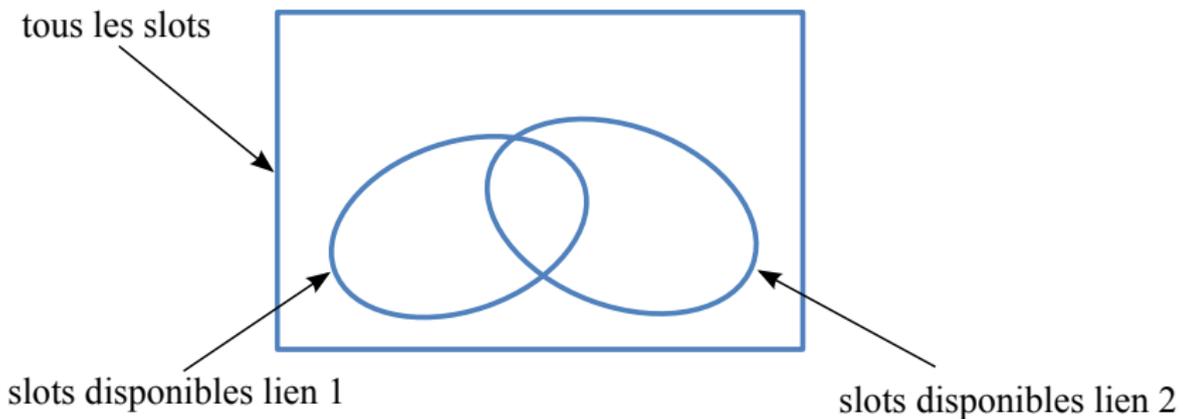
tous les slots



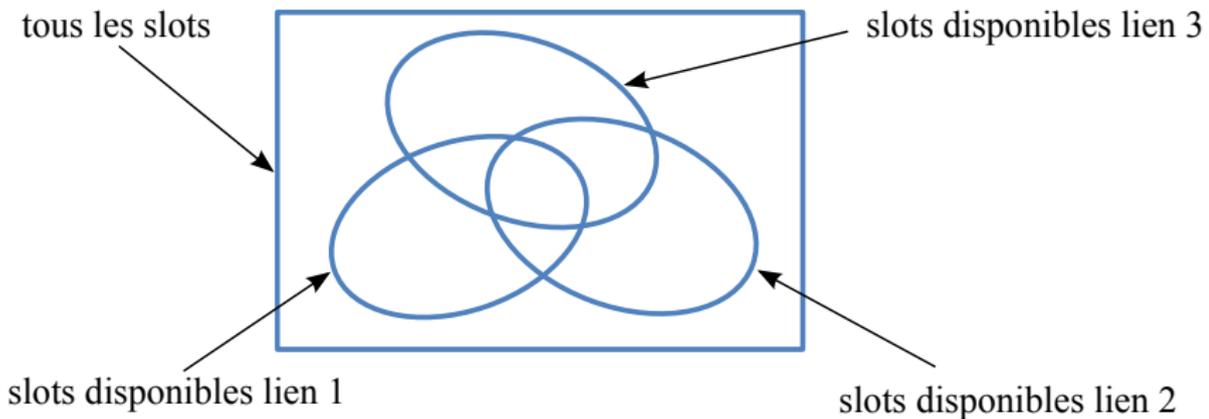
Principe du calcul pour une demande de débit donnée



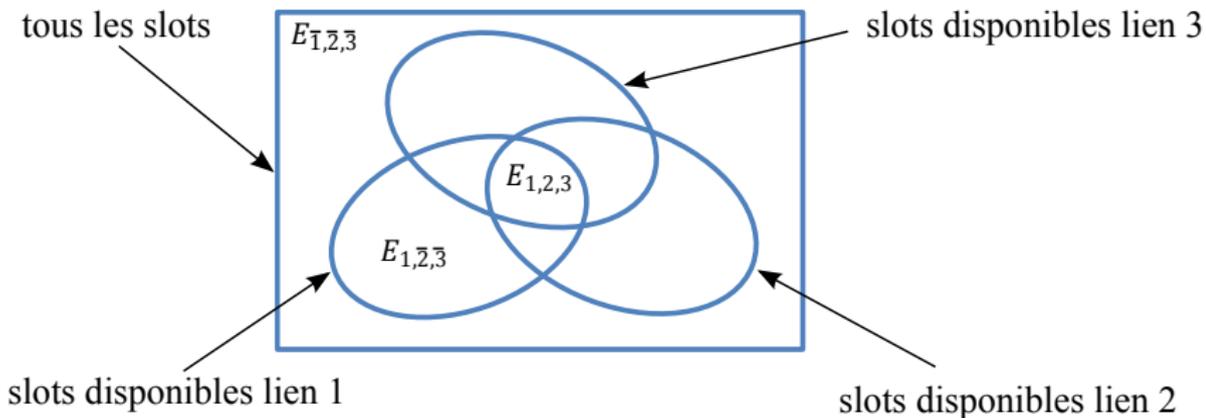
Principe du calcul pour une demande de débit donnée



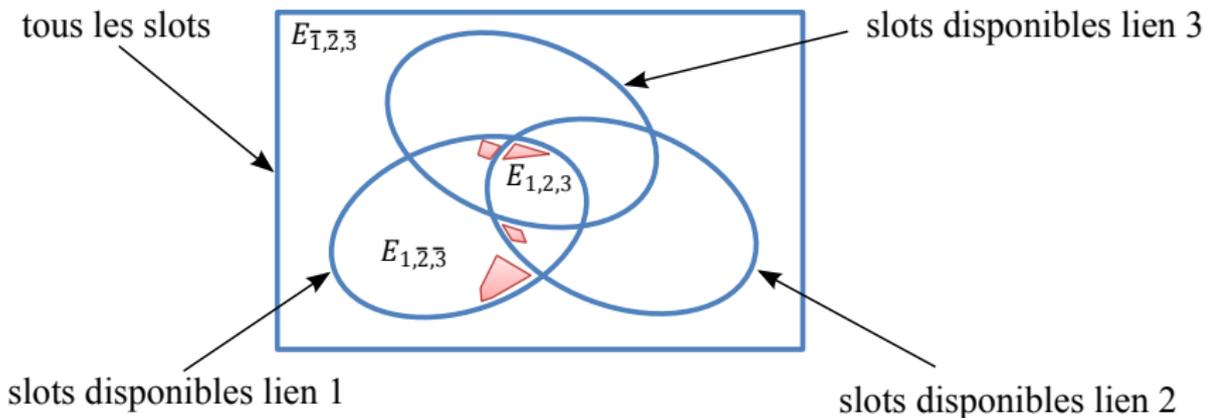
Principe du calcul pour une demande de débit donnée



