



SEMINAIRES SCEE

Gestion dynamique du spectre dans les réseaux hybrides

Supélec

Rennes, 10 avril 2008

Jad Nasreddine, UPC

Plan de la présentation

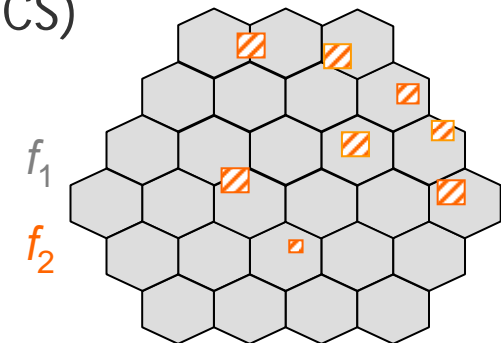
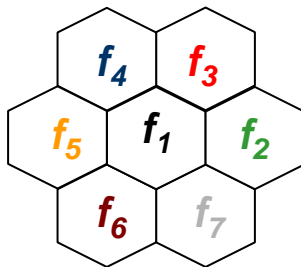
- **Introduction**
- Coexistence de réseaux primaires et secondaires
- Gestion dynamique du spectre
- Conclusions

Allocation actuelle du spectre

Allocation spectre-technologie



- avantages : simplicité et contrôle d'interférence
 - inconvénient : allocation fixe à très long terme (années)
- ## Allocation du spectre dans les différentes technologies cellulaires
- allocation suivant un modèle fixe de réutilisation de fréquences
- ou
- allocation du spectre selon les types de service (HCS)



Distribution de trafic

- La distribution du trafic
 - pour des différentes technologies peut être non-correlée dans le temps et l'espace (TV, UMTS, WiFi, ...)
 - variable dans le temps et l'espace pour chaque technologie
- Certaines bandes du spectre
 - sont saturées
 - et
 - d'autres sont quasiment non utilisées
- Cette allocation fixe mène à
 - dégradation du niveau de QoS
 - diminution de profit des opérateurs
 - augmentation dans la radiation électromagnétique

Allocation actuelle du spectre / Distribution de trafic

- Allocation spectre-technologie
 - allocation fixe à très long-terme (années)
- Allocation du spectre dans les différentes technologies cellulaires
 - allocation suivant un plan de réutilisation de fréquences
 - ou
 - allocation du spectre en fonction des types de service
- Allocations de spectre différentes dans des différents pays

Non conforme avec la distribution du trafic

Conclusions ...

- Les réseaux radios sont limités par la performance des algorithmes d'accès et non pas par la non-existence du spectre (FCC)*

**« Réseaux de futur »
Gestion dynamique du spectre**

Alocation flexible
du spectre

Régulateurs

Architectures et
Algorithmes

Opérateurs

Nouvelles
technologies

Constructeurs

* FCC, Spectrum Policy Task Force "Report of the Spectrum Efficiency Working Group," November 15, 2002.

Technologies permettant la nouvelle ère

■ Radios cognitifs

Les radios cognitifs sont des radios qui sont capables d'utiliser le spectre libéré par les différentes technologies sans introduire d'interférences

flexibilité

agilité

détection

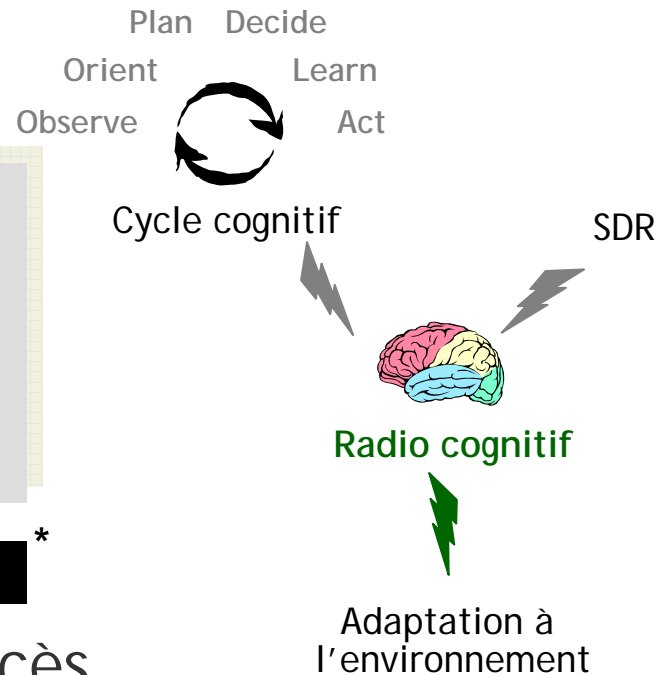
réseau*

■ Nouvelles technologies d'accès

- UWB: puissance de transmission très faible → **coexistence sans interférence gênant**
- ...

■ Techniques de positionnement intégrées dans les mobiles

- GPS, Galellio, etc.



* Bruce Fette, Cognitive Radio Technology, Elsevier, 2006

Évolution possible

Coordinated Spectrum Access

Partage du spectre entre systèmes centralisés
Pas de priorité

Réseaux primaires et secondaires

Accès opportuniste des secondaires
Priorité des primaires sur les secondaires

Spectre totalement partagé

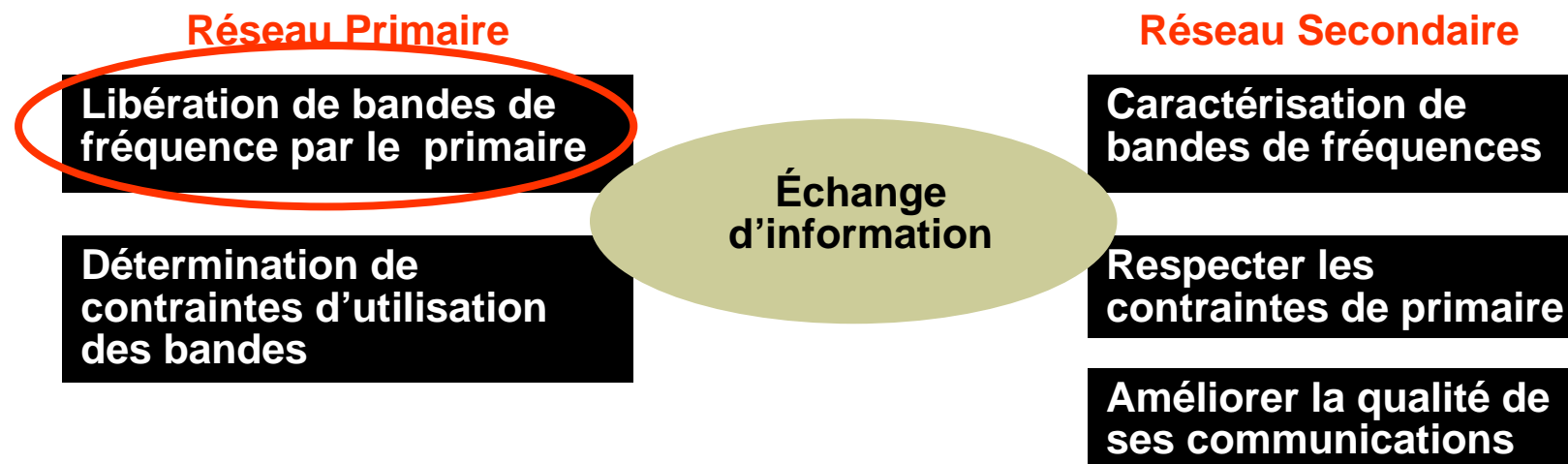
Accès opportuniste
Pas de priorité

Plan de la présentation

- Introduction
- Coexistence de réseaux primaires et secondaires
- Gestion dynamique du spectre
- Conclusions

Contexte

- Réseau primaire : possède la licence d'utiliser une bande de fréquence
- Réseau secondaire : peut utiliser une bande de fréquence quand le réseau primaire la libère
- Deux questions essentielles:
 - Comment le primaire **libère** une bande et comment il peut déterminer les **contraintes** sur la transmission du secondaire?
 - Comment le secondaire peut trouver, **le plus rapidement**, les **meilleures** bandes de fréquence en **respectant les contraintes** de primaire?



