

# Master 1

## NTR : Nouvelle Technologie Réseau

### « réseau sans fil »

Cédric Guéguen  
Maître de Conférences Université Rennes 1 / IRISA  
Responsable M2-Ingénierie des Réseaux

# OBJECTIFS & CONTENU

- **Etre initié aux nouveaux paradigmes réseaux sans fil:**
  - **Connaitre l'existants et ses points faibles**
  - **Maitriser les concepts de base du sans fil tel que les spécificité des transmissions sans fils, l'allocations opportunistes, etc.**
- **Maitriser les bases de réseau**
  - **modèle OSI**
  - **adressage IP et MAC**
  - **Routage (RIP, OSPF)**
  - **TCP vs UDP**
- ⇒ **Essentiel pour toutes formations destinées à des métiers orienté GL comme réseau (M2-IR) ou sécurité (M2-SSI)**

# ORGANISATION DE L'UE

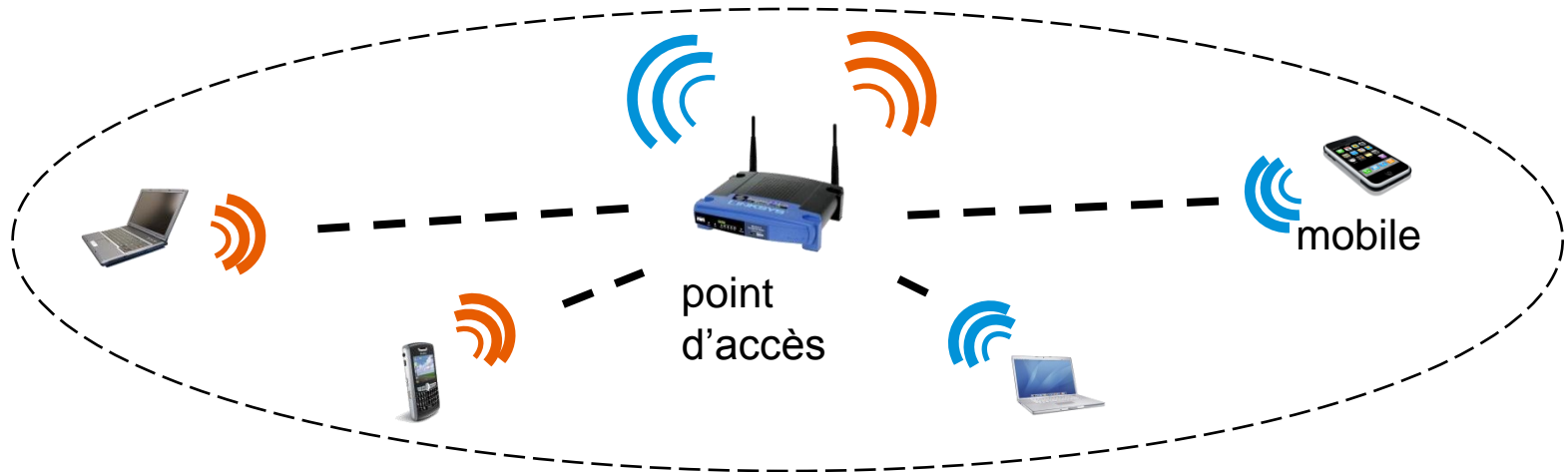
## ○ Organisation théorique du cours

- 16 h CM
- 8 h TD
- 24 h TP => projet développement « analyse de performances » 5G (choix du langage libre mais devra être justifié et assumé).
  - Routage opportuniste
  - Allocation de ressource (économie d'énergie)
  - Allocation opportuniste spatial multi-antenne=> Rapport final + code + exposé (dernière séance)

# PLAN

- « **Scheduling** » : allocation de ressource 5G => 4h
  - Spécificité des réseaux sans fil (contexte, notion d'équité, transmission...)
  - Importance de l'algorithme d'allocation de ressource (spécificité du sans fil, 5G)
- **Types de réseaux sans fil**
  - Wifi (le + connu et utilisé) => 2h
  - Zigbee (energie) => 2-4h
  - LTE, 4G, 5G (l'avenir) => 4h
    - **Projet TP**
- **TCP VS UDP** => 2h
- **Adressage et routage**

# CONTEXTE SANS FIL: LES ENJEUX



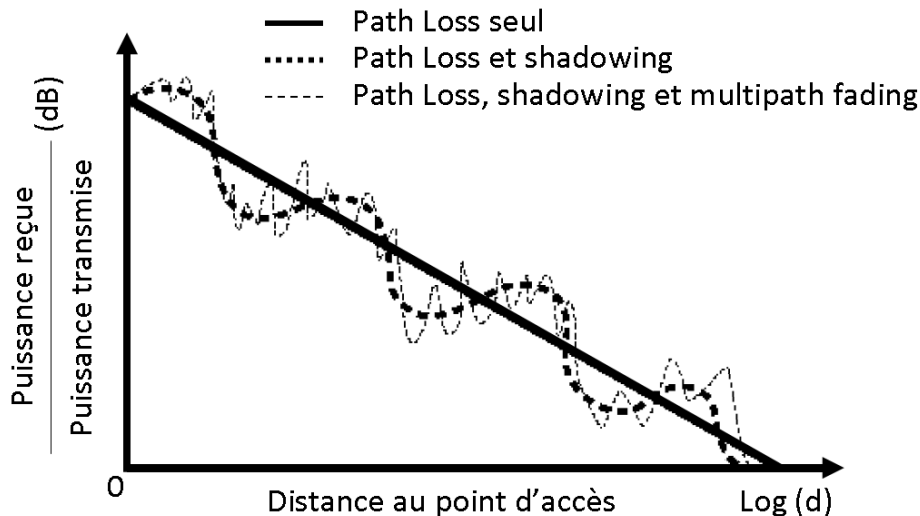
- De plus en plus de mobiles mais ressources radio limitées  
→ Maximiser le débit global du système ( $\neq$  du filaire)
- Qualité de Service au cœur des préoccupations  
→ Différencier les services  
→ Assurer une allocation équitable (distance & besoin)
- Contexte économique, humain et écologique  
→ Economiser l'énergie
- Sécurité, zone de couverture, etc...

# SPÉCIFICITÉ DES TRANSMISSION SANS FIL

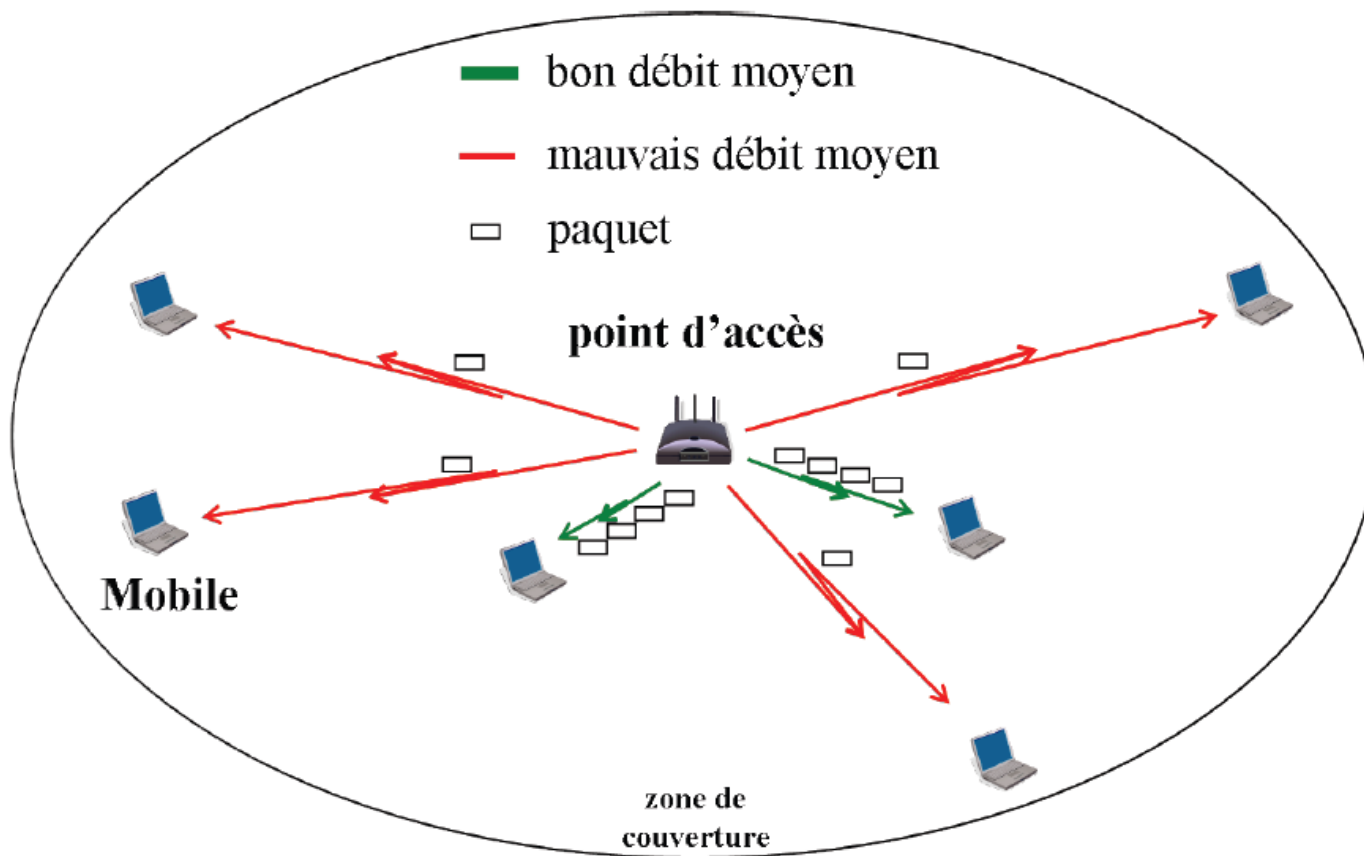
Le signal subit plusieurs atténuations  
⇒ le débit est différent pour chaque utilisateur

- Atténuation liée à la distance (path loss)

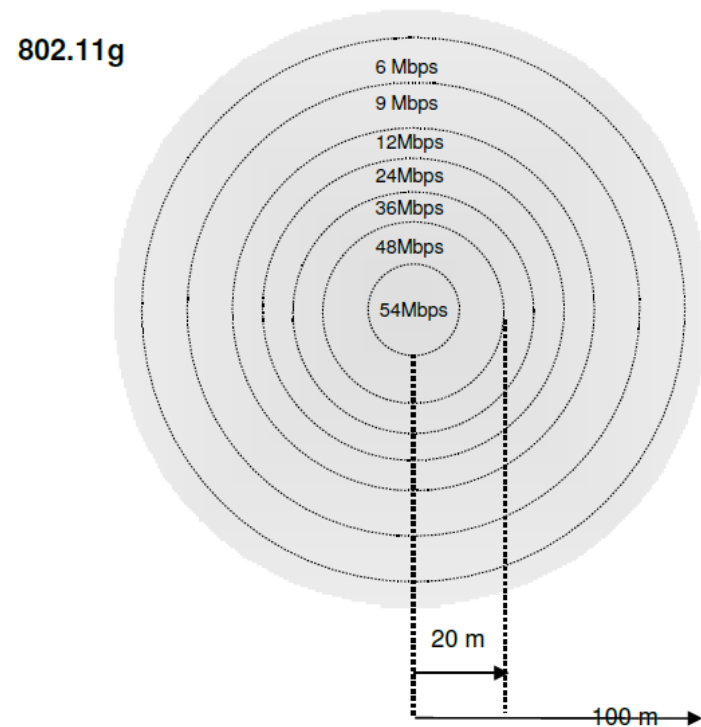
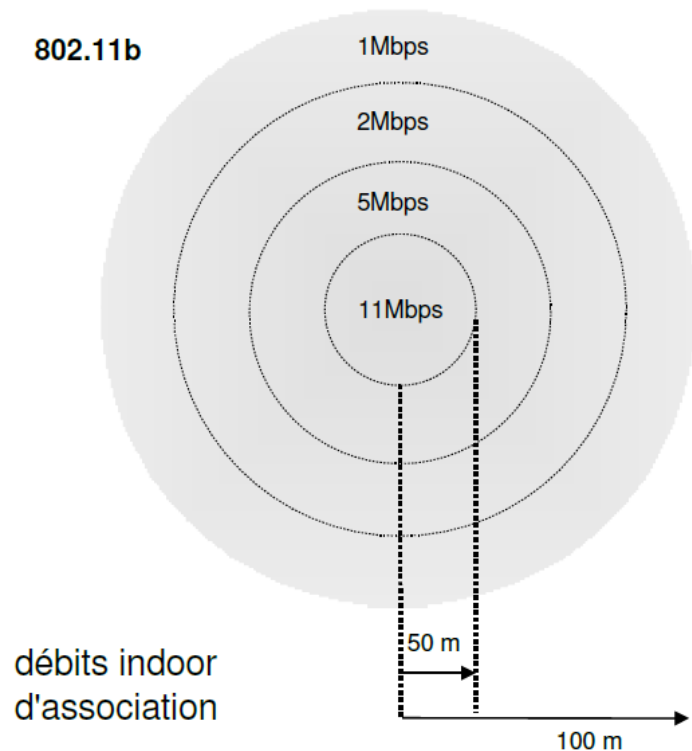
- Atténuation liée à la présence d'obstacle (shadowing)
- Atténuation liée aux multi-trajets (multi-path fading)