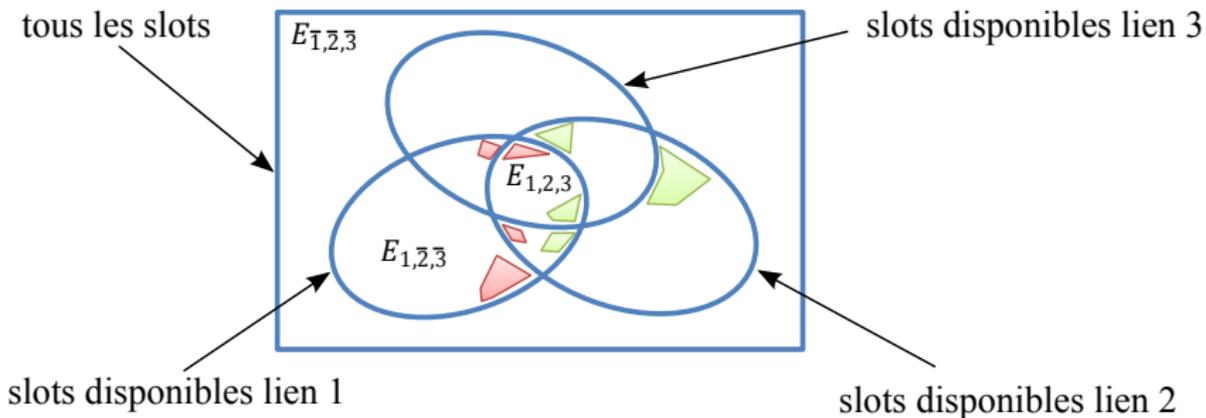
Principe du calcul pour une demande de débit donnée



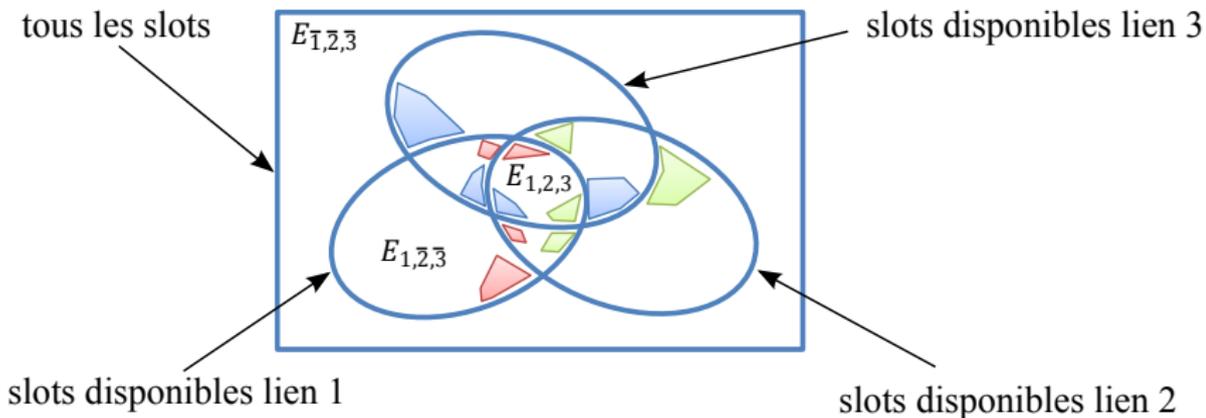
Principe du calcul pour une demande de débit donnée



Principe du calcul pour une demande de débit donnée



Principe du calcul pour une demande de débit donnée

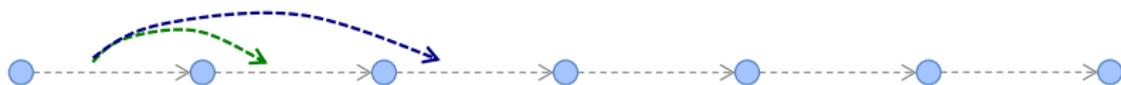


Effet domino



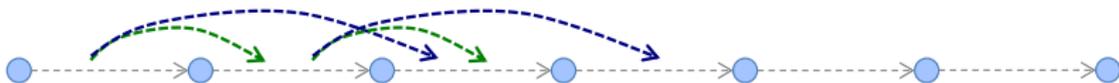
- Impact direct et indirect des allocations relatives au lien 1
- Décomposition en 2^L sous-ensembles

Effet domino



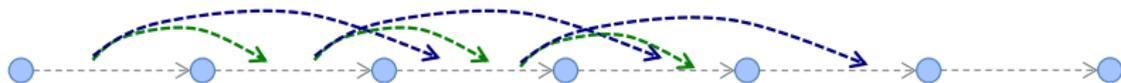
- Impact direct et indirect des allocations relatives au lien 1
- Décomposition en 2^L sous-ensembles

Effet domino



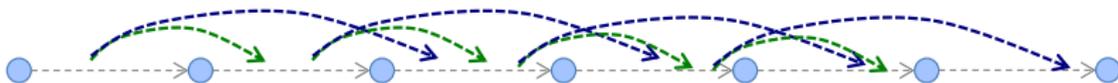
- Impact direct et indirect des allocations relatives au lien 1
- Décomposition en 2^L sous-ensembles

Effet domino



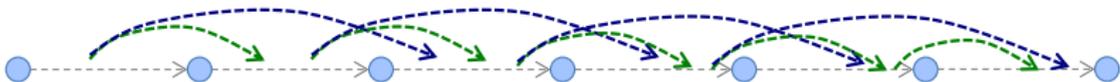
- Impact direct et indirect des allocations relatives au lien 1
- Décomposition en 2^L sous-ensembles

Effet domino



- Impact direct et indirect des allocations relatives au lien 1
- Décomposition en 2^L sous-ensembles

Effet domino

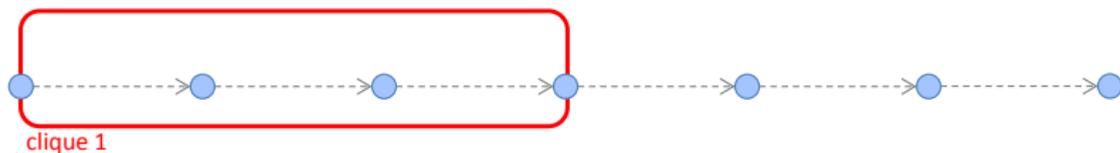


- Impact direct et indirect des allocations relatives au lien 1
- Décomposition en 2^L sous-ensembles

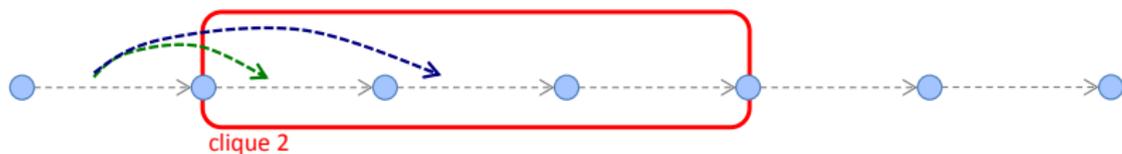
Stratégie pour rompre l'effet domino

- 1 Réaliser un calcul clique par clique
 - ▶ Impact des allocations sur les liens précédents
 - ▶ Modifications des ensembles de slots initialement disponibles
- 2 Approximation de l'impact des allocations sur les liens précédents
 - ▶ Intérêt de l'allocation aléatoire
 - ▶ Réduction de la complexité de calcul

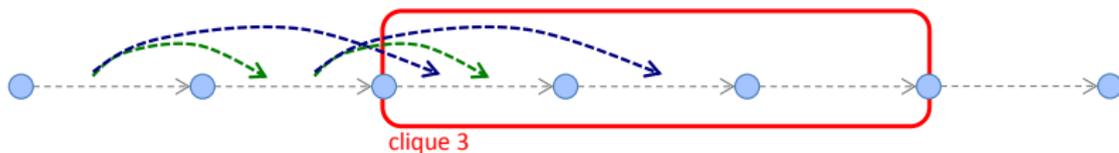
Méthode de calcul par cliques d'interférence