Types des réseaux primaires

- Quatre catégories possibles :
 - diffusion
 - exemple: télévision
 - *sensing* : basé sur la puissance transmise (e.g. 802.22)
 - contrainte principal: détection des récepteurs est difficile
 - réseaux cellulaires
 - exemple: GSM, UMTS, CDMA-2000
 - allocation conjointe des deux voies de transmission
 - canal de contrôle
 - Contrainte: supporte un niveau déterminé d'interférence (dépend de l'allocation interne de spectre)
 - réseaux sans fils
 - exemple: WiFi
 - canal de contrôle
 - Contraintes:
 - supporte un niveau déterminé d'interférence (dépend de l'allocation interne de spectre)
 - accès opportuniste au spectre
 - Réseau *push-to-talk*
 - Le récepteur est toujours en écoute même s'il n'y a pas de transmission

Détermination de contraintes d'utilisation des bandes

- Définir le niveau acceptable d'interférence par zone géographique
 - static
 - IEEE 802.22
 - dynamique
 - *spectrum usage right* : OFCOM
 - *interference temperature* : FCC (rejeté)

- Détecter les niveaux d'interférence non acceptable venant du réseau secondaire

- Communication des informations au réseau secondaire
 - canal de contrôle

Réseaux secondaires

- Avantages
 - augmenter l'efficacité d'utilisation du spectre
 - utiliser les bandes de spectre libre sans besoin d'acheter une licence à long terme → **augmenter le profit du secondaire**
 - le primaire peut être payé par le secondaire → **augmenter le profit du primaire**

- Défis
 - la gestion d'interférence peut être distribuée
 - réseaux coopératifs
 - réseaux primaires utilisant des différentes technologies avec des différentes contraintes
 - complexité des algorithmes de balayage de spectre
 - problèmes de sécurité
 - problèmes de tarification

Types d'échange entre les deux réseaux

- Pas d'échange d'information
 - les informations connues par le réseau secondaire sont les informations fournies par le régulateur
 - niveau fixe d'interférence

- Échange limité d'information
 - à travers d'un équipement central
 - niveau dynamique d'interférence

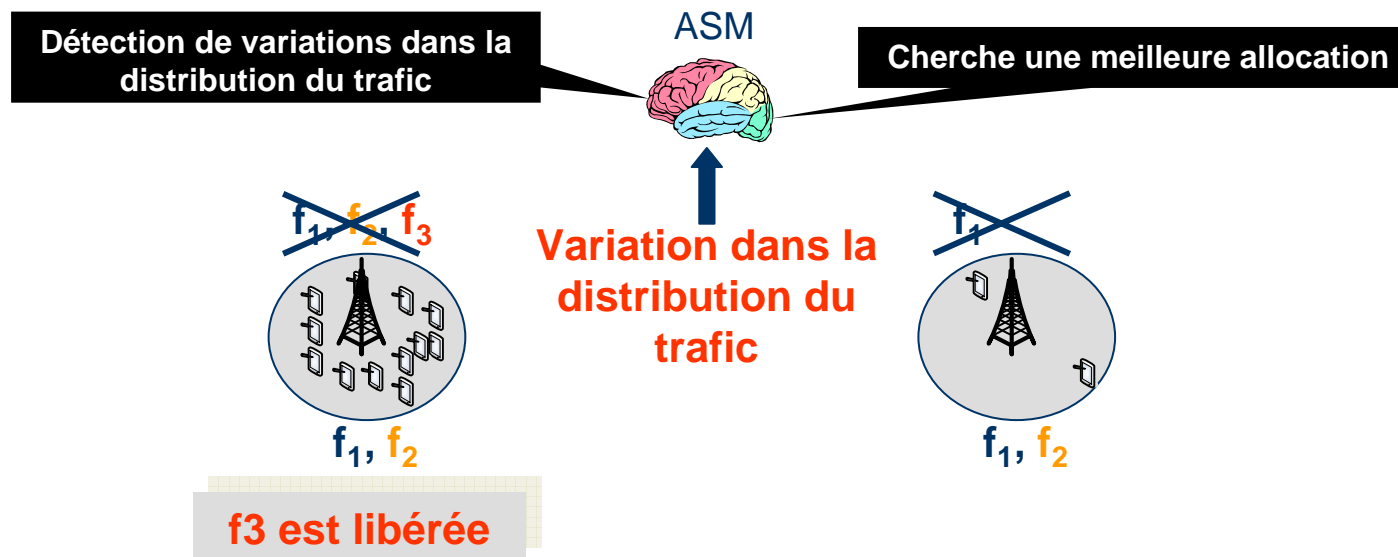
- Échange complet d'information
 - les deux réseaux appartient au même opérateur
 - informations détaillés : positions des récepteurs

Plan de la présentation

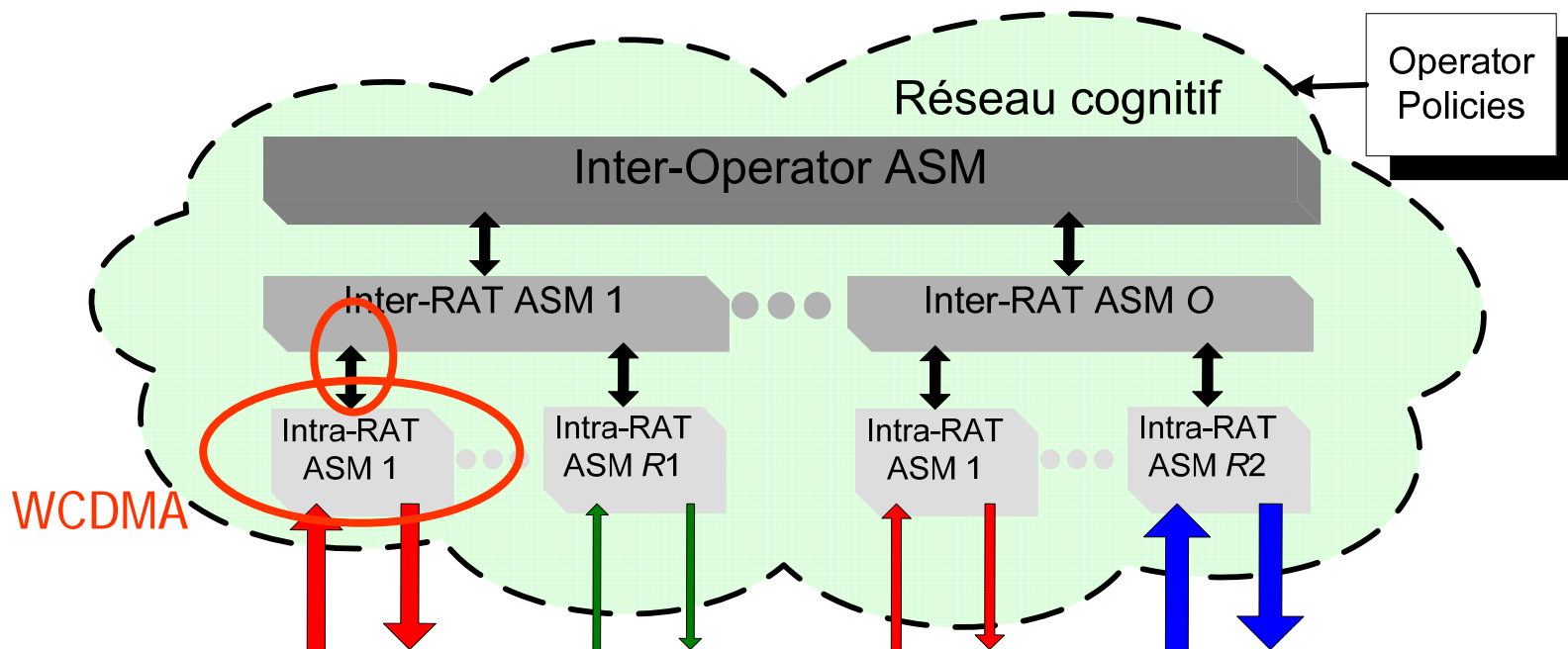
- Introduction
- Coexistence de réseaux primaires et secondaires
- **Gestion dynamique du spectre**
- Conclusions

Objectifs

- Détecter les variations importantes dans la distribution de trafic
- Trouver la meilleure allocation du spectre aux technologies et aux cellules
- Libérer localement et pendant un certain temps de bandes de spectre



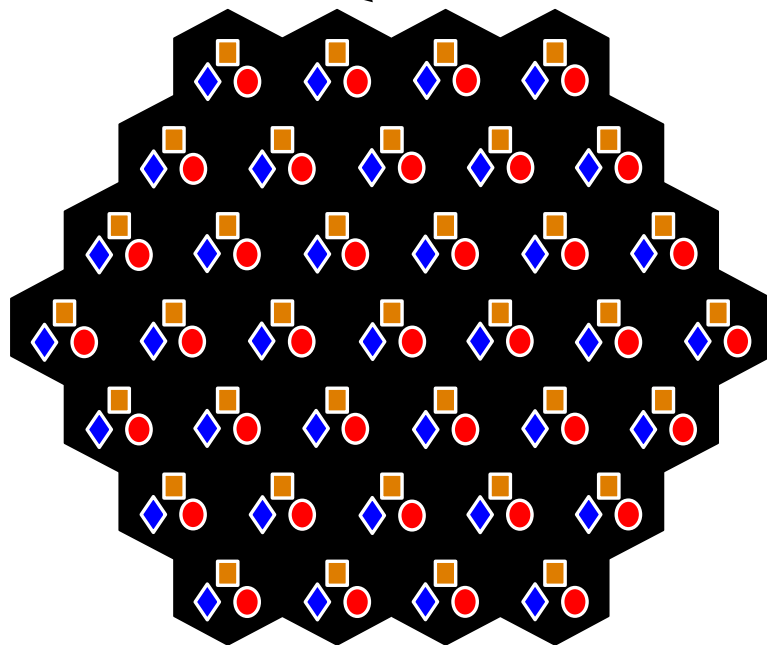
Solution hiérarchique



Exemple d'allocation de spectre

- Carrier 1 (orange square)
- Carrier 2 (red circle)
- Carrier 3 (blue diamond)