# CORRELATION ENTRE DÉBIT MOYEN ET POSITION



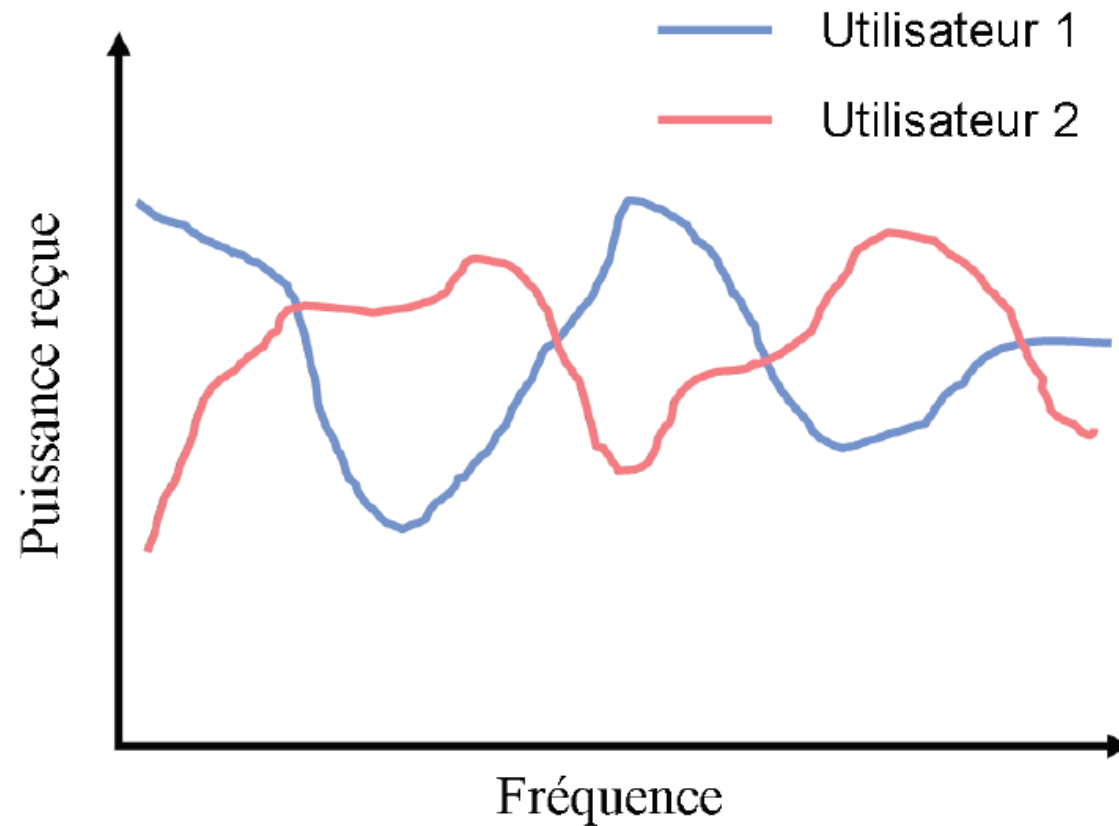
# CORRELATION ENTRE DÉBIT MOYEN ET POSITION





# CANAUX SELECTIFS EN FRÉQUENCES

(DÉBIT DIFFÉRENTS A UNE MEME DISTANCE DU POINT D'ACCÈS)



# L'ÉQUITÉ...

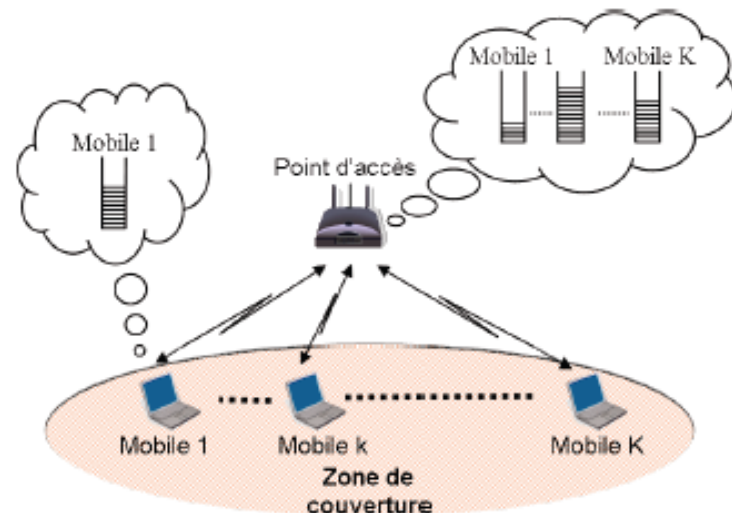
- Notion plus complexe qu'elle n'en a l'air...
  - niveau 1 : garantir un même nombre d'UR
  - niveau 2 : garantir un même débit
  - niveau 3 : garantir un même degré de satisfaction

=> Differentiation de service!!!

# QUELS QUE SOIENT LES TYPES DE RÉSEAUX...

- **L'importance de l'algorithme d'allocation des ressources est crucial!**

- **QoS/QoE**
- **Débits**
- **Sécurité**
- **Zone de couverture**
- **Energie...**
- ...

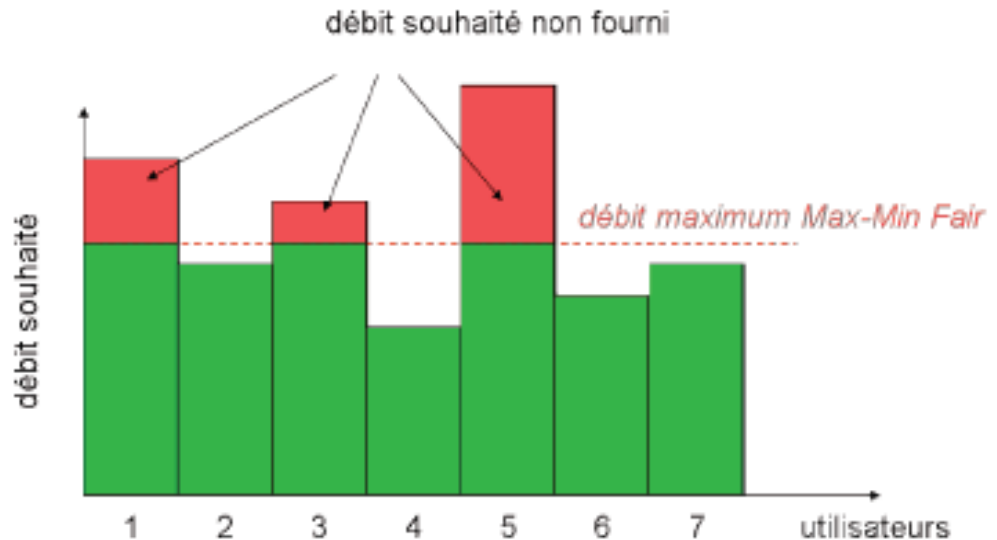


# LES ALGORITHMES D'ALLOCATION DES RESSOURCES

## ○ Actuellement :

- RA
- RR
- FQ
- WFQ
- MaxMinFair

=> inefficaces!



Allocation MaxMin-Fair

## ○ Futurs : (voir prochains slides)

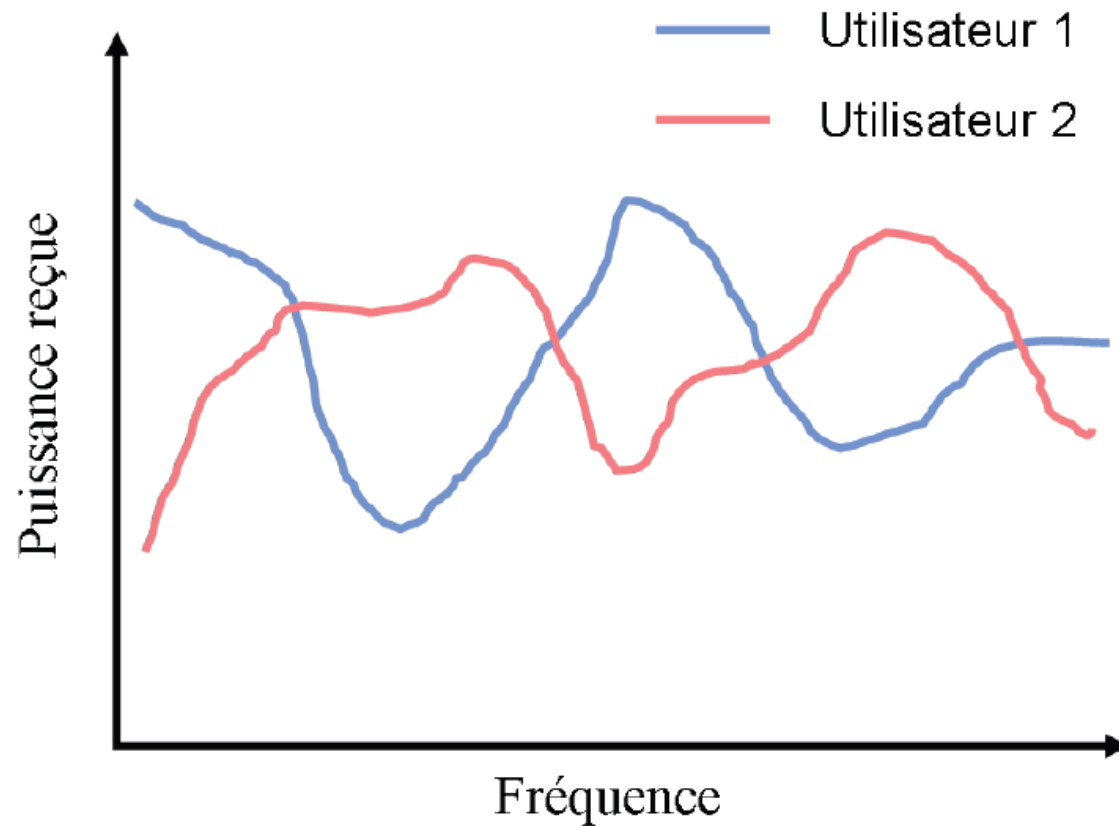
- MaxSNR
- PF
- ...