Méthode de calcul par cliques d'interférence

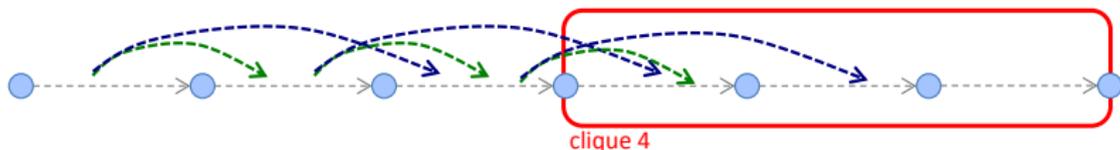


Méthode de calcul par cliques d'interférence



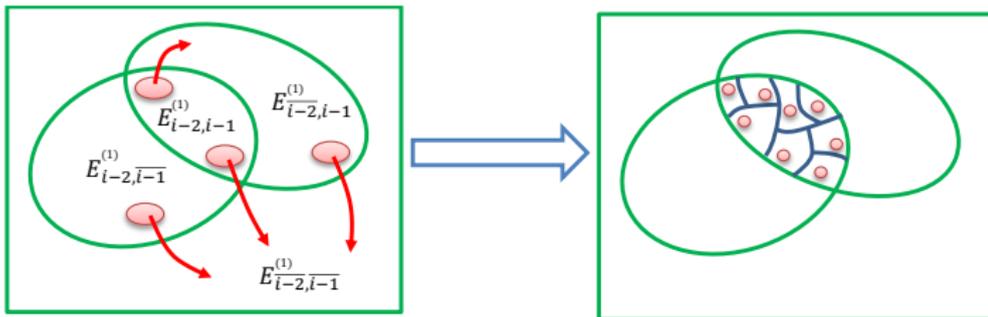
$$C_{3,4,5}^{(1)} = \underbrace{C_{1,2,3,4,5}^{(1)}}_{\text{affecté par les allocations sur } l_1 \text{ puis } l_2} + \underbrace{C_{1,\bar{2},3,4,5}^{(1)}}_{\text{affecté uniquement par les allocations sur } l_1} + \underbrace{C_{\bar{1},2,3,4,5}^{(1)}}_{\text{affecté uniquement par les allocations sur } l_2} + \underbrace{C_{\bar{1},\bar{2},3,4,5}^{(1)}}_{\text{non affecté}}$$

Méthode de calcul par cliques d'interférences



⇒ **Allocations sur les deux liens précédant la clique affectées par les réservations sur le lien 1**

Approximation relative au schéma d'allocation aléatoire



- Intérêt du schéma d'allocation aléatoire
- Lois hypergéométriques
- Nombre constant d'opérations par clique \Rightarrow **Complexité polynomiale**

Plan de la présentation

- 1 **Contrôle d'admission dans les réseaux ad-hoc de radios cognitives**
 - Architecture considérée
 - Problème d'estimation du débit
 - Algorithme de calcul BRAND
 - **Version distribuée de BRAND**
 - Résultats
- 2 **Nombre moyen de transmissions dans les réseaux de radios cognitives**
 - Métrique ETX
 - Plateforme expérimentale
 - Efficacité de la métrique ETX
 - COExiST (COgnitive radio EXpected transmiSSion counT)
 - Évaluation de COExiST en environnement réel
- 3 **Conclusions et Perspectives**
 - Résumé
 - Perspectives

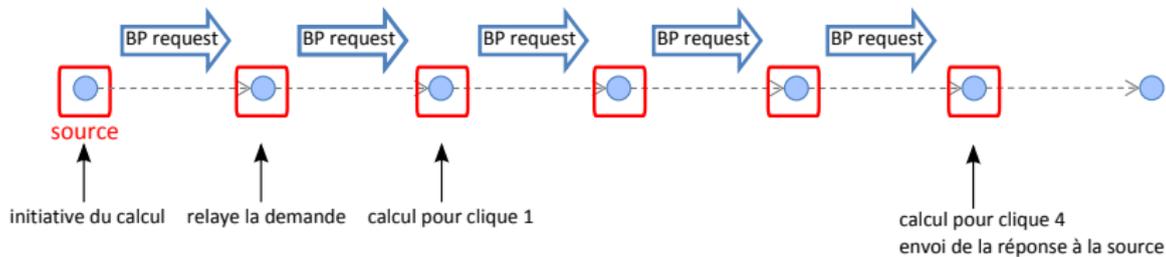
BRAND peut être implanté de manière distribuée

Algorithm 2: BRAND

Output : The available end-to-end bandwidth

```
1: begin
2:   for every possible demand  $d$  do
3:     // Based on RANDOM Scheduling
4:      $avThput \leftarrow \text{Compute-averageThput}(d)$ ;
5:     if  $avThput > AvailBW$  then
6:        $AvailBW \leftarrow avThput$ ;
7:   Return  $AvailBW$  ;
```

Version distribuée de BRAND



- Calcul différé pour du routage bond-par-bond
- Preuve de l'algorithme
- Complexité polynomiale

Plan de la présentation

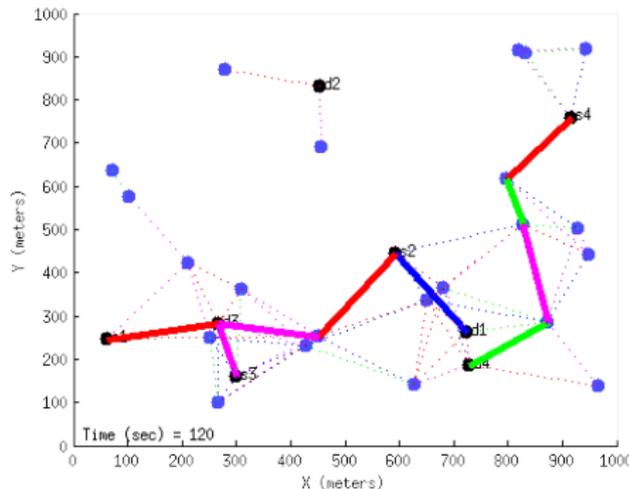
- 1 **Contrôle d'admission dans les réseaux ad-hoc de radios cognitives**
 - Architecture considérée
 - Problème d'estimation du débit
 - Algorithme de calcul BRAND
 - Version distribuée de BRAND
 - **Résultats**

- 2 Nombre moyen de transmissions dans les réseaux de radios cognitives
 - Métrique ETX
 - Plateforme expérimentale
 - Efficacité de la métrique ETX
 - COExiST (COgnitive radio EXpected transmiSsion counT)
 - Évaluation de COExiST en environnement réel

- 3 Conclusions et Perspectives
 - Résumé
 - Perspectives

Environnement de simulation

- Analyse numérique sur MATLAB
- 30 nœuds
- Zone $1000\text{m} \times 1000\text{m}$
- Activité aléatoire des utilisateurs primaires
- Multiples paires source-destination
- **Slots déjà réservés \Rightarrow Modèle Bernoulli**



Éléments de comparaison

Allocation de slots optimale

- Programme linéaire en nombres entiers
- Utilisation du solver *lpsolve*

Heuristique centralisée (adaptée aux réseaux de radios cognitives)

- Proposée par M. Kodialam en 2005
- Relaxation du programme linéaire en nombre entiers
- Proposée comme référence mais ne pouvant pas être implantée

Heuristique distribuée (non adaptable aux réseaux de radios cognitives)