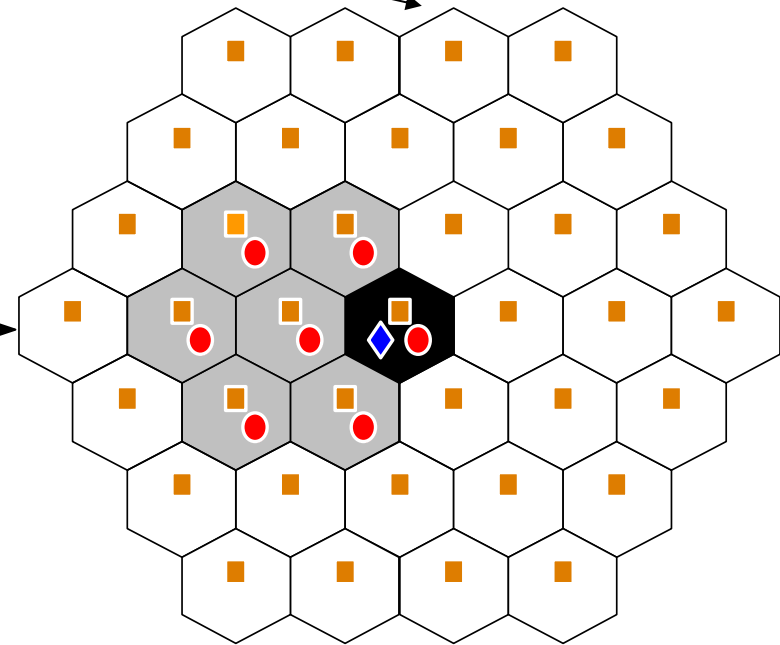
La même capacité avec la même garantie de QoS



avec une réutilisation de fréquence 1

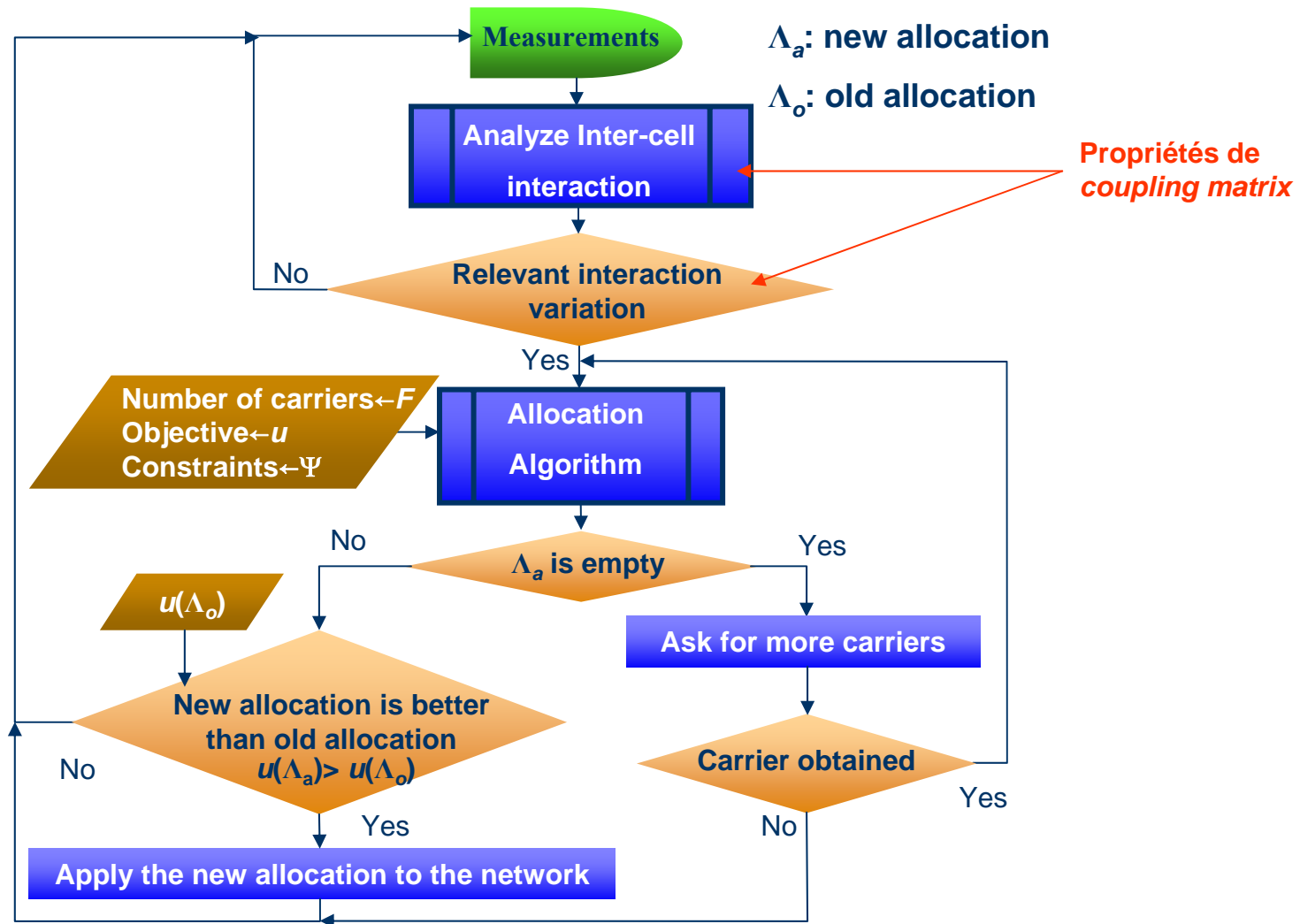
Toutes les fréquences sont utilisées

Gestion dynamique



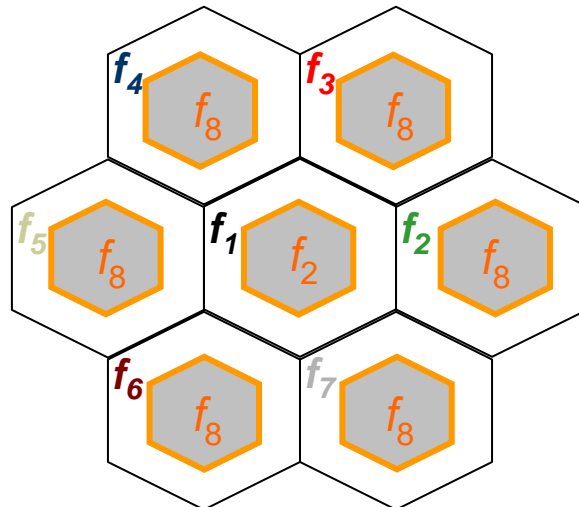
Quelques fréquences peuvent être libérées pour d'autres technologies d'accès/opérateurs ou pour un marché secondaire