# TYPE DE BANDE

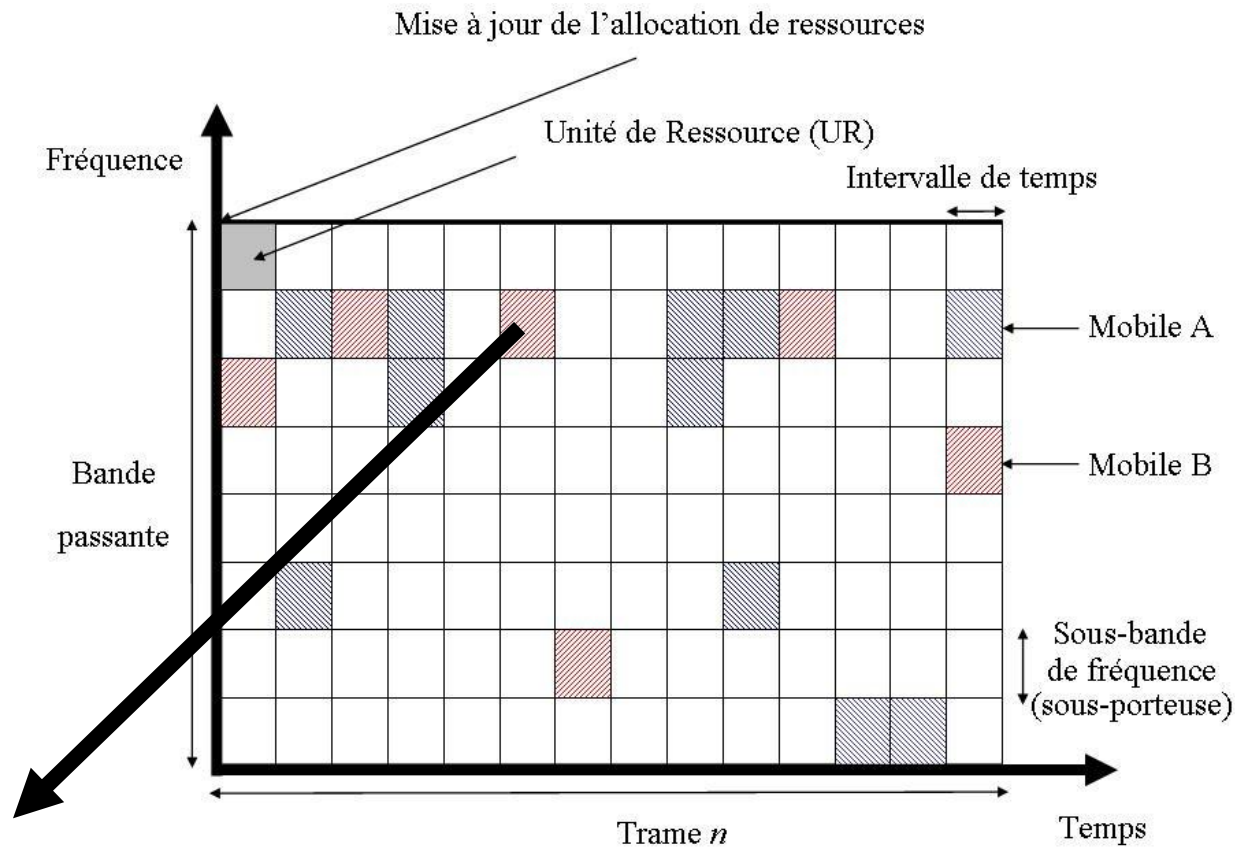
- **Bande monoporteuse**
  - **Simple mais souvent inefficace**
- **Bande multi-porteuses**  
  
**=> l'OFDM**

# CANAUX SELECTIFS EN FRÉQUENCES

(DÉBIT DIFFÉRENTS A UNE MEME DISTANCE DU POINT D'ACCÈS)



# L 'ACCÈS OFDM



$m_{k,n}$  : le nombre de bits susceptibles d'être transmis par le mobile  $k$ , sur l'unité de ressource  $n$

# ORTHOGONAL FREQUENCY-DIVISION MULTIPLEXING (OFDM)

## ○ **Avantages :**

- permet de lutter contre les canaux sélectifs en fréquence
- Bonne gestion du multi-trajet
- Allocation dynamique des ressources

## ○ **Inconvénients :**

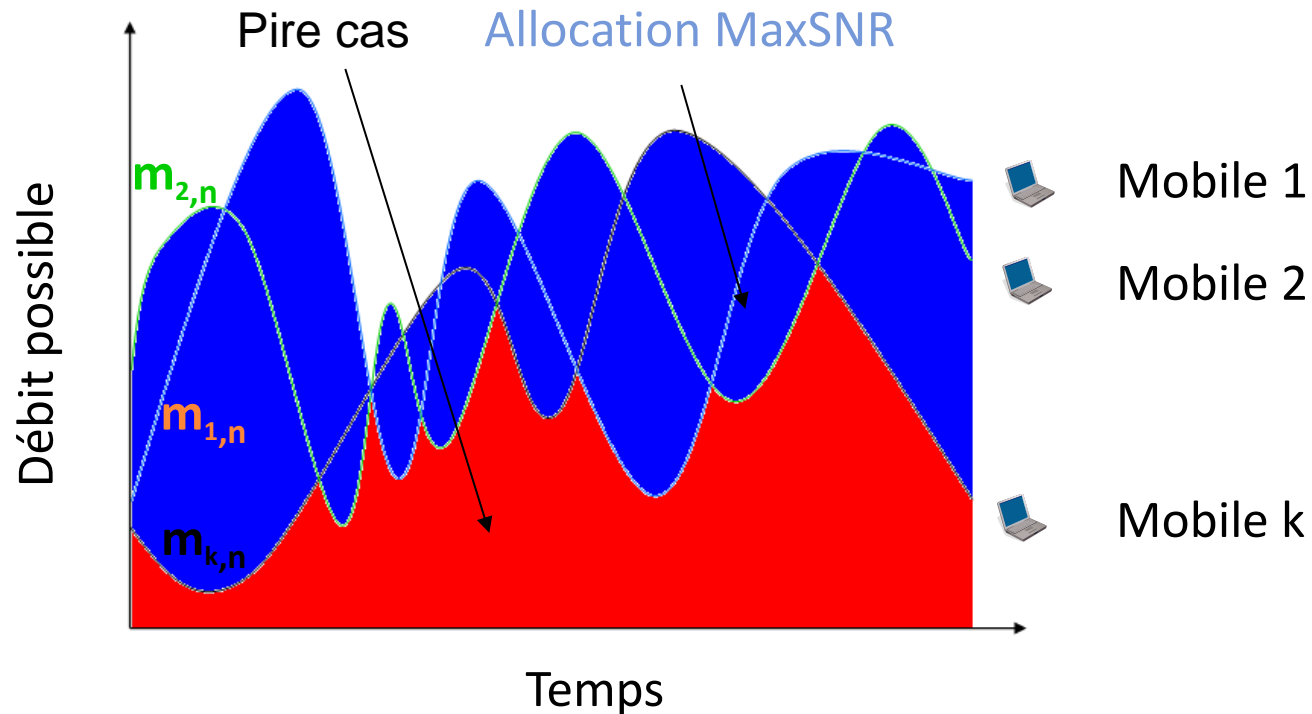
- Très sensible à la désynchronisation
- Facteur de crête



# ALLOCATION OPPORTUNISTE : MAXSNR

- MaxSNR alloue l'unité de ressource  $n$  au mobile qui a le meilleur rapport signal à bruit (SNR), i.e. le meilleur  $m_{k,n}$

⇒ Le débit global du système augmente considérablement



# MAXIMISATION DU DÉBIT : PRIX À PAYER ?

Affaiblissement lié aux multi-trajets

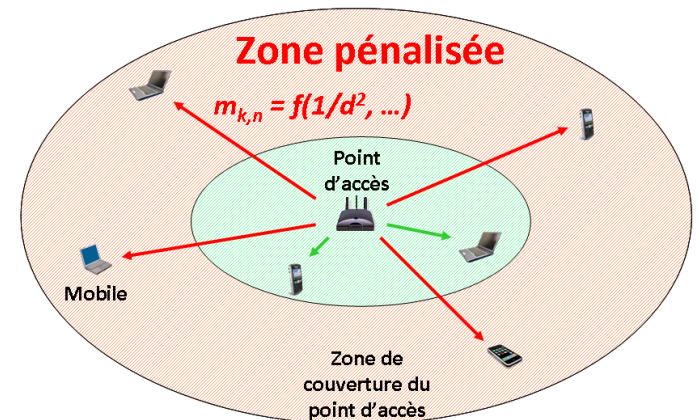
Puissance de transmission

Distance entre le point d'accès et le mobile k

$$m_{k,n} = \left\lceil \log_2 \left( 1 + \frac{3P_{\max} \times \alpha_{k,n} \times \left( \frac{1}{d_k} \right)^2}{2N_0 \left[ \operatorname{erfc}^{-1} \left( \frac{TEB_{cible,k}}{2} \right) \right]^2} \right) \right\rceil$$

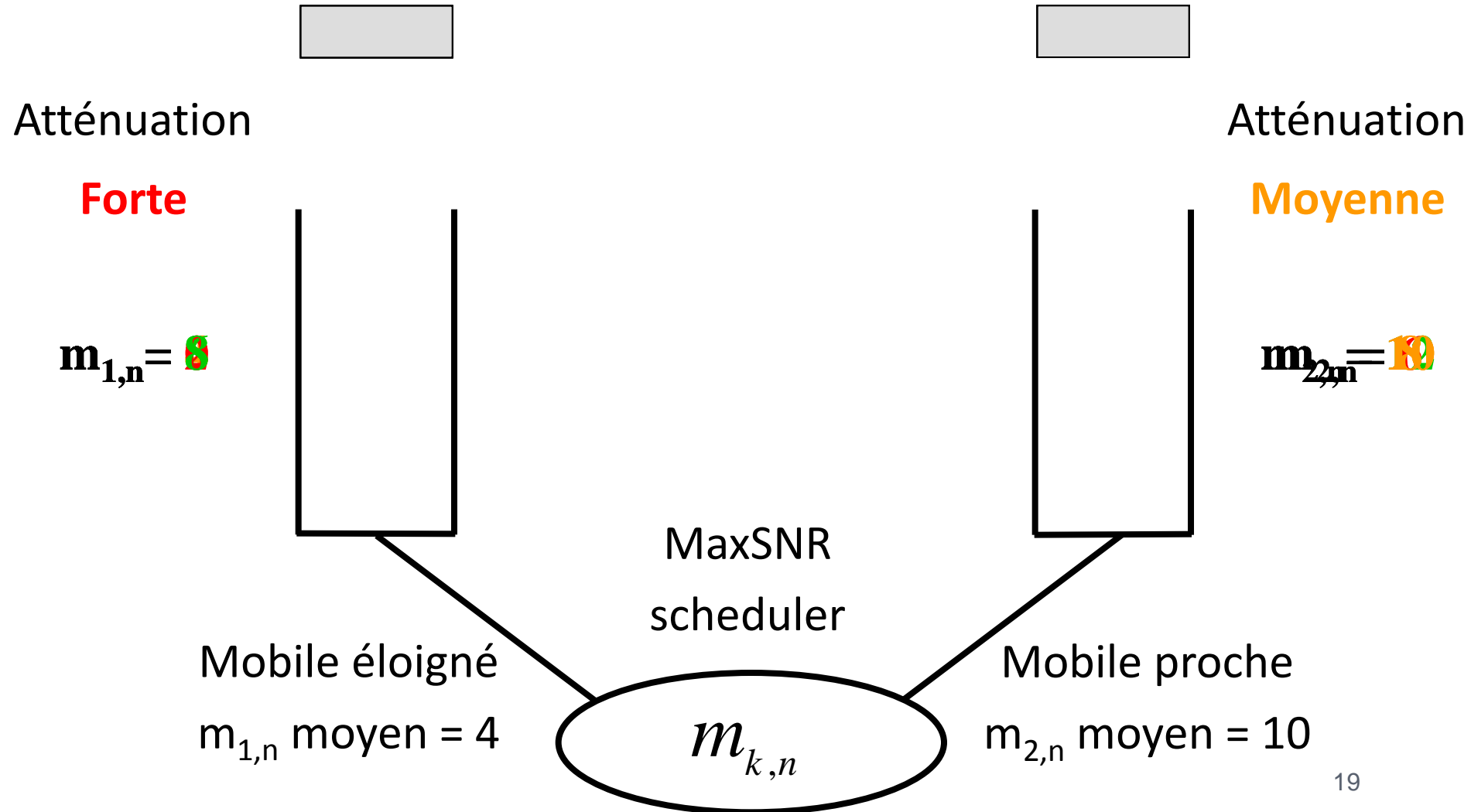
Densité spectrale de puissance du bruit

Taux d'erreur par bit



Eloignement  $\Rightarrow m_{k,n} \searrow \Rightarrow$  probabilité d'accéder à la ressource  $\searrow$

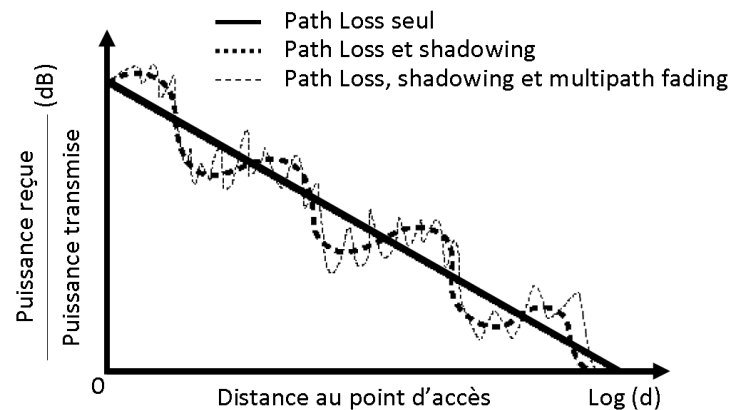
# MaxSNR : allocation inéquitable



# ALLOCATION OPPORTUNISTE : PF

- PF alloue l'unité de ressource  $n$  au mobile qui a le meilleur rapport signal à bruit (SNR) par rapport a son SNR moyen, i.e. le meilleur  $m_{k,n \text{ instantané}} / m_{k,n \text{ moyen}}$

⇒ Plus équitable ???