- Proposée par C. Zhu en 2002
- Optimisation locale de l'allocation de slots
- Considère des débits constants
- Montre l'intérêt d'une nouvelle approche orientée vers la radio cognitive

Évaluation de BRAND

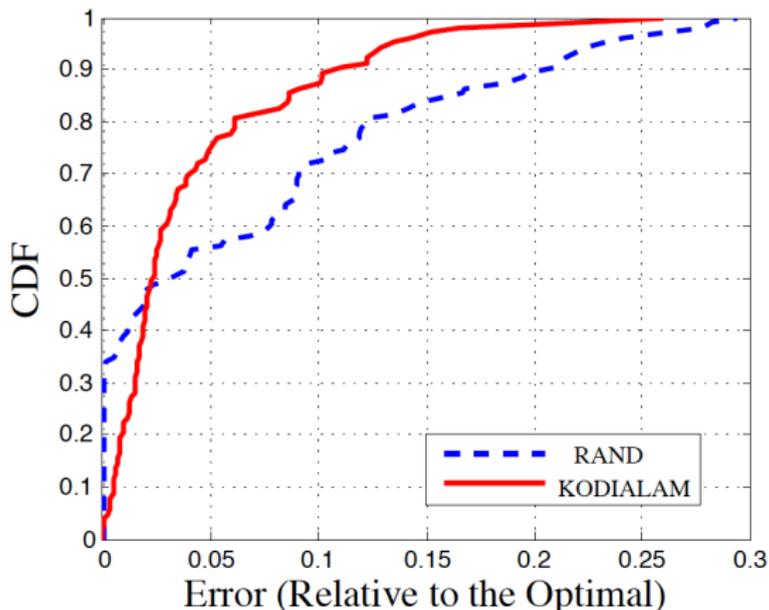
- 1 Performances de l'allocation aléatoire
- 2 Précision du calcul du débit de sortie moyen
- 3 Efficacité de BRAND pour estimer la capacité résiduelle de bout en bout

Algorithm 3: BRAND

Output : The available end-to-end bandwidth
begin

```
1: begin  
2:   for every possible demand d do  
3:     // Based on RANDOM Scheduling  
4:     avThput ← Compute-averageThput (d);  
5:     if avThput > AvailBW then  
6:       AvailBW ← avThput;  
7:   Return AvailBW ;
```

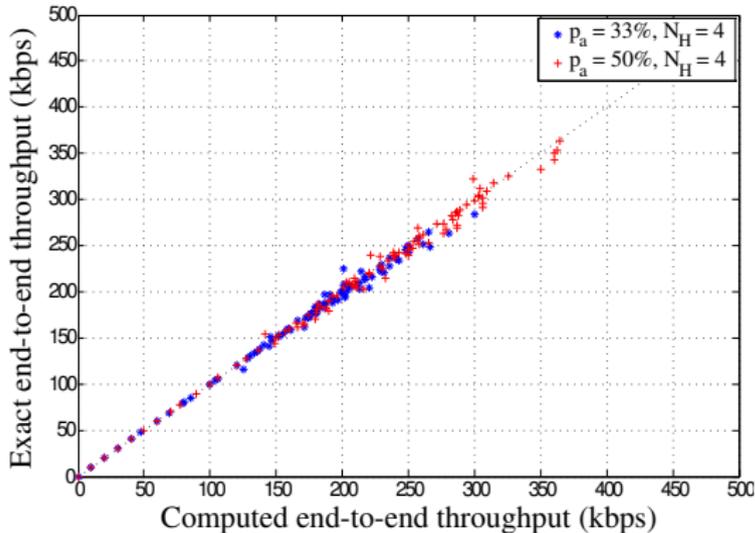
Performances de l'allocation aléatoire



- Écart à l'optimal
- 4 paires source-destination
- 500 simulations

⇒ Écart à l'optimal inférieur à 30%

Précision du calcul du débit moyen de sortie



Pour un ensemble de demandes en entrée :

- Estimation par la méthode des cliques en abscisse
- Simulation d'une allocation RAND en ordonnée
- Proportion de slots disponibles à 33 % et 50 %

⇒ **Calcul précis quelle que soit la répartition des slots disponibles**

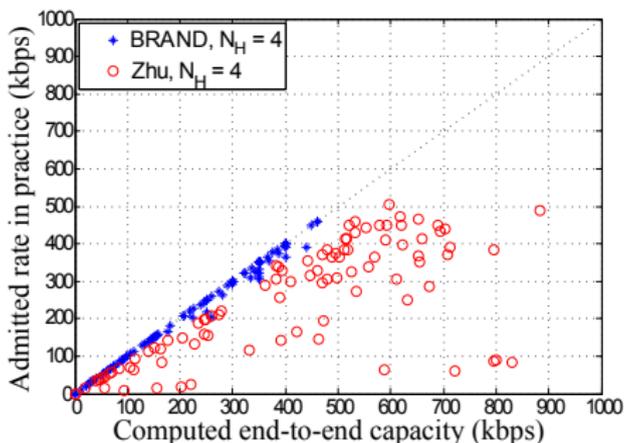
Efficacité de BRAND pour estimer la capacité résiduelle de bout en bout

Méthodologie :

- 1 Estimation de la capacité résiduelle de bout en bout par BRAND
⇒ Débit maximal estimé $Computed_{BRAND}$
- 2 Réalisation d'une allocation réelle avec une demande $Computed_{BRAND}$
⇒ Débit de sortie admis $Admitted_{BRAND}$
- 3 Comparaison $Computed_{BRAND}$ et $Admitted_{BRAND}$

Même procédé avec l'heuristique distribuée proposée par Zhu

Efficacité de BRAND pour estimer la capacité résiduelle de bout en bout



- PU actifs (10%)
- Débits variables

⇒ Ne pas tenir compte de la variabilité des débits et de l'activité des PU peut être très pénalisant (taux d'admission 12.5% pour Zhu)

Plan de la présentation

- 1 **Contrôle d'admission dans les réseaux ad-hoc de radios cognitives**
 - Architecture considérée
 - Problème d'estimation du débit
 - Algorithme de calcul BRAND
 - Version distribuée de BRAND
 - Résultats
- 2 **Nombre moyen de transmissions dans les réseaux de radios cognitives**
 - **Métrique ETX**
 - Plateforme expérimentale
 - Efficacité de la métrique ETX
 - COExiST (COgnitive radio EXpected transmiSSion counT)
 - Évaluation de COExiST en environnement réel
- 3 **Conclusions et Perspectives**
 - Résumé
 - Perspectives

Utilité du nombre moyen de transmissions

- Caractérise les erreurs de transmission sur un lien
- Effet sur le délai de transmission d'un datagramme
- Estimé par la métrique ETX

⇒ **Qualité d'un lien**

- Métrique additive
- Applicable à un chemin

⇒ **Métrique de routage**

- Utilisée comme base de métriques de routage sophistiquées
- Utilisée pour la sélection des MPR dans OLSR

⇒ **Métrique de référence**

Principes de la métrique ETX dans le contexte des radios cognitives

S'appuie sur un modèle :