Algorithme de gestion dynamique du spectre



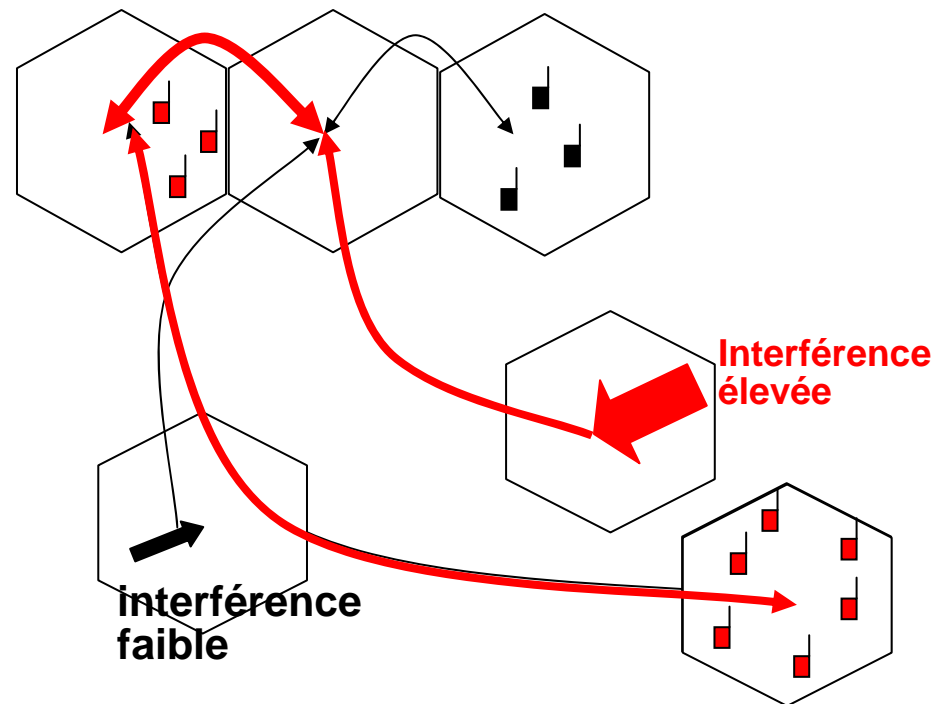
Solutions existantes

- Solutions basées sur l'estimation de charge des cellules
 - ne prend pas en compte les interactions intercellulaires
 - sous-estimation du nombre de fréquences nécessaires
- Solutions basées sur l'approximation d'interférence intercellulaire
 - rapport f entre l'interférence intercellulaire et intracellulaire est **fixe**
 - f est **fortement lié** à l'allocation du spectre
- Solutions basées sur la division des cellules en zones



Interaction intercellulaire

- Métrique difficile à estimer
 - dans les systèmes GSM, cette interaction dépend principalement de la distance entre les stations de base
 - dans les systèmes WCDMA, il dépend:
 - caractéristiques des mobiles (gain de parcours, nombre, QoS)
 - positions des cellules
 - interférence
 - charge
 - intercellulaire



Coupling matrix: notre approche

- Extension de la matrice de compatibilité utilisée dans GSM
 - matrice de compatibilité: élément $C_{j,l}$ montre la distance fréquentielle minimale entre les deux cellules j et l

- Prend en compte la particularité du système WCDMA
 - chaque fréquence est partagée entre plusieurs mobiles dans chaque cellule
 - la charge de la cellule a un impact sur les performances du système
 - contrôle de puissance
 - le nombre de fréquences nécessaires ne dépend pas seulement de la distance entre les cellules mais de l'interaction entre les cellules

Propriétés de coupling matrix

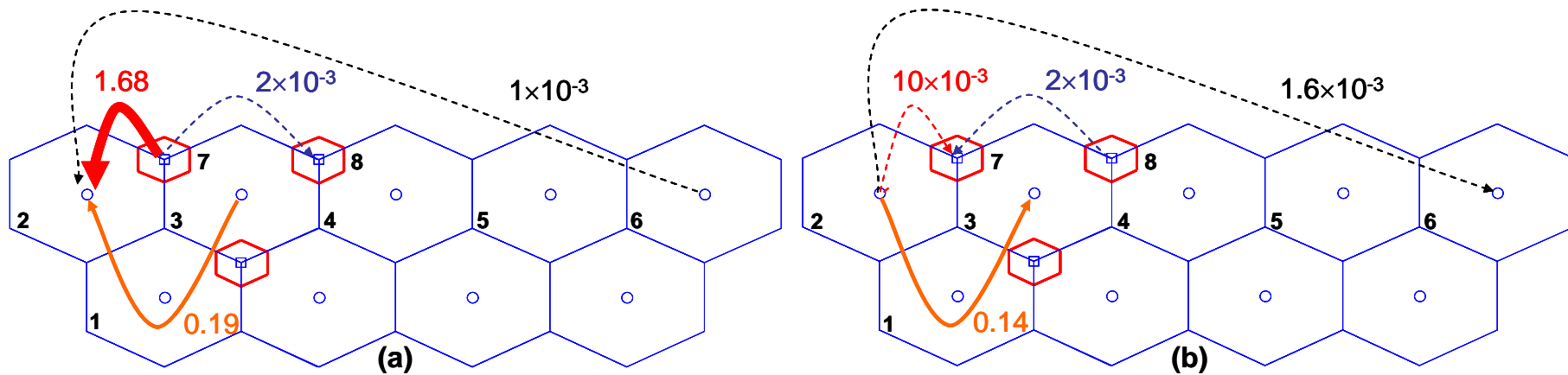
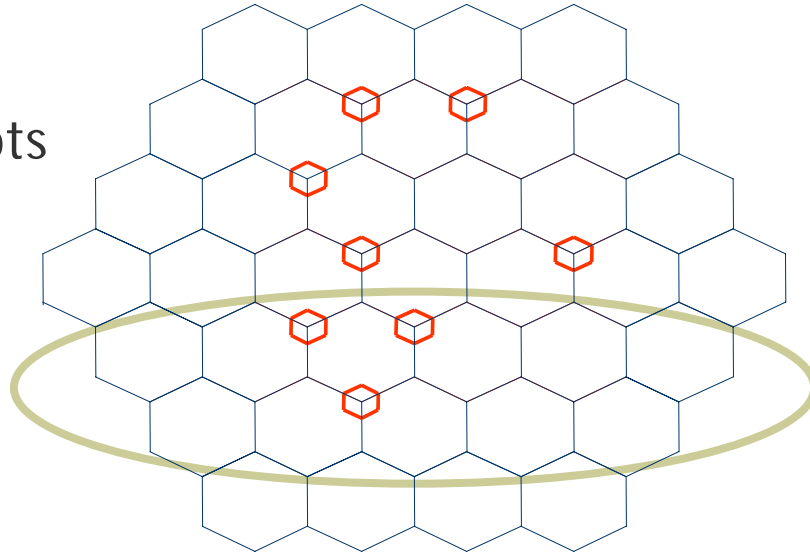
- C'est la matrice du système linéaire:

$$\mathbf{V} = \mathbf{C}^L \mathbf{V} + \mathbf{P}_N^L$$

- dans la voie descendante, l'élément $C_{j,l}$ représente l'effet des mobiles de la cellule j sur la cellule l en prenant en compte la charge de la cellule j
 - dans la voie montante, l'élément $C_{j,l}$ représente l'effet des mobiles de la cellule l sur la cellule j en prenant en compte la charge de la cellule j
- Les éléments de la matrice reflètent les propriétés microscopiques du système (interactions)
 - identifier les cellules qui ont des interactions fortes
 - Les propriétés de la matrice (rayon spectral) reflètent les propriétés macroscopiques (performance du système)
 - détecter les importantes variations dans la distribution de trafic
 - estimer les indices de performance du système pour chaque allocation (efficacité spectrale, pourcentage des utilisateurs non satisfaits, etc.)