# CLASSEMENT DES ALGORITHMES D'ALLOCATION DE RESSOURCES

- Tenter de « noter » les performances de chaque scheduler vu jusqu'à présent dans un tableau.
  - Les différents ordonnanceurs sont notés dans chaque domaine de 0 à 3 (0 représente le plus faible niveau et 3 représente l'objectif maximum atteignable vers lequel il est souhaitable de tendre).
  - Critère de performance: maximisation du débit, équité, différenciation de service, simplicité d'implémentation.

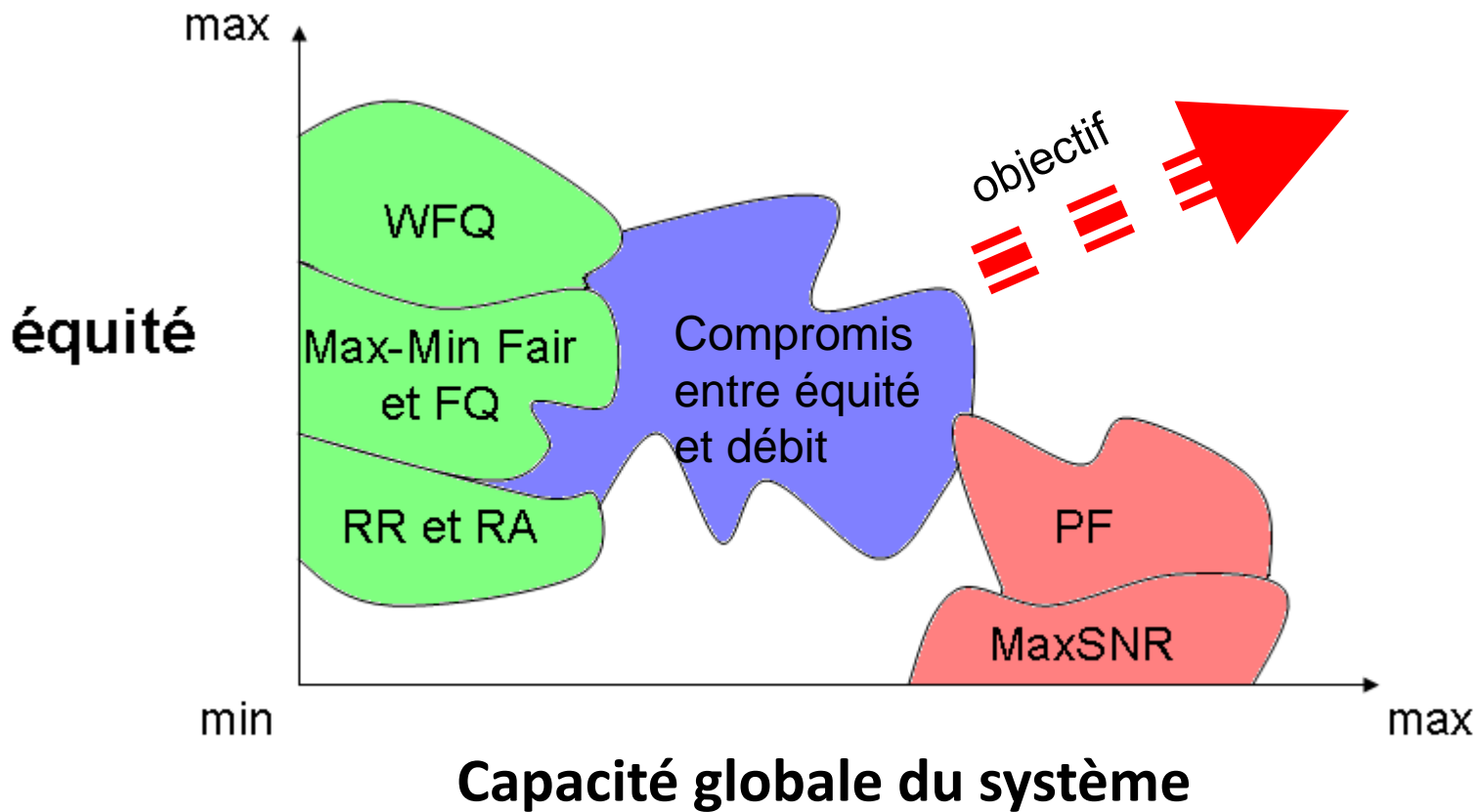
# CLASSEMENT DES ALGORITHMES D'ALLOCATION DE RESSOURCES

Ordonnanceurs	RR	RA	FQ	Max-Min Fair	WFQ	MaxSNR	PF
Débit	0	0	0	0	0	3	3
Equité	1	1	2	2	2.5	0	1
Différenciation de service	0	0	0	0	1	0	0
Simplicité	3	3	2	2	2	2	2

# QUESTIONS...

- **Que choisiriez vous comme ordonnanceurs sachant que tout les utilisateurs sont à une même distance du point d'accès :**
  - **Dans un réseau où tous les utilisateurs ont les même besoins ?**
  - **Dans un réseau où certains utilisateurs ont payé pour avoir la priorité ?**
- **Discuter de la pertinence de vos choix dans le cas ou tout les utilisateurs ne sont pas à la même distance du point d'accès**
- **Idem dans le cas ou on inclurait la mobilité**

# ENJEUX DES ALLOCATIONS DE RESSOURCES DANS LES RÉSEAUX SANS FIL





# PROBLÈMES POUVANT ÊTRE RÉSOLU PAR UNE BONNE ALLOCATION DE RESSOURCES

- Inéquité par rapport à la distance
- QoS/QoE et différenciation de service
- Minimisation de l'énergie
- Extension de la zone de couverture
- Optimisation des performance réseau en fonction du type de bande disponible

# PROBLÈMES POUVANT ÊTRE RÉSOLU PAR UNE BONNE ALLOCATION DE RESSOURCES

- **Inéquité par rapport à la distance**
- QoS/QoE et différenciation de service
- Minimisation de l'énergie
- Extension de la zone de couverture
- Optimisation des performance réseau en fonction du type de bande disponible

# MAXSNR ET MAXIMISATION DU DÉBIT : PRIX À PAYER ?

Affaiblissement lié aux multi-trajets

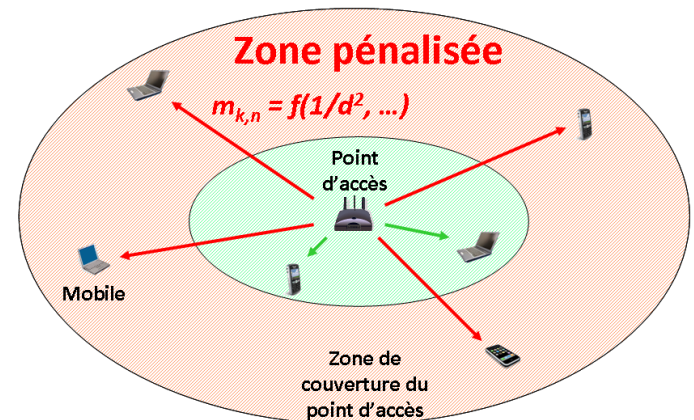
Puissance de transmission

Distance entre le point d'accès et le mobile k

$$m_{k,n} = \left\lceil \log_2 \left( 1 + \frac{3P_{\max} \times \alpha_{k,n} \times \left( \frac{1}{d_k} \right)^2}{2N_0 \left[ \operatorname{erfc}^{-1} \left( \frac{TEB_{cible,k}}{2} \right) \right]^2} \right) \right\rceil$$

Densité spectrale de puissance du bruit

Taux d'erreur par bit



Eloignement  $\Rightarrow m_{k,n} \searrow \Rightarrow$  probabilité d'accéder à la ressource  $\searrow$

## FAIR MAXSNR (FMAXSNR)

- MaxSNR équitable dans un seul cas
  - Tous les mobiles sont situés à une même distance du point d'accès (i.e. même  $m_{k,n}$  moyen)
- Idée pour être toujours équitable
  - Placer virtuellement tous les utilisateurs à une même distance du point d'accès
  - $CF_k$  calculé de manière à ce que chaque mobile obtienne un même  $F_{k,n}$  moyen

$$F_{k,n} = m_{k,n} \times CF_k$$

débit      équité

# FMaxSNR : allocation équitable

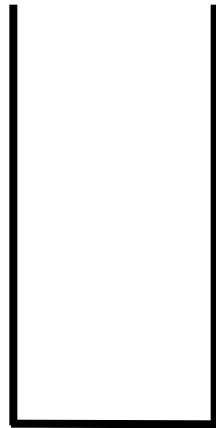
⇒ Files d'attente vidées plus régulièrement  
⇒ Plus équitable