- Indépendance des erreurs de transmission
- Nombre illimité de retransmissions possible

$$ETX = \frac{1}{1 - PER}$$

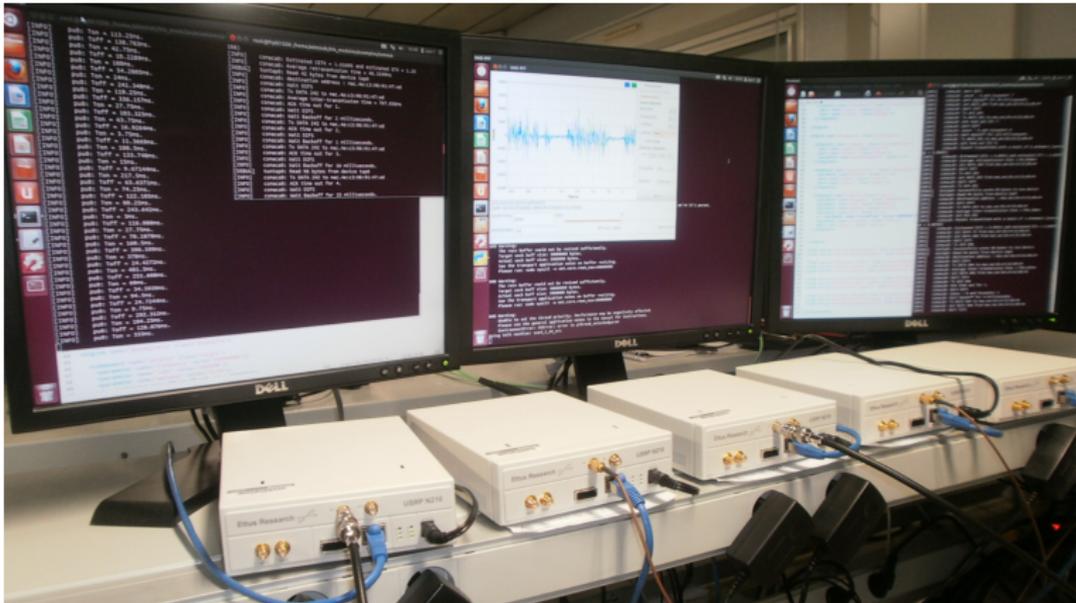
- Mesure du PER par envoi périodique de paquets en broadcast

⇒ **Effet des utilisateurs primaires sur l'indépendance des erreurs ?**

Plan de la présentation

- 1 Contrôle d'admission dans les réseaux ad-hoc de radios cognitives
 - Architecture considérée
 - Problème d'estimation du débit
 - Algorithme de calcul BRAND
 - Version distribuée de BRAND
 - Résultats
- 2 Nombre moyen de transmissions dans les réseaux de radios cognitives
 - Métrique ETX
 - **Plateforme expérimentale**
 - Efficacité de la métrique ETX
 - COExiST (COgnitive radio EXpected transmiSSion counT)
 - Évaluation de COExiST en environnement réel
- 3 Conclusions et Perspectives
 - Résumé
 - Perspectives

Mise en place d'une plateforme expérimentale



- Radios logicielles USRP N210 de Ettus Research
- Cartes RF SBX 400-4400MHz

Architecture protocolaire pour les utilisateurs secondaires

- Système Ubuntu 12.04 LTS 64 bits
- Architecture IRIS (Sutton 2010)
 - ▶ LGPLv3 (février 2013)
 - ▶ C++ (dev) / XML (conf)
 - ▶ Reconfiguration temps-réel
 - ▶ Modules couche PHY
- Services IP
- Implantation libre de OLSR

Nos principaux développements

- Couche MAC de type 802.11
- Spectrum sensing

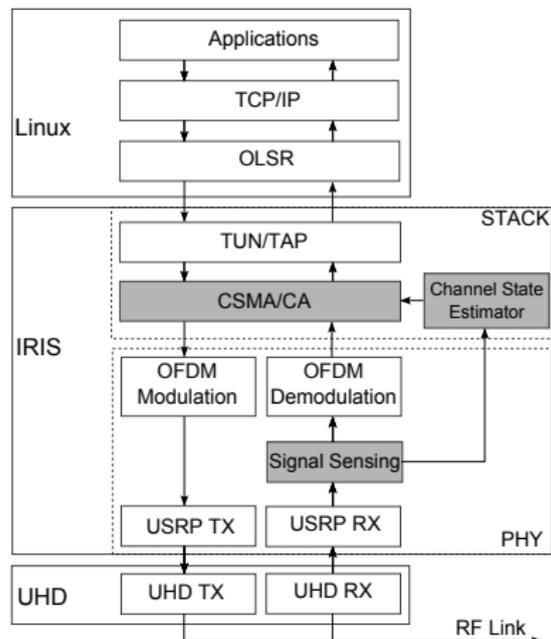
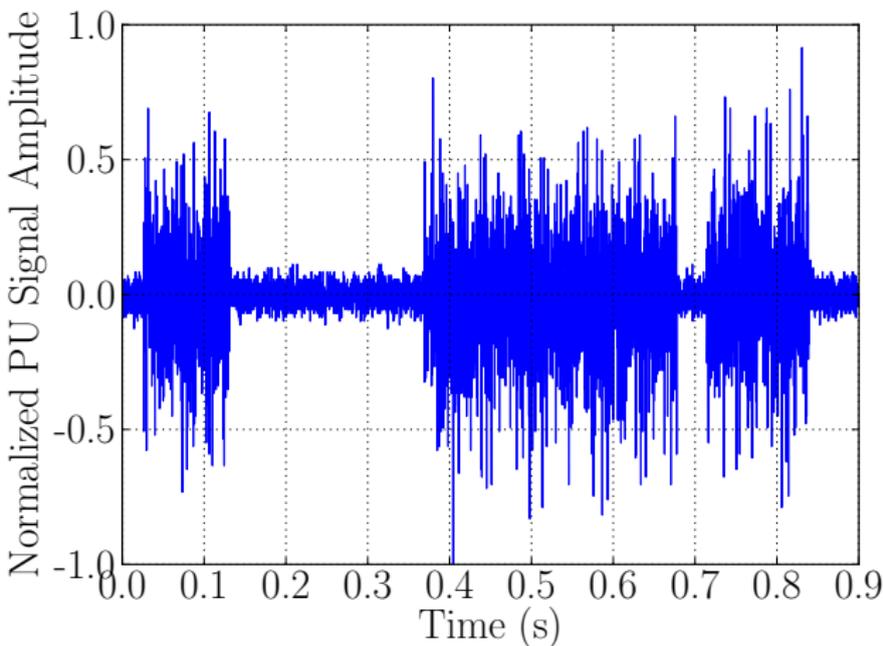


Schéma d'activité des utilisateurs primaires



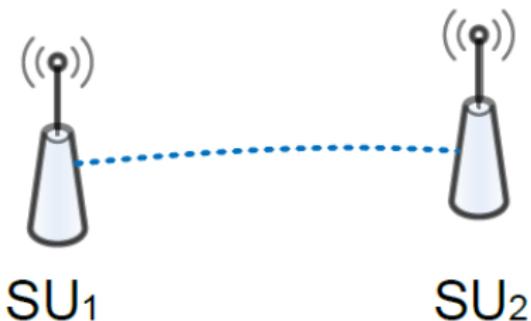
- Envoi de petits paquets (dizaines d'octets)
- Longueur de burst selon la distribution choisie