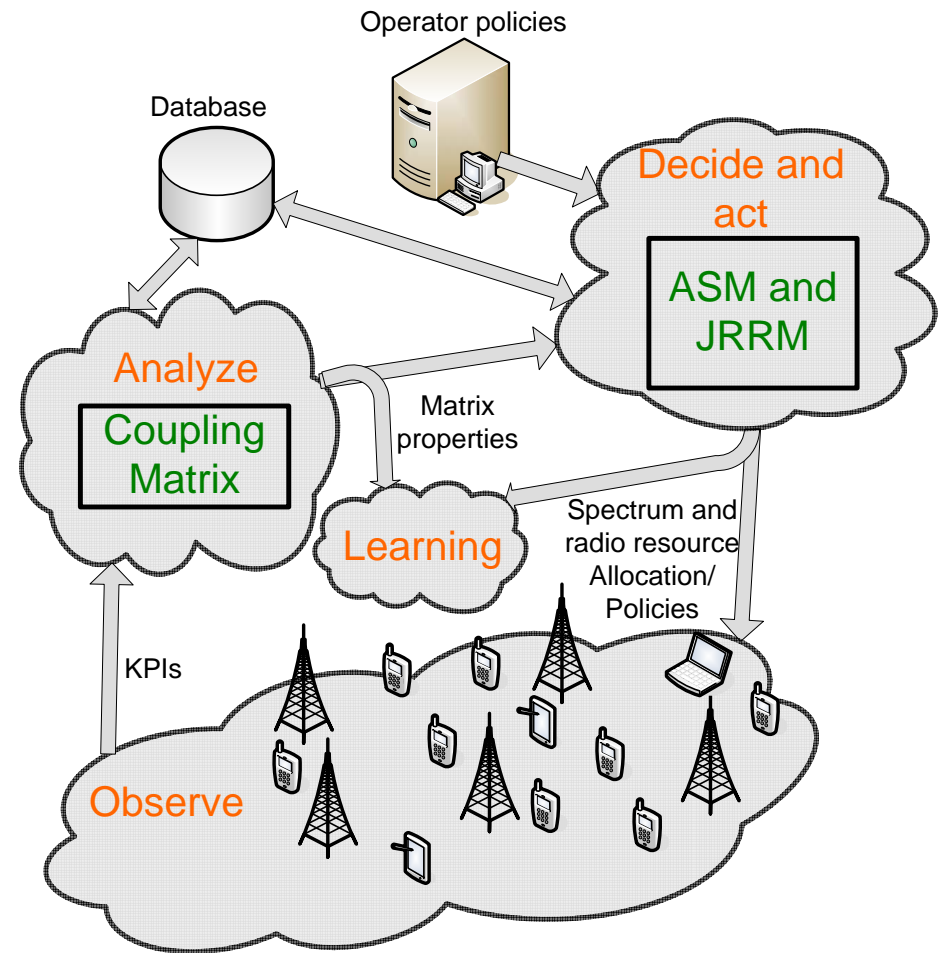
Exemple de coupling matrix

- Voie descendante
- Macro-cell+hotspots

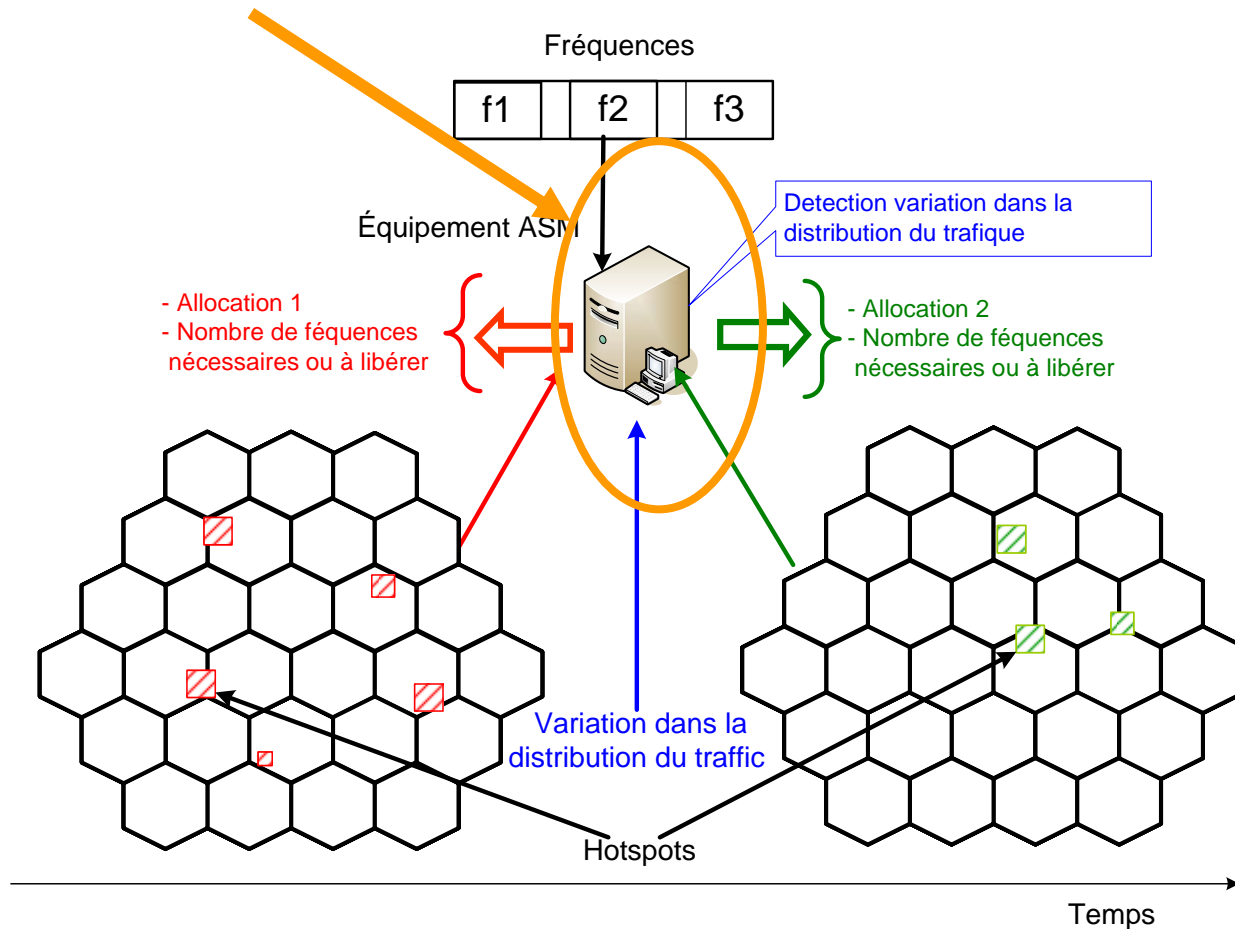


Réseaux cognitifs

- Objectif: proposer une architecture d'un réseau cognitif qui:
 - détecte les variations importantes dans la distribution de trafic
 - utiliser les éléments du coupling matrix
 - utiliser les mesures
 - estime le nombre de fréquences nécessaires pour chaque cellule
 - libère certaines fréquences dans des grandes zones géographiques quand c'est possible
 - utiliser un algorithme d'allocation de spectre basé sur le coupling matrix

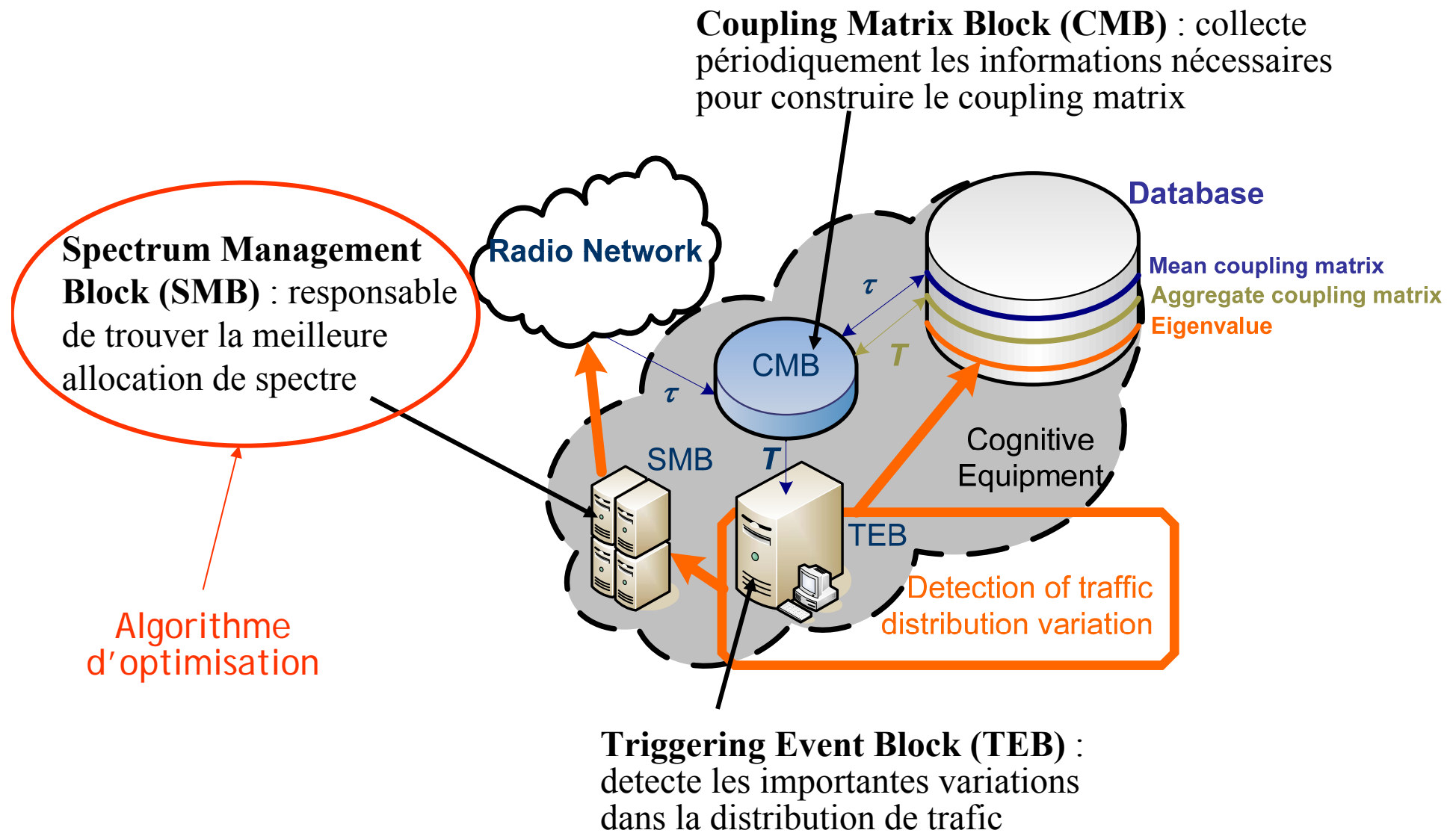


Détection des variations



- Un pourcentage élevé d'utilisateurs non satisfaits
- Une différence élevée entre r éléments des *coupling matrix* de deux observations consécutives