Atténuation

**Forte**

$$m_{1,n} = 2$$

$$F_{1,n} = 3,75$$



Mobile éloigné

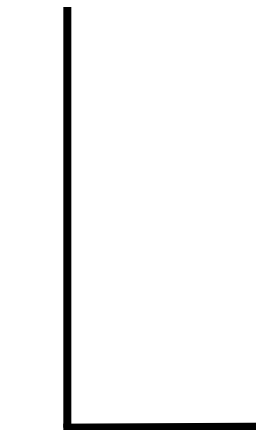
$$m_{k,n} \text{ moyen} = 4$$

$$CF_k = 1,75$$

$$F_{k,n} \text{ moyen} = 7$$

FMaxSNR  
scheduler

$$F_{k,n} = m_{k,n} \times CF_k$$



Mobile proche

$$m_{k,n} \text{ moyen} = 10$$

$$CF_k = 0,7$$

$$F_{k,n} \text{ moyen} = 7$$

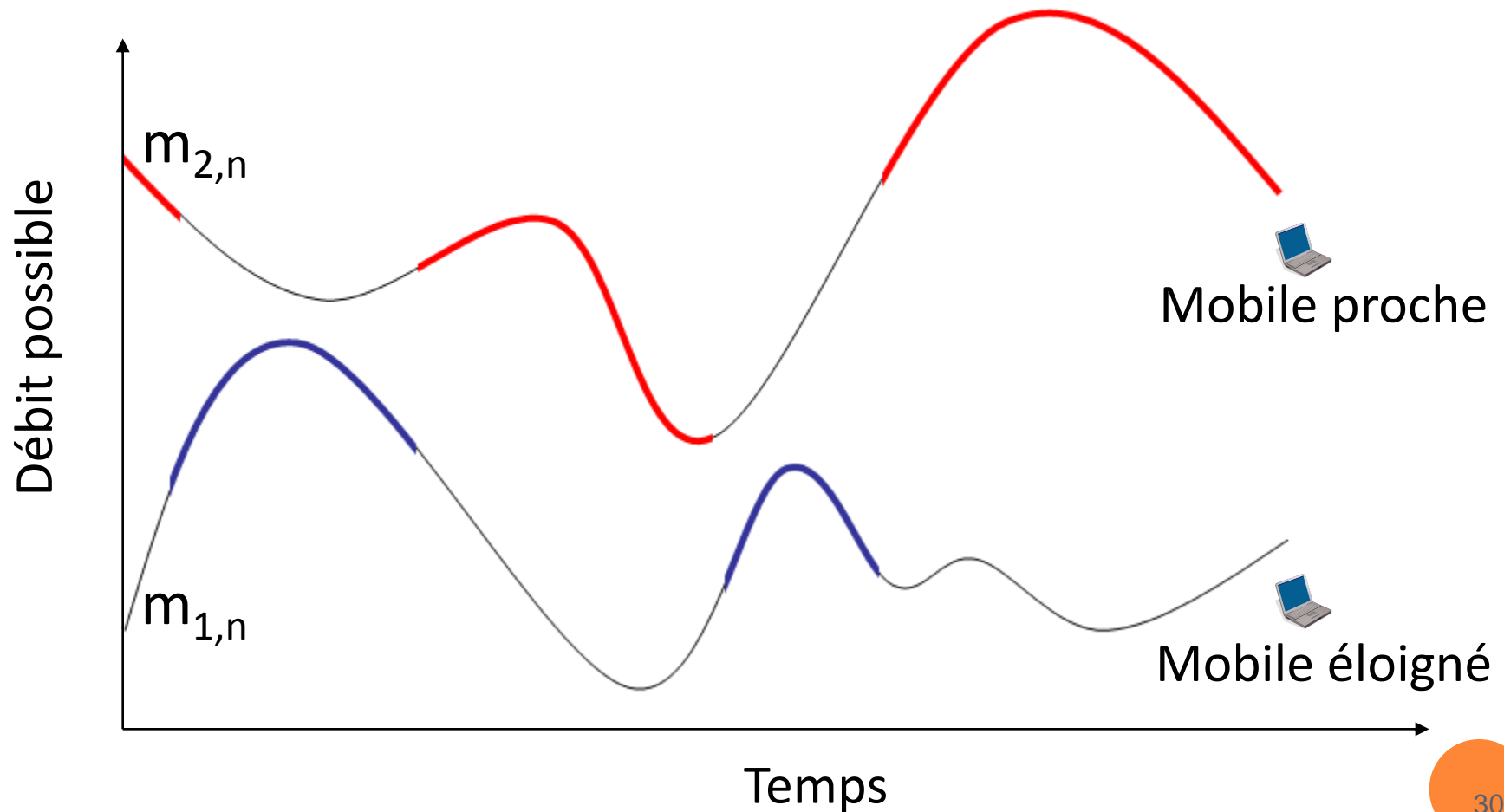
Atténuation

**Faible**

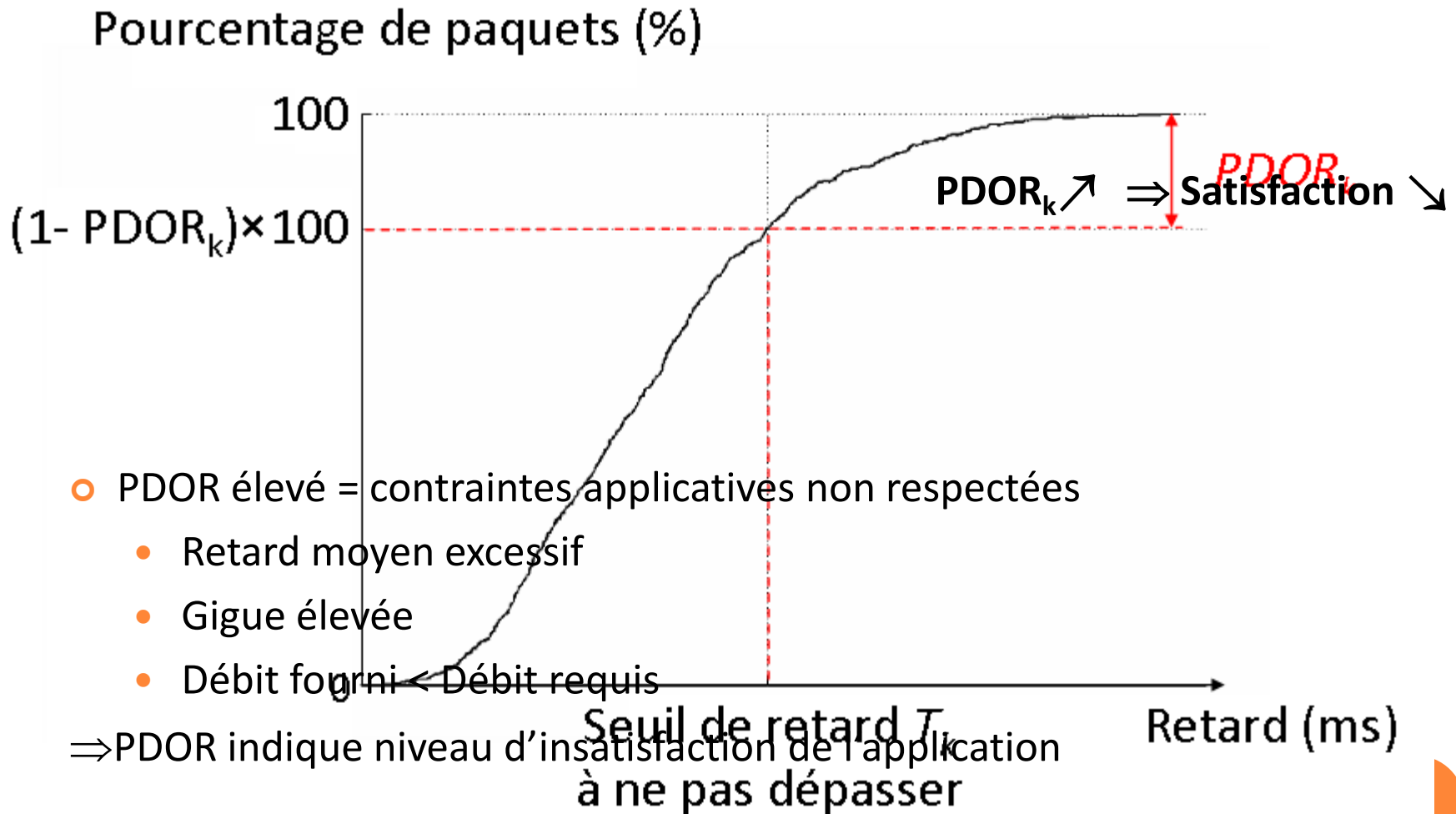
$$m_{2,n} = 12$$

$$F_{2,n} = 8,4$$

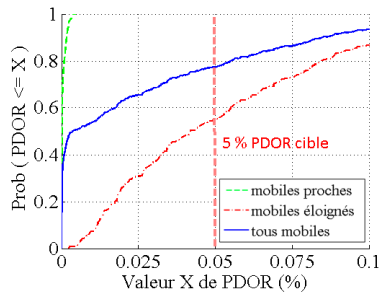
# FMaxSNR : gain en efficacité spectrale