Plan de la présentation

- 1 Contrôle d'admission dans les réseaux ad-hoc de radios cognitives
 - Architecture considérée
 - Problème d'estimation du débit
 - Algorithme de calcul BRAND
 - Version distribuée de BRAND
 - Résultats
- 2 Nombre moyen de transmissions dans les réseaux de radios cognitives
 - Métrique ETX
 - Plateforme expérimentale
 - **Efficacité de la métrique ETX**
 - COExiST (COgnitive radio EXpected transmiSSion counT)
 - Évaluation de COExiST en environnement réel
- 3 Conclusions et Perspectives
 - Résumé
 - Perspectives

Comprendre l'impact des utilisateurs primaires

Expériences sur un lien :

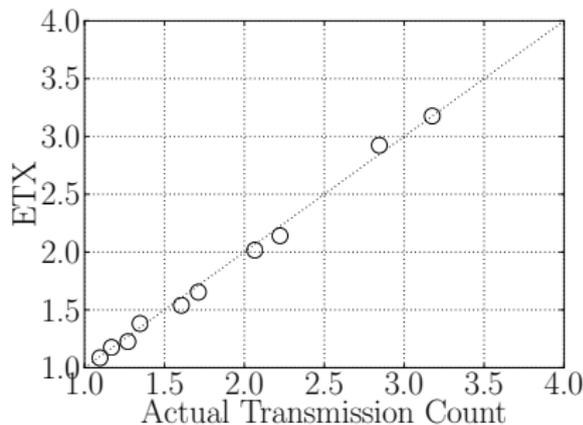


- Couche MAC de type 802.11
- ETX collectée par OLSR
- Nombre moyen de transmissions mesuré au niveau MAC

Comprendre l'impact des utilisateurs primaires



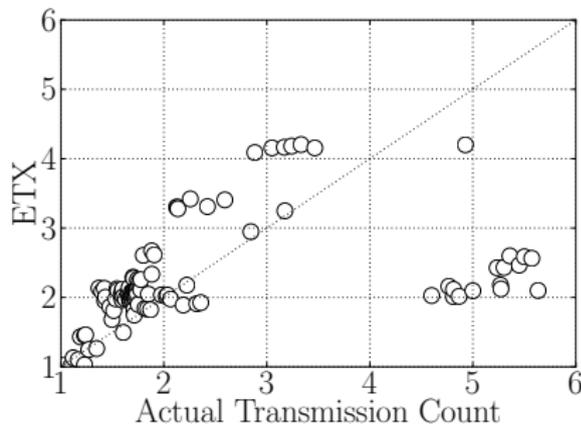
- SU interférant
- Coordination MAC



Comprendre l'impact des utilisateurs primaires



- PU interférant
- Pas de coordination MAC



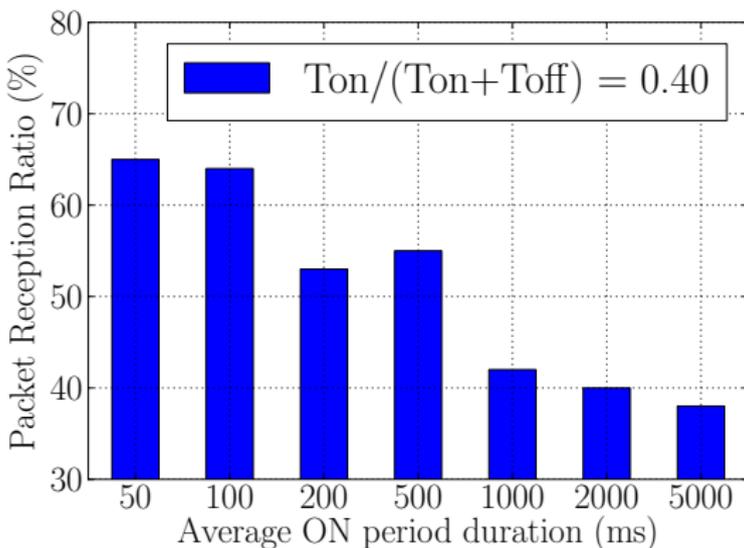
⇒ **ETX ne suffit plus pour estimer le nombre moyen de transmissions**

Approche directe pour corriger ETX (SAMER 2008)

- Interférences PU-SU = source d'erreurs indépendantes
- Utiliser la proportion de temps d'activité des PU

$$\mathbb{E}[N] = \frac{\text{ETX}}{1 - u} \quad \text{avec} \quad u = \frac{\bar{T}_{on}}{\bar{T}_{on} + \bar{T}_{off}}$$

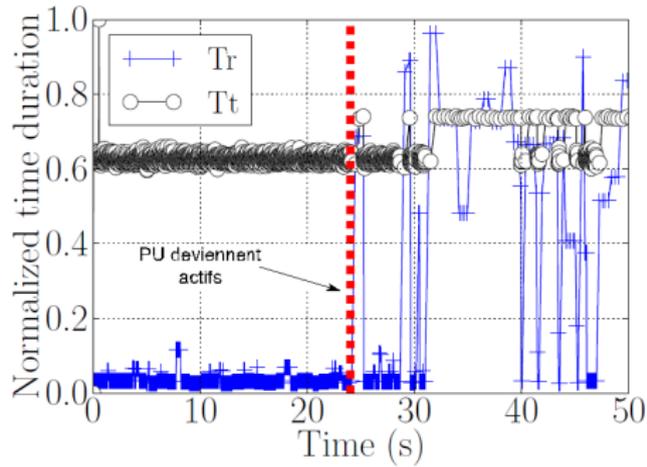
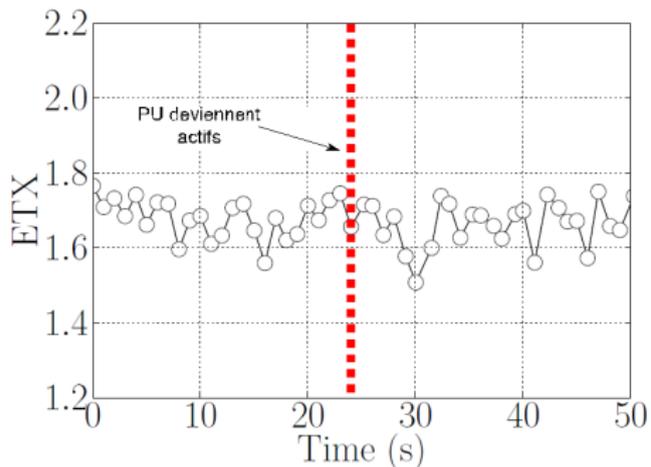
Validité de l'approche directe pour corriger ETX



- Niveau d'activité des PU constant et durée d'activité variable
- ETX / SAMER invariantes \Leftrightarrow PRR variable

\Rightarrow **Impact de la durée d'activité des PU**

Comment capturer l'impact de l'activité des utilisateurs primaires ?