Architecture



Problème d'optimisation

■ Problème d'allocation de fréquences

Maximiser indices de performance

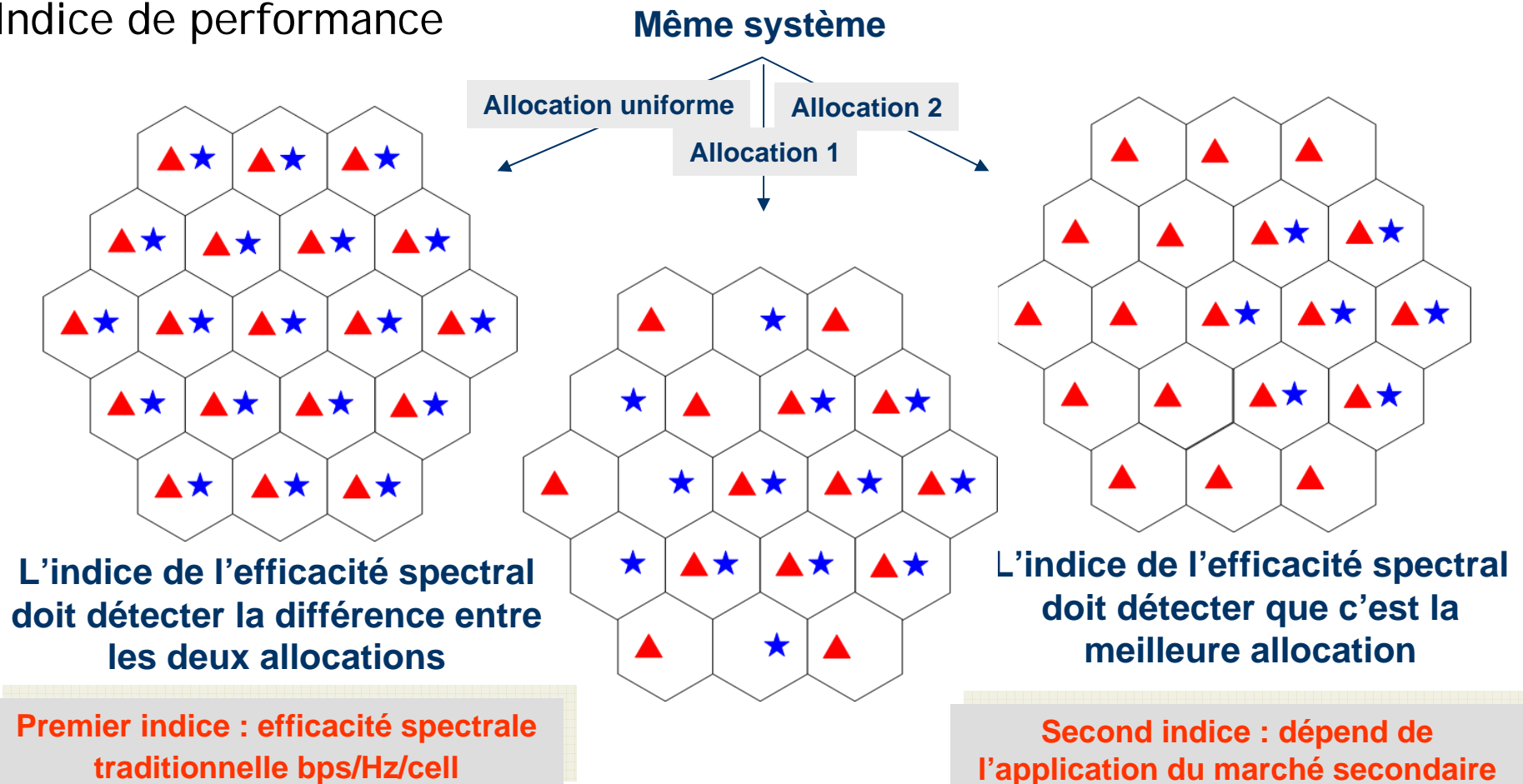
Sachant que les contraintes de puissances transmises sont respectées pour toutes les cellules dans les deux voies
les contraintes de QoS sont respectées pour toutes les cellules dans les deux voies

■ Définitions

- indices de performance
 - définis par les opérateurs (Efficacité spectral, URS)
- estimation des indices de performance
 - pour tester le performance des différentes allocations
- algorithmes
 - Problème NP difficile → Algorithmes heuristiques et méta-heuristiques

Indices de performance (1)

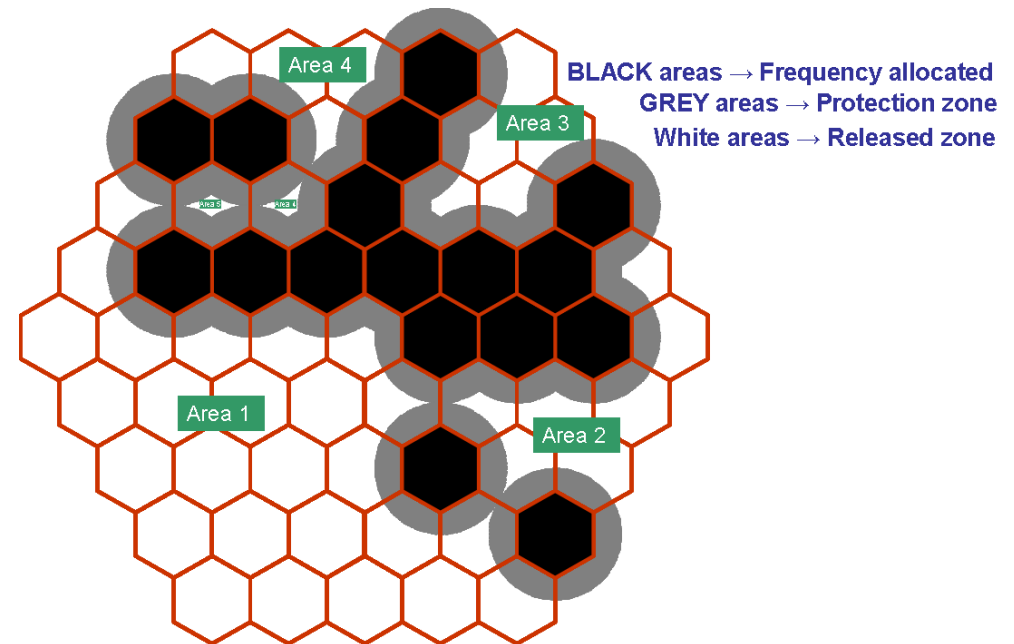
- Contraintes de QoS (point de vue utilisateur)
 - pourcentage des mobiles satisfaits dans chaque cellule
- Indice de performance



Indices de performance (2)

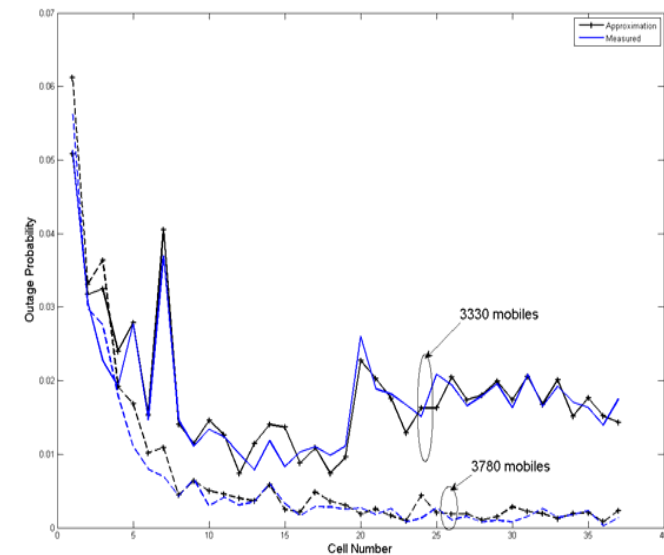
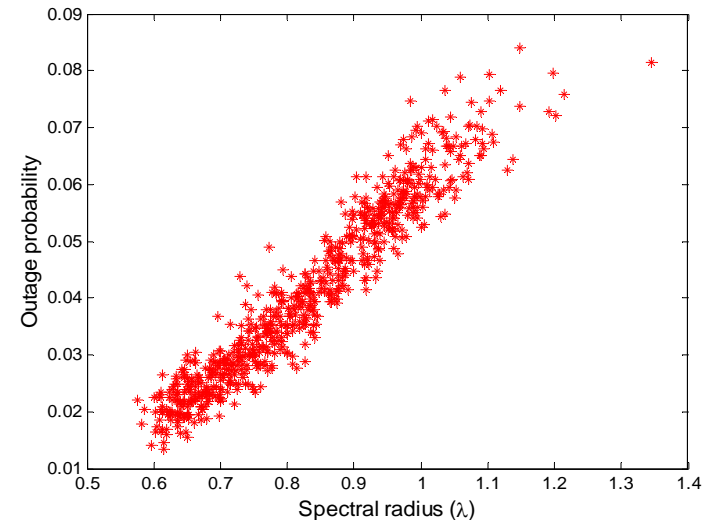
- Dépend:
 - type de marché secondaire
 - interférence générée et supportée
 - portée
 - Mobilité
 - Niveau de puissance
 - système primaire
 - niveau d'interférence supporté