# OUTILS DE MESURE QoE: PACKET DELAY OUTAGE RATIO (PDOR)

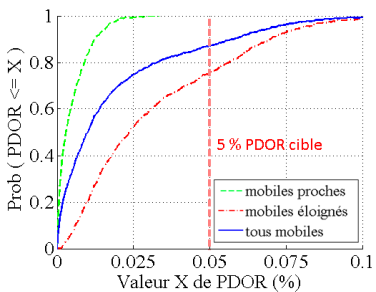


# Analyse de performance



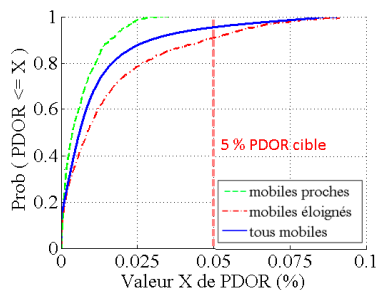
MaxSNR

→ 23 %



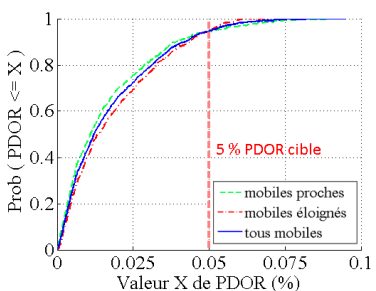
PF

→ 12,8 %



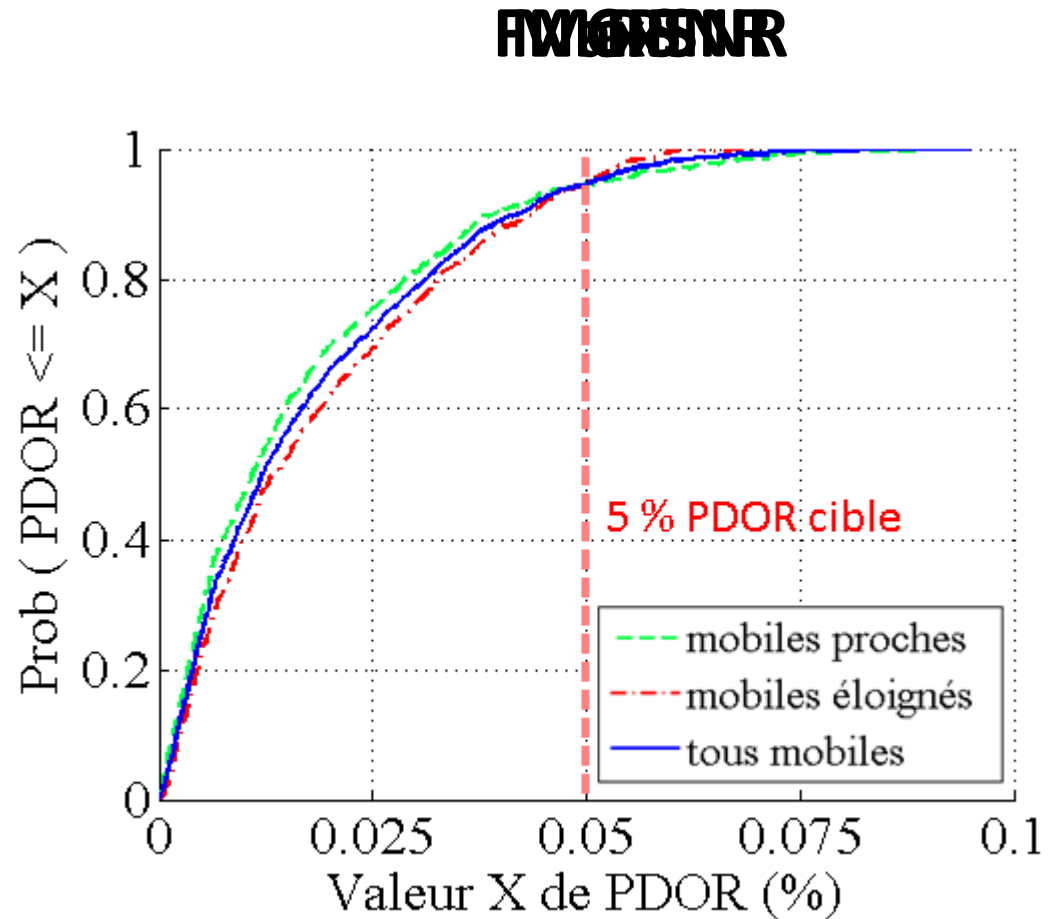
FMaxSNR

→ 5 %



CPF

→ 5 %





# PROBLÈMES POUVANT ÊTRE RÉSOLU PAR UNE BONNE ALLOCATION DE RESSOURCES

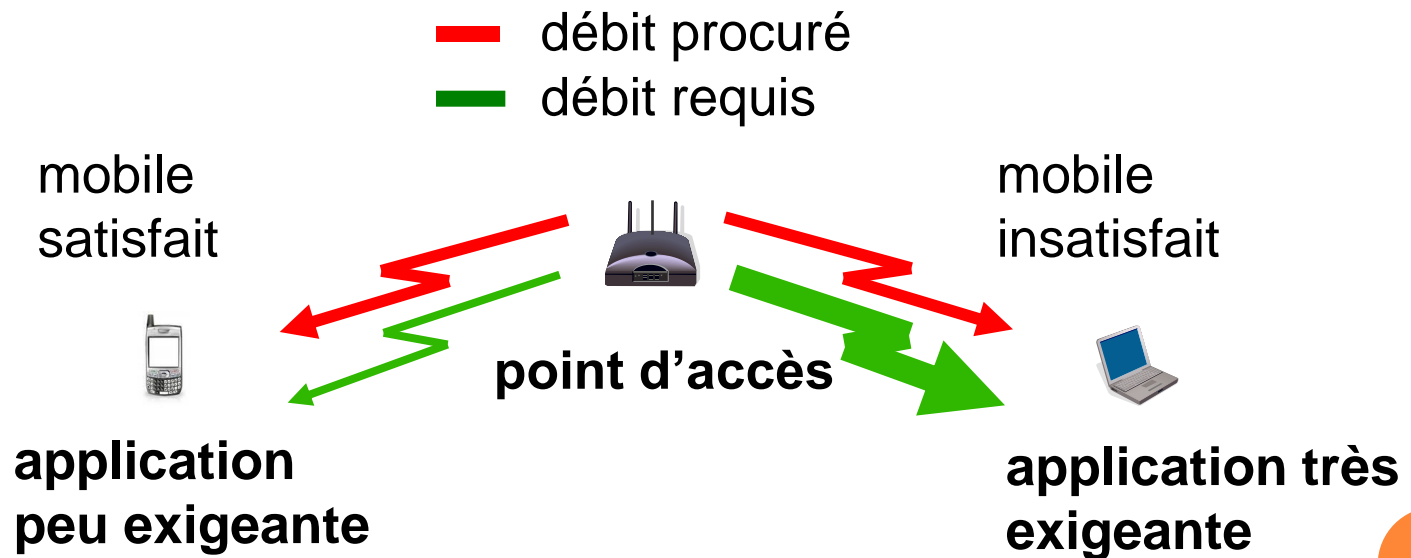
- Inéquité par rapport à la distance
- **QoS/QoE et différenciation de service**
- Minimisation de l'énergie
- Extension de la zone de couverture
- Optimisation des performance réseau en fonction du type de bande disponible

# AVANTAGES ET LIMITE DU FMAXSNR ET CPF

Avantages :

- Débit → maximisation égale au MaxSNR et PF
- Équité → gestion efficace de la mobilité intracellulaire

Limite :



**Il faut différencier les services !!!**

## WEIGHTED FAIR OPPORTUNISTIC SCHEDULING

Allouer la ressource radio au meilleur moment physique et applicatif :

$$WFO_{k,n} = m_{k,n} \times f(PDOR_k)$$

État du canal  
(débit possible/unité de ressource)

Urgence à être servi

$f(x) = 1 + \beta x^\alpha$  avec :

$\alpha$  : paramètre de réactivité aux fluctuations de PDOR

$\beta$  : paramètre de normalisation

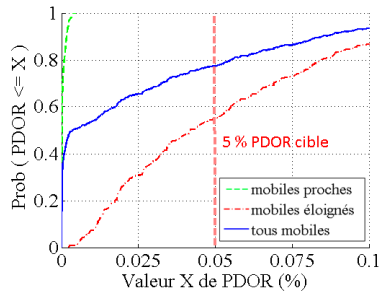
# NON RÉGRESSION ?

## SCÉNARIO 1 : GESTION DE LA MOBILITÉ INTRACELLULAIRE

Mobiles :

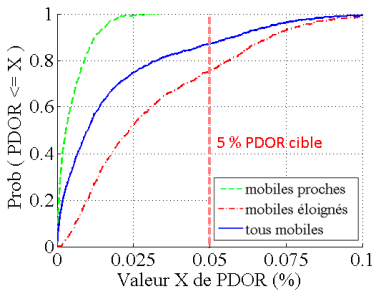
- Même type de trafic pour tous
  - Même exigence en termes de débit
  - Même contrainte temporelle
- Positions différentes
  - Groupe 1 : proches du point d'accès
  - Groupe 2 : éloignés du point d'accès

# GESTION DE LA MOBILITÉ



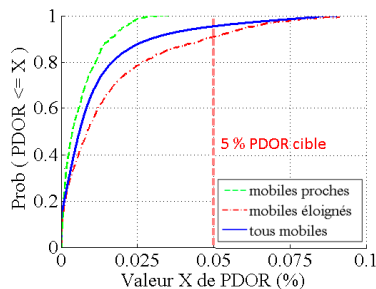
MaxSNR

→ 23 %



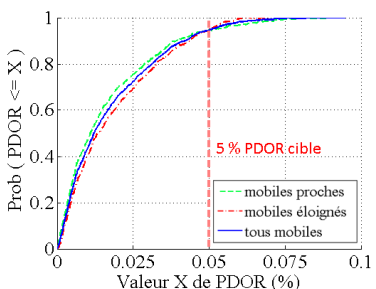
PF

→ 12,8 %



FMaxSNR

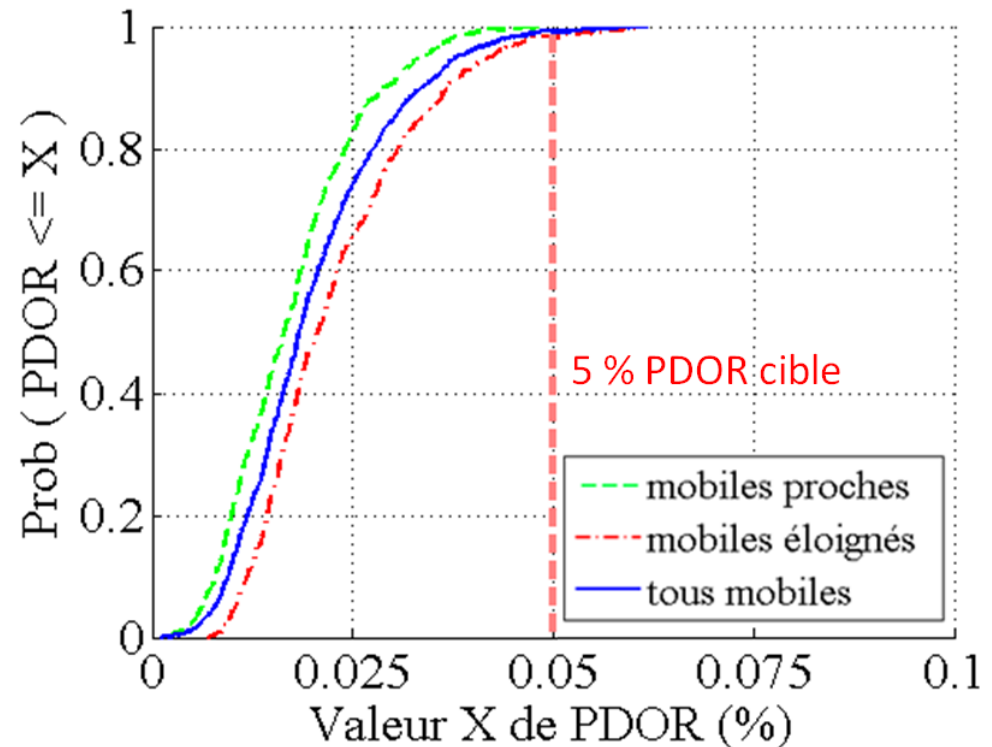
→ 5 %



CPF

→ 5 %

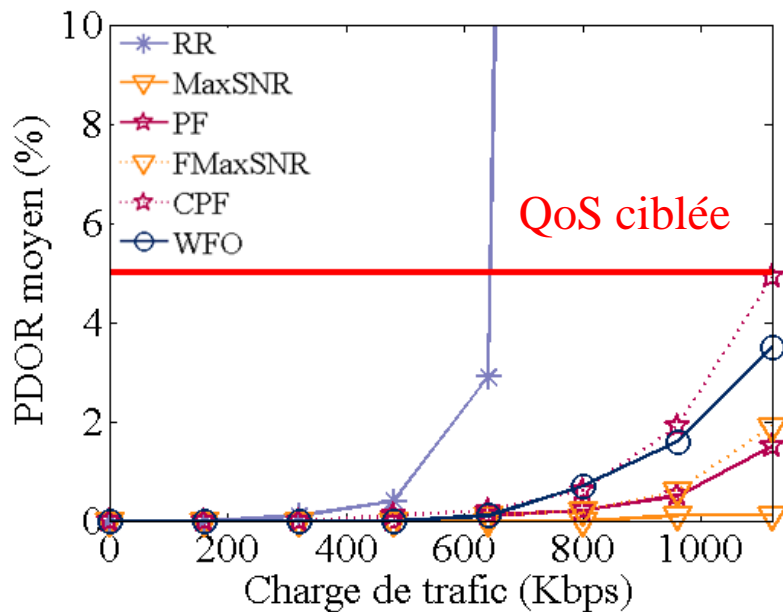
## WFO



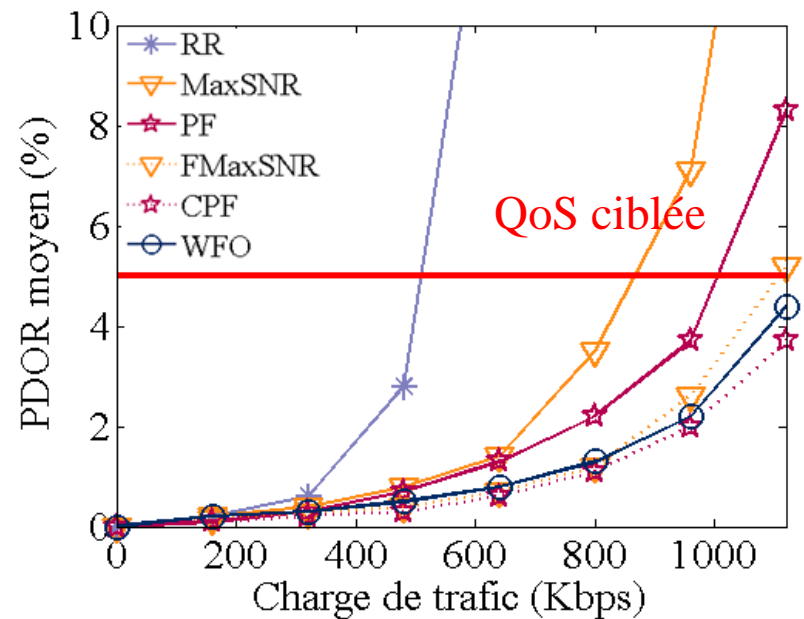
**0,8 % de flux seulement  
subissent des retards excessifs**