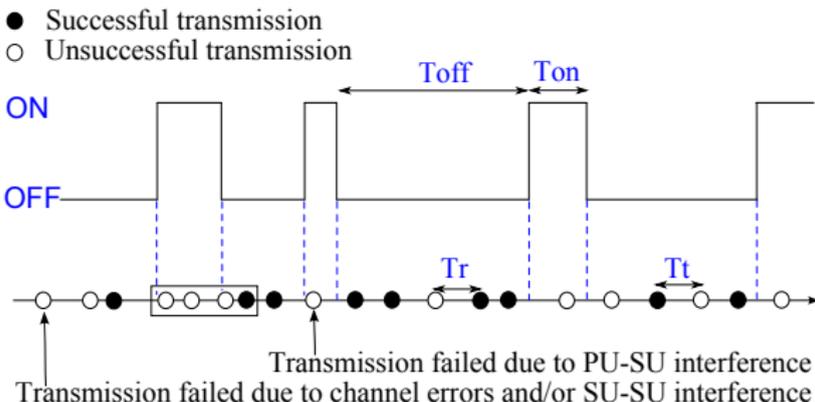
- T_r = Durée entre deux retransmissions successives
- T_t = Durée entre la dernière transmission du paquet n et la première transmission du paquet $n + 1$

⇒ **Deux métriques sensibles**

Plan de la présentation

- 1 **Contrôle d'admission dans les réseaux ad-hoc de radios cognitives**
 - Architecture considérée
 - Problème d'estimation du débit
 - Algorithme de calcul BRAND
 - Version distribuée de BRAND
 - Résultats
- 2 **Nombre moyen de transmissions dans les réseaux de radios cognitives**
 - Métrique ETX
 - Plateforme expérimentale
 - Efficacité de la métrique ETX
 - **COExiST (COgnitive radio EXpected transmiSSion counT)**
 - Évaluation de COExiST en environnement réel
- 3 **Conclusions et Perspectives**
 - Résumé
 - Perspectives

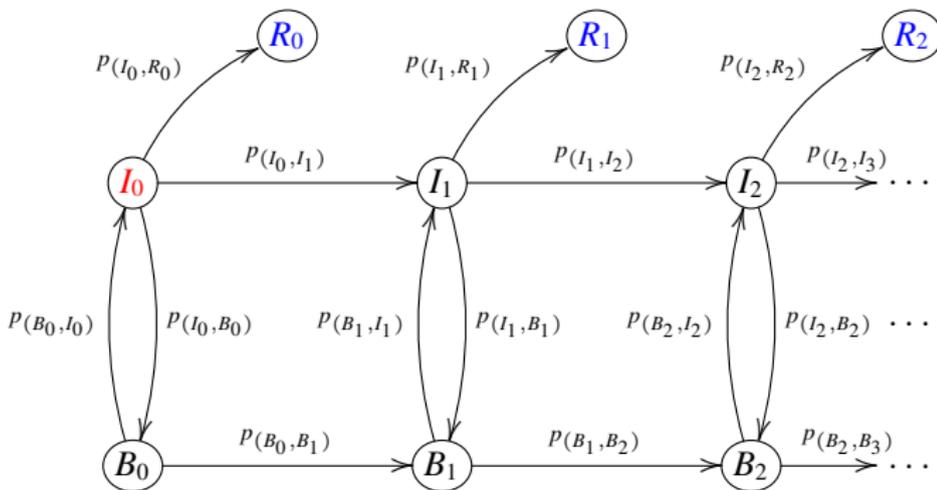
COExiST (COgnitive radio EXpected transmISSION counT)



- Activité des PU = fonction ON/OFF
- Durées T_r , T_t , T_{on} et T_{off} exponentiellement distribuées
- Nombre illimité de retransmissions possible

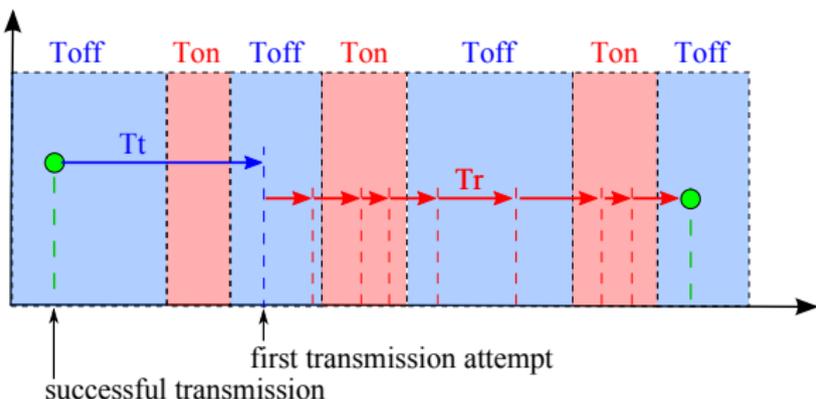
⇒ **Deux méthodes de résolution**

Méthode 1 : Résolution d'une chaîne de Markov à temps discret



- État $R_k \Rightarrow$ Nombre de retransmissions
- Distribution du nombre de retransmissions
- Résolution d'une suite récurrente d'ordre 2

Méthode 2 : Calcul direct de valeurs moyennes



- Probabilité première tentative durant une période d'inactivité

$$\frac{\lambda_t + \lambda_{on}}{\lambda_t + \lambda_{on} + \lambda_{off}}$$

- Nombre moyen de transmissions sachant première tentative durant une période d'inactivité

$$\frac{1}{p_s^{off} (1 - u)} - \frac{u}{1 - u}$$

Expression de COExiST

COExiST en fonction des paramètres du modèle

$$\text{COExiST} = \frac{1}{p_s^{\text{off}}(1-u)} + \frac{u}{\bar{T}_r} \times \frac{\bar{T}_t - \bar{T}_r}{\bar{T}_t/\bar{T}_{on} + 1 - u} \quad (1)$$

Expression pratique de COExiST

$$\text{COExiST} = \text{ETX} + \frac{u}{\bar{T}_r} \times \frac{\bar{T}_t - \bar{T}_r}{\bar{T}_t/\bar{T}_{on} + 1 - u} \quad (2)$$

Expression de COExiST

COExiST en fonction des paramètres du modèle

$$\text{COExiST} = \frac{1}{p_s^{\text{off}}(1-u)} + \frac{u}{\bar{T}_r} \times \frac{\bar{T}_t - \bar{T}_r}{\bar{T}_t/\bar{T}_{on} + 1 - u} \quad (1)$$

Expression pratique de COExiST

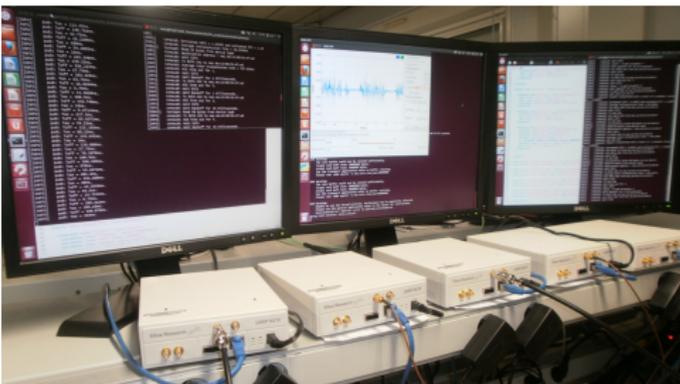
$$\text{COExiST} = \text{ETX} + \frac{u}{\bar{T}_r} \times \frac{\bar{T}_t - \bar{T}_r}{\bar{T}_t/\bar{T}_{on} + 1 - u} \quad (2)$$