- URS:
 - Somme de surfaces non contiguës où certains fréquences peuvent être utilisées
 - inclut une zone de protection
 - les poids donner à chaque zone dépend de sa surface



Estimation de contraintes de QoS

- Estimation basée sur le rayon spectral de la matrice
 - Complexité : $O(K^2)$
 - une équation linéaire lie le rayon spectral et le taux de satisfaction
- Estimation basée sur l'inversion de la matrice
 - besoin de la distribution des gains de parcours
 - complexité : $O(K^3)$
 - utiliser dans l'indice d'efficacité spectrale



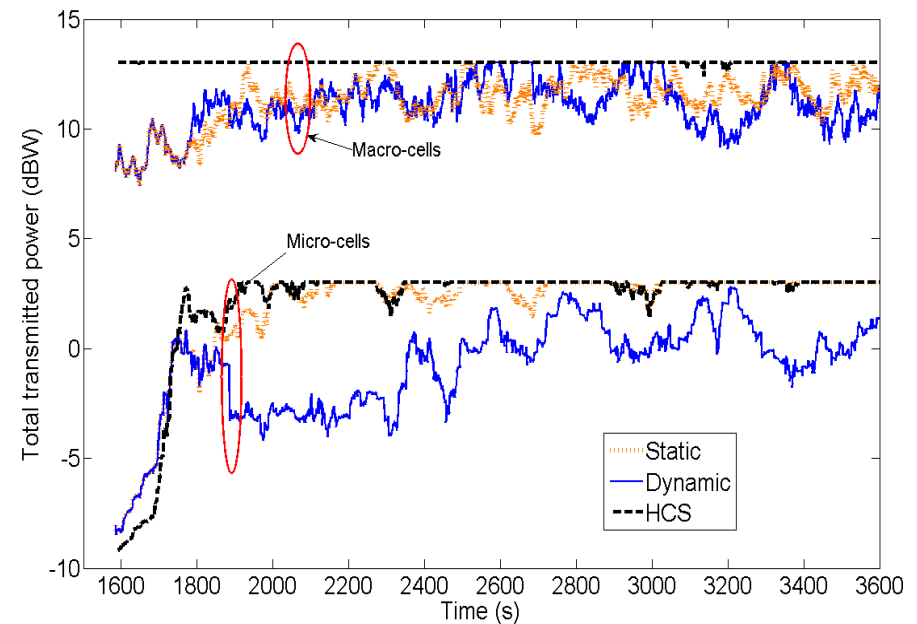
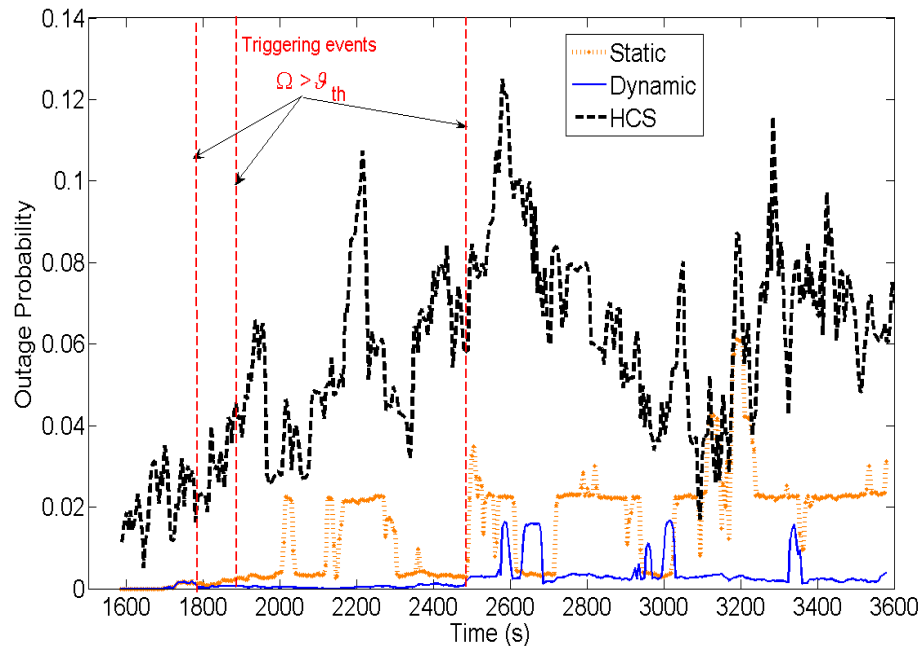
Algorithmes d'allocation

- Algorithmes heuristiques
 - associer les cellules ayant des hautes interactions au début
 - associer d'une manière itérative la cellule à la fréquence en se basant les éléments de la matrice (voies montantes et descendantes)
 - complexité : $K \times \text{complexité}(\text{estimation})$

- Algorithmes meta-heuristique
 - basé sur la méthode de recule simulé ou algorithmes génétiques
 - estimation de l'objectif et des contraintes
 - Complexité : $M \times \text{complexité}(\text{estimation})$
 - $N \gg K$

Résultats : simulation dynamique voie descendante

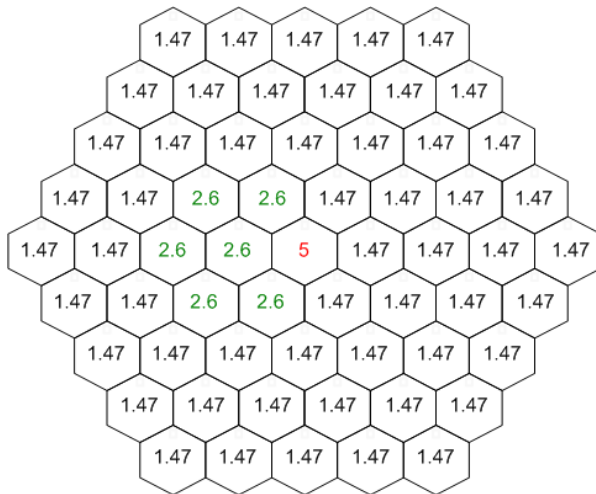
- Mouvement de masse des mobiles
- Une fréquence par cellule



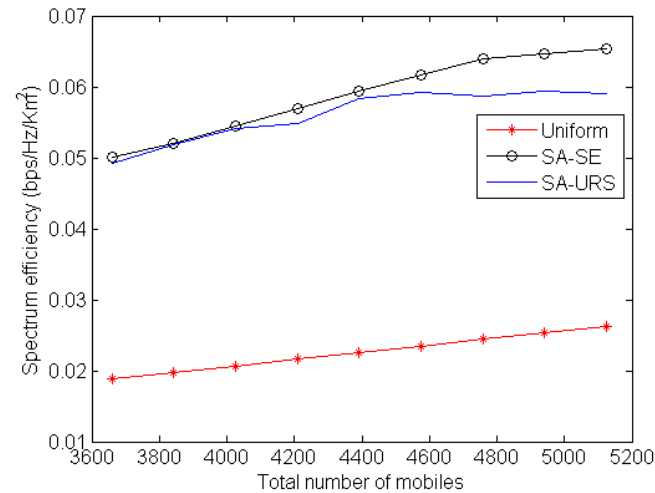
Résultats : Simulation statique voie montante

Plusieurs fréquences par cellule

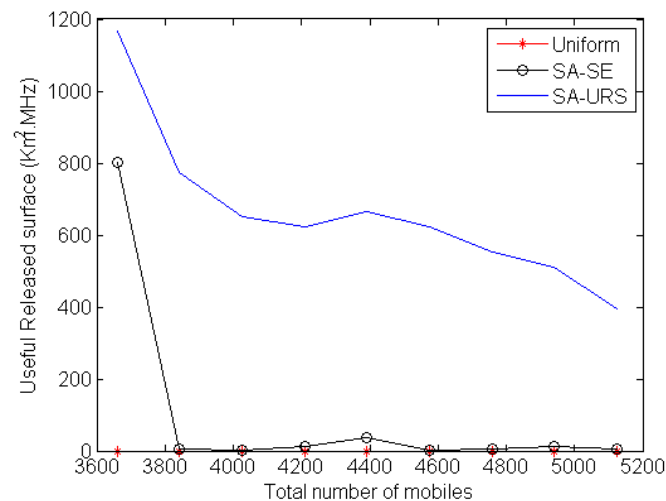
- Taux de satisfaction acceptable: 0.95
- Trois fréquences
- Algorithmes utilisant Recuit simulé et maximisant
 - l'efficacité spectrale (SA-SE)
 - ou
 - URS (SA-SE)