# PAQUETS ARRIVÉS HORS DÉLAI (PDOR)

mobiles proches

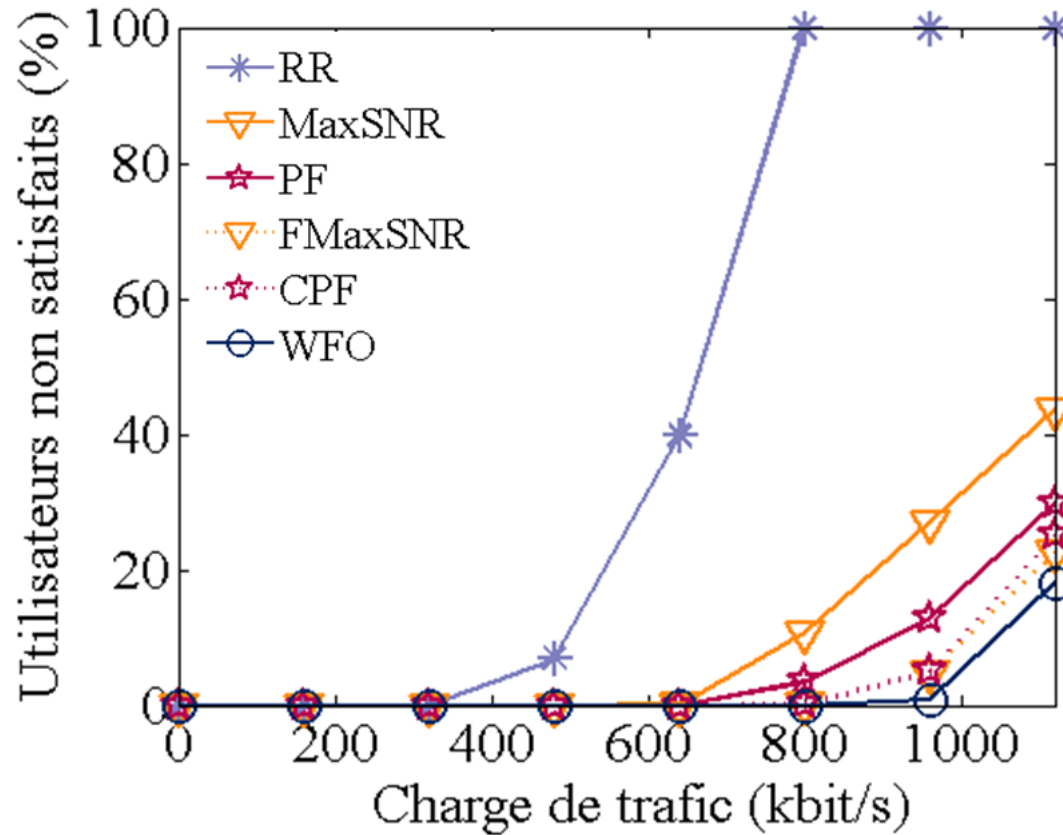


mobiles éloignés

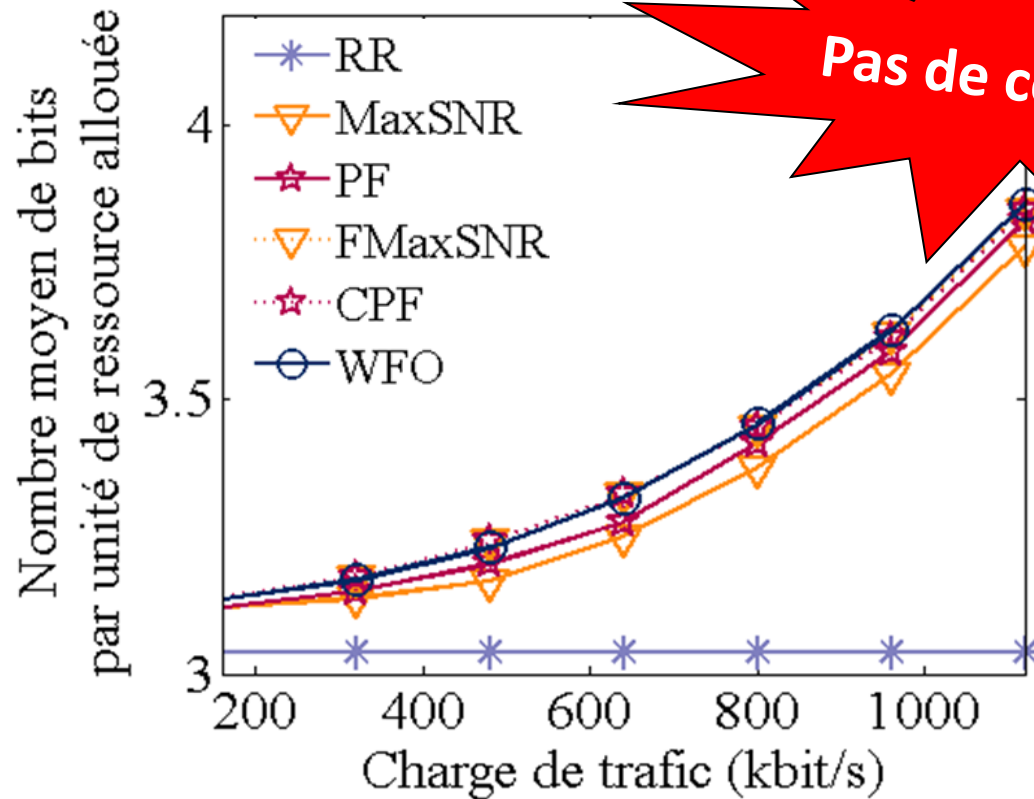


équité entre utilisateurs quelle que soit leur position

## NIVEAU D'INSATISFACTION



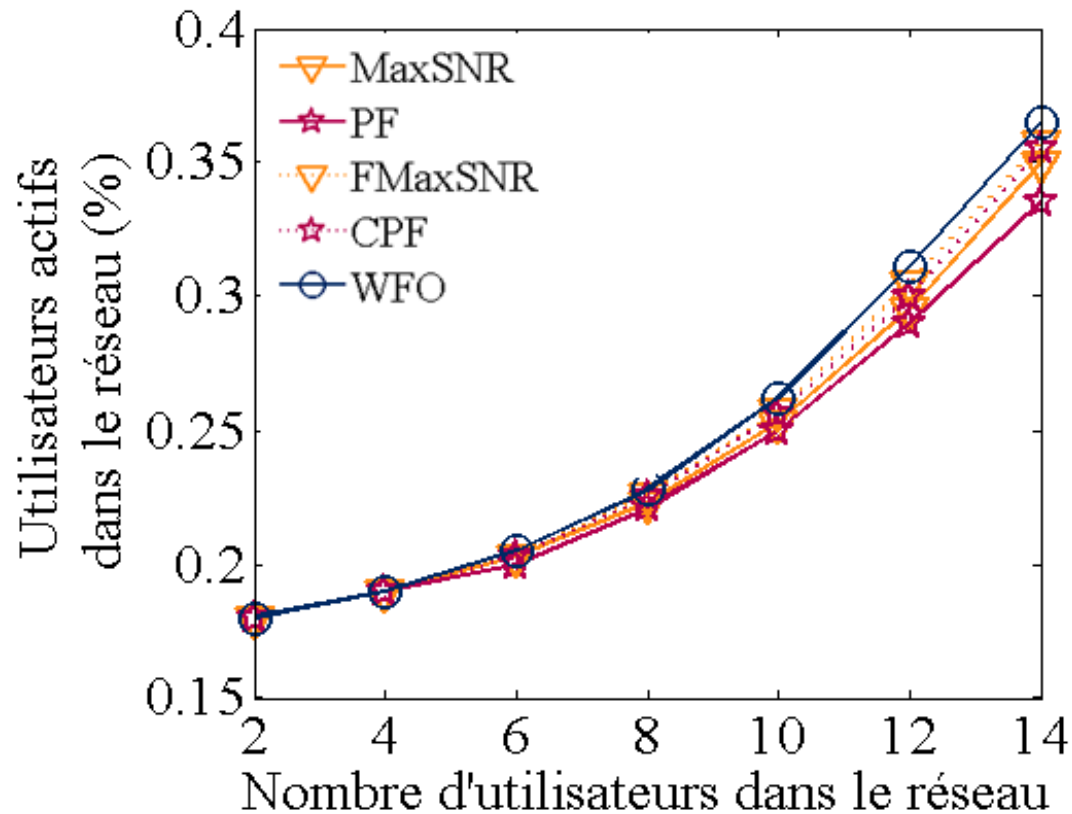
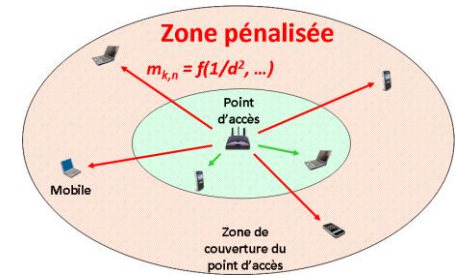
## DÉBIT MOYEN PAR UNITÉ DE RESSOURCE



Meilleure utilisation de la bande passante



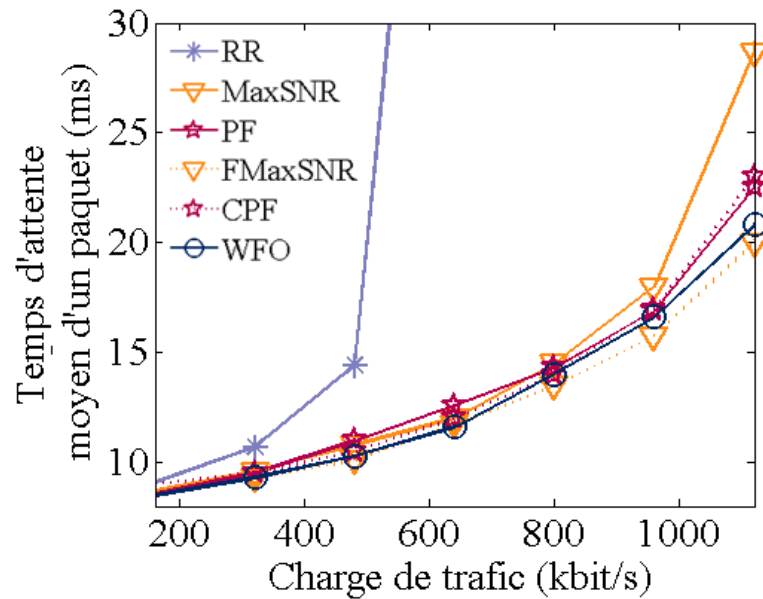
# DIVERSITÉ MULTI-UTILISATEUR



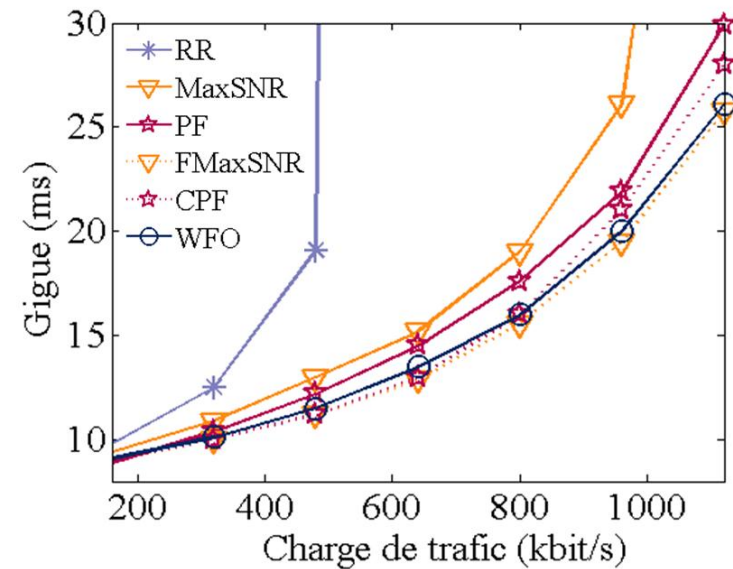
Conservation de la diversité multi-utilisateur