Plan de la présentation

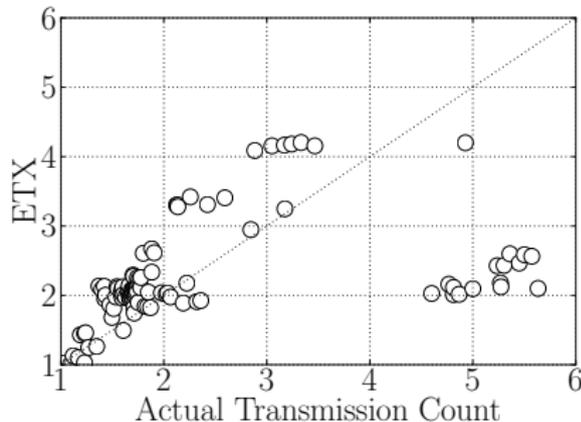
- 1 **Contrôle d'admission dans les réseaux ad-hoc de radios cognitives**
 - Architecture considérée
 - Problème d'estimation du débit
 - Algorithme de calcul BRAND
 - Version distribuée de BRAND
 - Résultats
- 2 **Nombre moyen de transmissions dans les réseaux de radios cognitives**
 - Métrique ETX
 - Plateforme expérimentale
 - Efficacité de la métrique ETX
 - COExiST (COgnitive radio EXpected transmiSSion counT)
 - **Évaluation de COExiST en environnement réel**
- 3 **Conclusions et Perspectives**
 - Résumé
 - Perspectives

Évaluation de la métrique COExiST

- COExiST fonction de ETX
- ETX collectée dans OLSR
- Métrique additive combinée à l'algorithme de Dijkstra

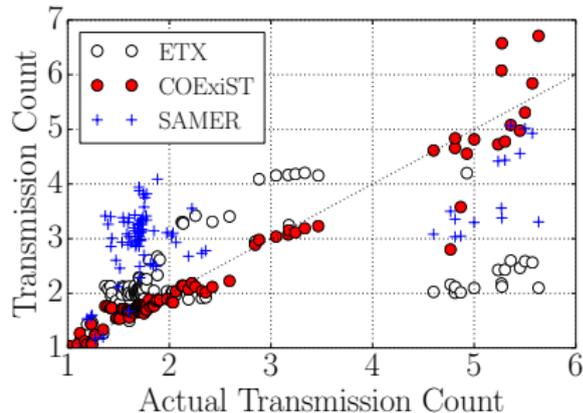


Précision de la métrique COExiST



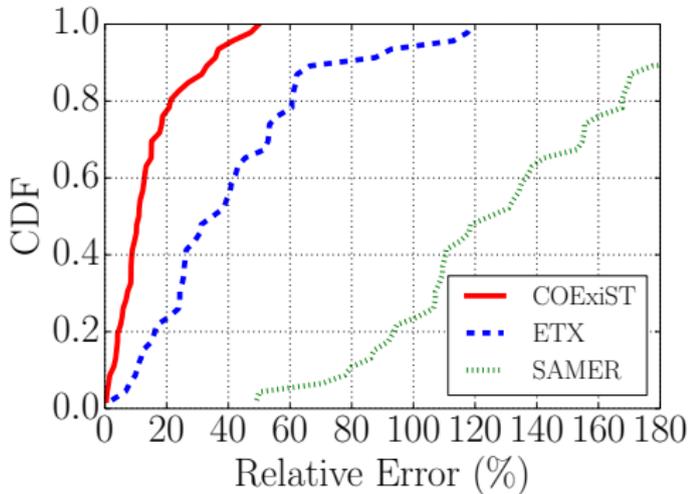
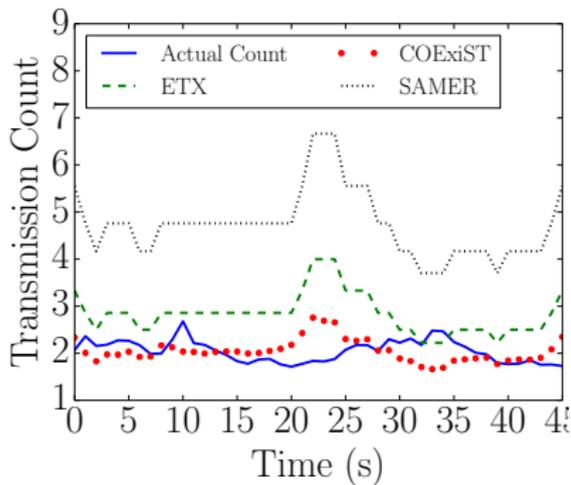
- Cas d'étude identique au précédent
- Variation de l'activité des PU
- Variation de la probabilité de succès en période d'inactivité

Précision de la métrique COExiST

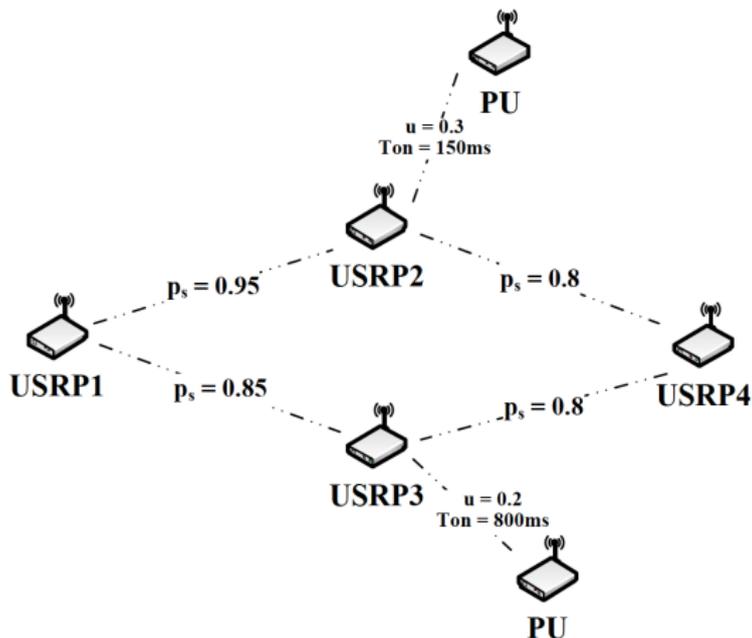


- Cas d'étude identique au précédent
- Variation de l'activité des PU
- Variation de la probabilité de succès en période d'inactivité

COExiST surpasse l'approche d'adaptation directe de ETX



Utilisation de COExiST comme métrique de routage



Path	ETX	SAMER	COExiST	Throughput (kbps)
1-2-4	3.51	5.01	3.48	165.24
1-3-4	3.21	4.01	3.67	141.12

Plan de la présentation

- 1 Contrôle d'admission dans les réseaux ad-hoc de radios cognitives
- 2 Nombre moyen de transmissions dans les réseaux de radios cognitives
- 3 Conclusions et Perspectives**
 - Résumé
 - Perspectives

Résumé

- Métriques de Qualité de Service pour la radio cognitive
 - Hiérarchie entre utilisateurs primaires et secondaires
-
- Étude du schéma d'allocation aléatoire
 - Algorithme BRAND pour le calcul du débit de bout en bout
 - ▶ Distribué
 - ▶ Complexité polynomiale
-
- Plateforme de test pour les réseaux ad hoc de radios cognitives
 - Développements MAC sur USRP N210
-
- Évaluation de ETX pour estimer le nombre de transmissions par paquet
 - Proposition de la métrique COExiST
 - ▶ Fonction de ETX
 - ▶ Compatible avec tout protocole de routage s'appuyant sur Dijkstra

Perspectives

- Architecture standard pour le routage à Qualité de Service dans les réseaux tactiques hétérogènes
 - Routage multi-contrainte
 - Contrôle d'admission de bout en bout dans ces réseaux
-
- Borne de performance pour le schéma d'allocation aléatoire
 - Utilisation du modèle d'interférences physique
-
- Évaluation des performances de COExiST à plus grande échelle
 - Approximation des paramètres de COExiST

Questions ?