La contrainte sur le taux de satisfaction est respectée

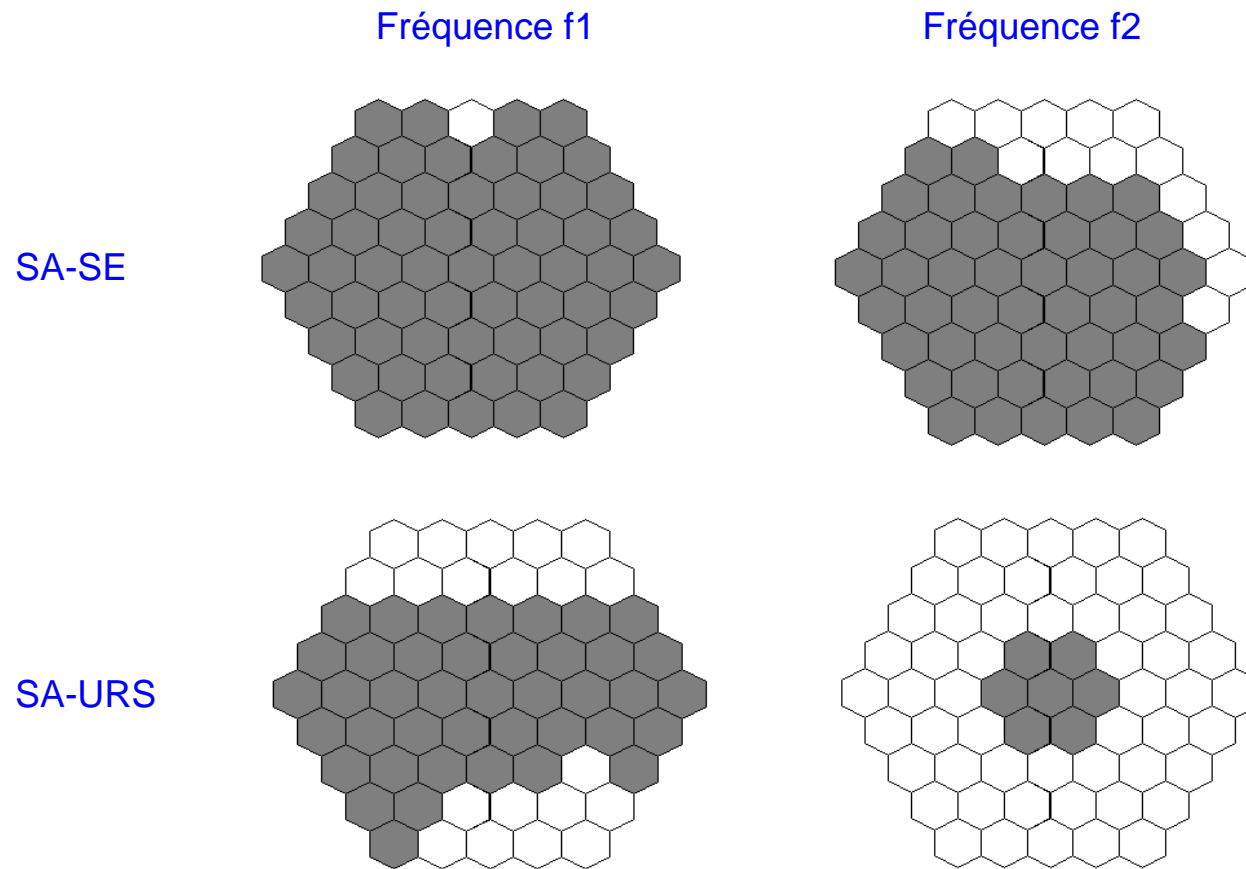


Les deux algorithmes proposés donnent une haute efficacité spectrale



L'algorithme basé sur URS mène au meilleur URS

Résultats : Zones libérées



Conclusions et perspectives

- Gestion dynamique du spectre
 - architecture cognitive
 - solution pratique et efficace
 - Différentes algorithmes d'allocation

- Nouveaux métriques pour les indices de performance
 - prend en compte la possibilité d'utiliser les bandes libérées par un réseau secondaire

- Perspectives
 - Une gestion dynamique du spectre conjointe entre les systèmes WCDMA et OFDMA
 - Définition des règles de coexistence entre les systèmes secondaires et primaires

Publications sur le même sujet

1. J. Nasreddine, O. Sallent, J. Pérez-Romero, R. Agustí, "Advanced Spectrum Management for WCDMA Systems enabling cognitive radio usage," accepted in IET Special Issue on Cognitive Spectrum Access.
2. J. Nasreddine, J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, "A Primary Spectrum Management Solution Facilitating Secondary Usage Exploitation," accepted to ICT-Mobile Summit 2008.
3. J. Nasreddine, J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, "Simulated Annealing-Based Advanced Spectrum Management Methodology for WCDMA Systems," accepted in the IEEE International Conference on Communications (ICC) 2008.
4. J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, J. Nasreddine, M. Muck "Radio Access Technology Selection enabled by IEEE P1900.4" accepted as a chapter of Advances in mobile and wireless communications - views of the 16th IST Mobile and Wireless Communication Summit.
5. A. Gelonch, X. Revés, V. Marojevic, J. Nasreddine, J. Pérez-Romero, O. Sallent, "A Real Time Emulator Demonstrating Advanced Resource Management Solutions," The Tenth International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, 2007 (Best Paper Award).
6. O. Sallent, J. Pérez-Romero, X. Gelabert, J. Nasreddine, R. Agustí, F. Casadevall, A. Umbert, J. Olmos, "Gestión Integrada de Redes de Acceso Radio Celulares 2G, 2.5G y 3G", XXII Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio de 2007, URSI2007, Spain, September 2007.
7. O. Sallent, R. Agustí, J. Pérez-Romero, J. Nasreddine, L. Giupponi, "Integrated spectrum and radio resource management framework for joint optimisation of heterogeneous cognitive networks, " in Proceedings of the 18th meeting of the Wireless World Research Forum, Finland, 2007.
8. J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, J. Nasreddine, M. Muck "Radio Access Technology Selection enabled by IEEE P1900.4," in Proceedings of the 16th IST Mobile & Wireless Communications Summit 2007.
9. J. Nasreddine, O. Sallent, J. Pérez-Romero, R. Agustí, "Novel Inter-Cell Interaction Approach for WCDMA-based Cognitive Networks," in Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC), Glasgow-Scotland, June 2007.
10. J. Nasreddine, J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, "Intra-RAT Spectrum Management Methodology for WCDMA Systems Encompassing Uplink and Downlink," in Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Hong Kong, March 2007.
11. J. Nasreddine, J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, X. Lagrange, "A Proposal on Frequency Management Methodologies for WCDMA Systems using Statistical Coupling Matrices", in Proceedings of the 3rd International Symposium on Wireless Communication Systems, 2006.
12. J. Nasreddine, J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, "Dynamic Spectrum Management Methodology for WCDMA Systems Based on Inter-Cell Interaction Approach", in Proceedings of the 9th Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, San Diego, CA., USA, September 2006.
13. J. Nasreddine, J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, X. Lagrange, "A Proposal on Frequency Management Methodologies for WCDMA Systems using Cell Coupling Matrices", in Proceedings of the 64th IEEE Vehicular Technology Conference, Montreal, Canada, September 2006.
14. L. Giupponi, J. Nasreddine, R. Agustí, J. Pérez-Romero, O. Sallent, "A Two-Layer Approach for Improved Intra-operator Radio Resource Usage", the 16th meeting of the Wireless World Research Forum (WWRF), Work Group 6 Reconfigurability, 2006.
15. J. Pérez-Romero, J. Nasreddine, R. Agustí, X. Lagrange, "On Managing Multiple WCDMA Carriers under Varying Traffic Conditions", Workshop Trends in Radio Resource Management (2nd Edition), Barcelone, Spain, 2005.

This work was performed in project E²RII/E³ which has received research funding from the Community's Sixth/Seven Framework program. This work reflects only the authors' views and the Community is not liable for any use that may be made of the information contained therein. The contributions of colleagues from E²RII/E³ consortium are hereby acknowledged. This work has also been supported by the Spanish Research Council under COGNOS grant (ref. TEC2007-60985).