# RETARD ET GIGUE

## Retard moyen



## Gigue

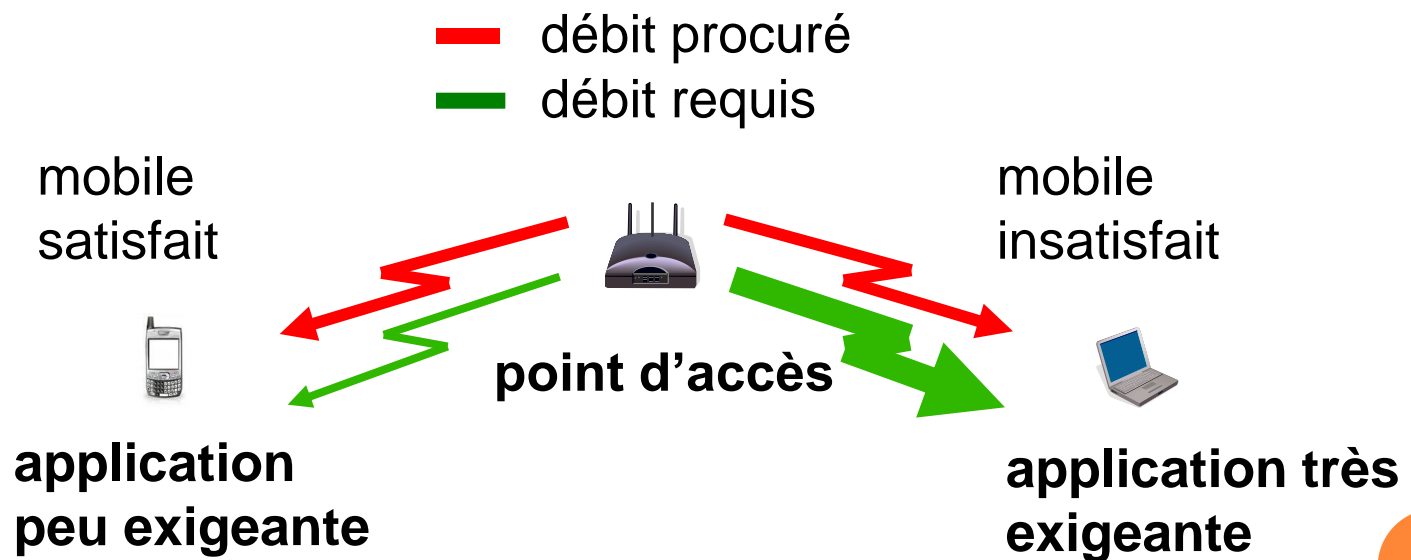


## ET LA DIFFÉRENCIATION DE SERVICE ALORS ?

Avantages :

- Débit → maximisation égale au MaxSNR et PF
- Équité → gestion efficace de la mobilité intracellulaire

Limite :



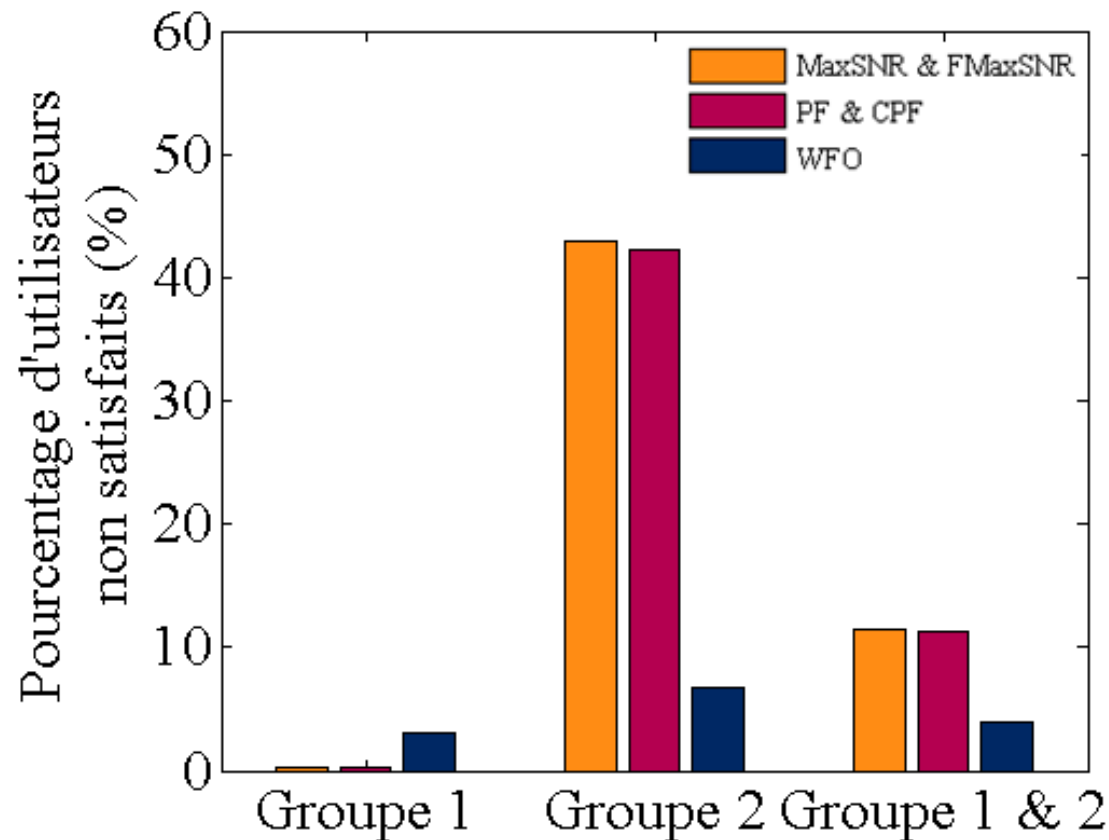
**Il faut différencier les services !!!**

## SCÉNARIO 2 : DIFFÉRENTS DÉBITS REQUIS

Mobiles :

- Même distance du point d'accès
- Mêmes contraintes temporelles
- Exigences différentes en termes de débit
  - Groupe 1 : débit requis de 80 kbit/s
  - Groupe 2 : débit requis de 240 kbit/s

## Scénario 2 : différents débits requis



## SCÉNARIO 3 :

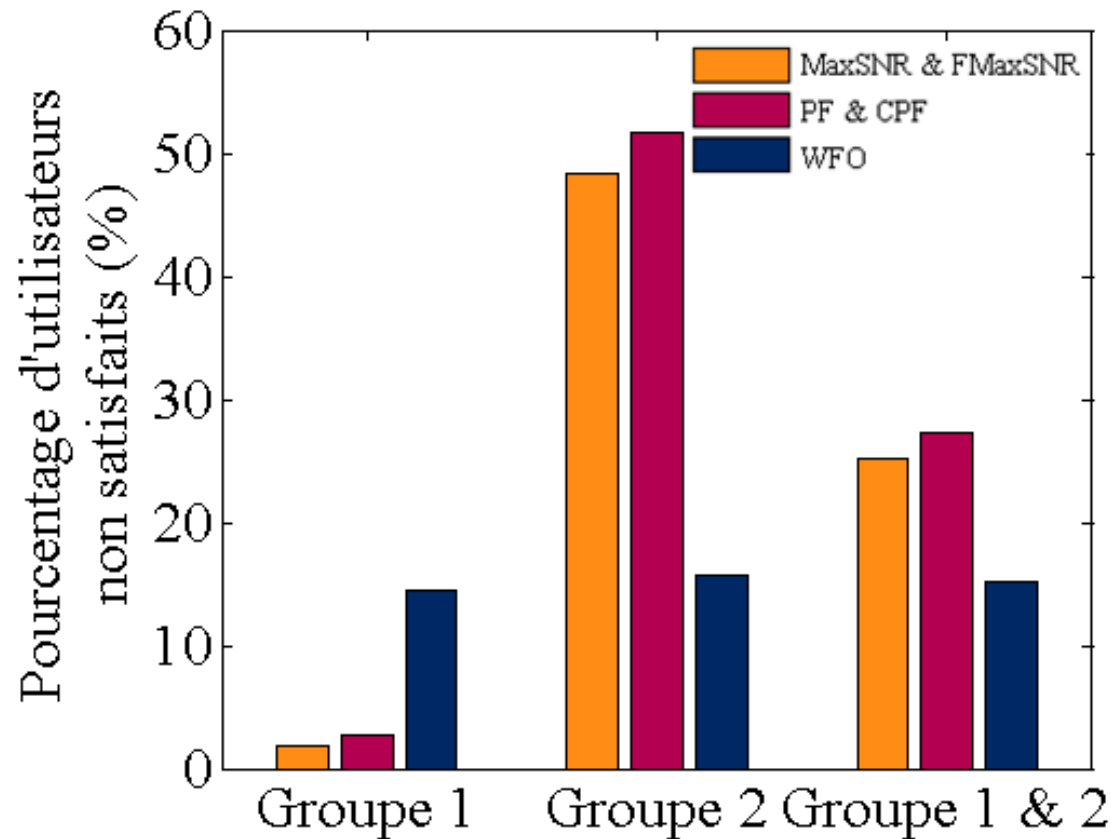
### DIFFÉRENTES CONTRAINTES TEMPORELLES

#### Mobiles :

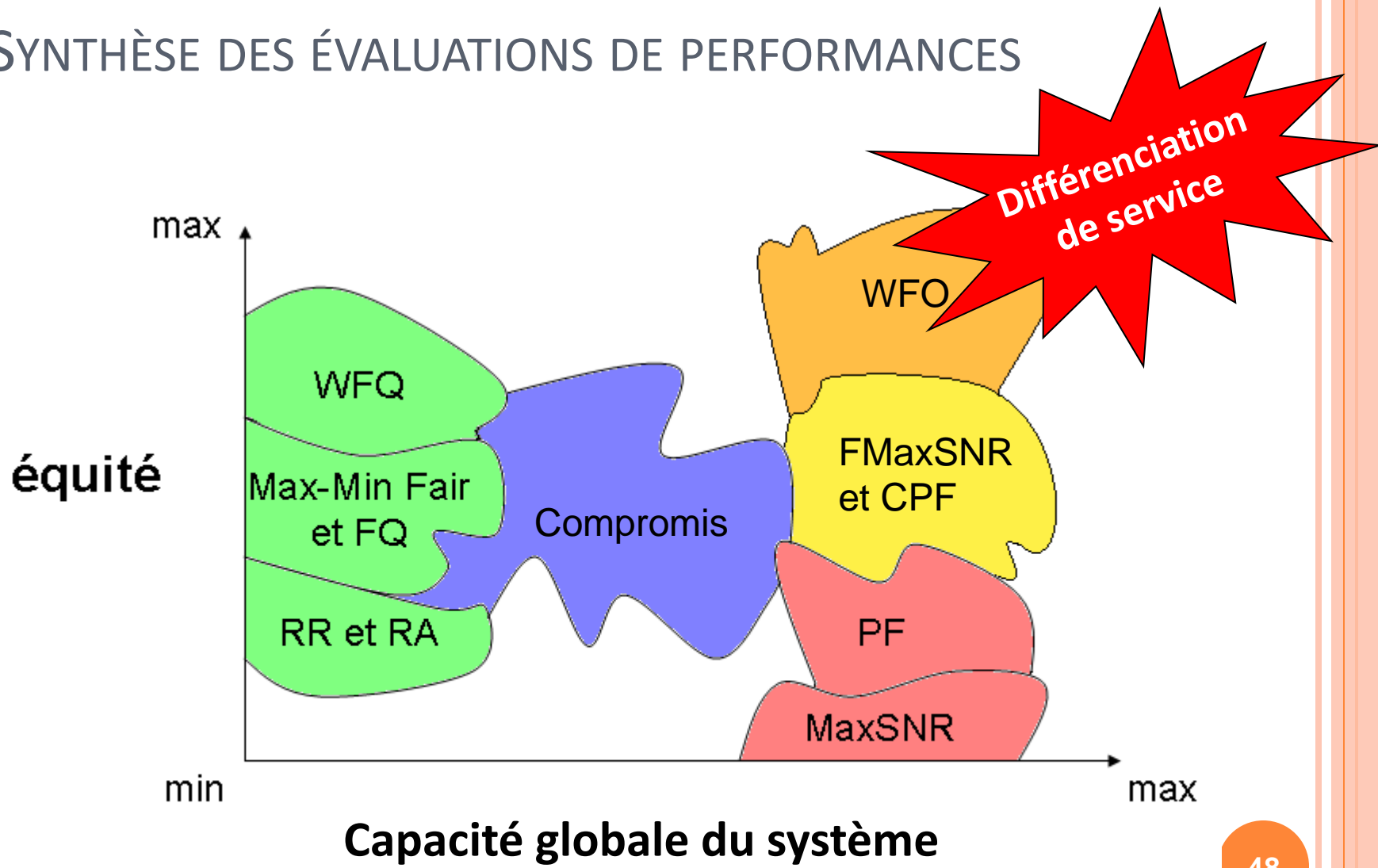
- Même distance du point d'accès
- Même exigence en termes de débit
- Contraintes temporelles différentes
  - Groupe 1 : contrainte de retard (  $T_k$  ) de 250 ms
  - Groupe 2 : contrainte de retard (  $T_k$  ) de 80 ms

# Scénario 3 :

## différentes contraintes temporelles



# SYNTHÈSE DES ÉVALUATIONS DE PERFORMANCES

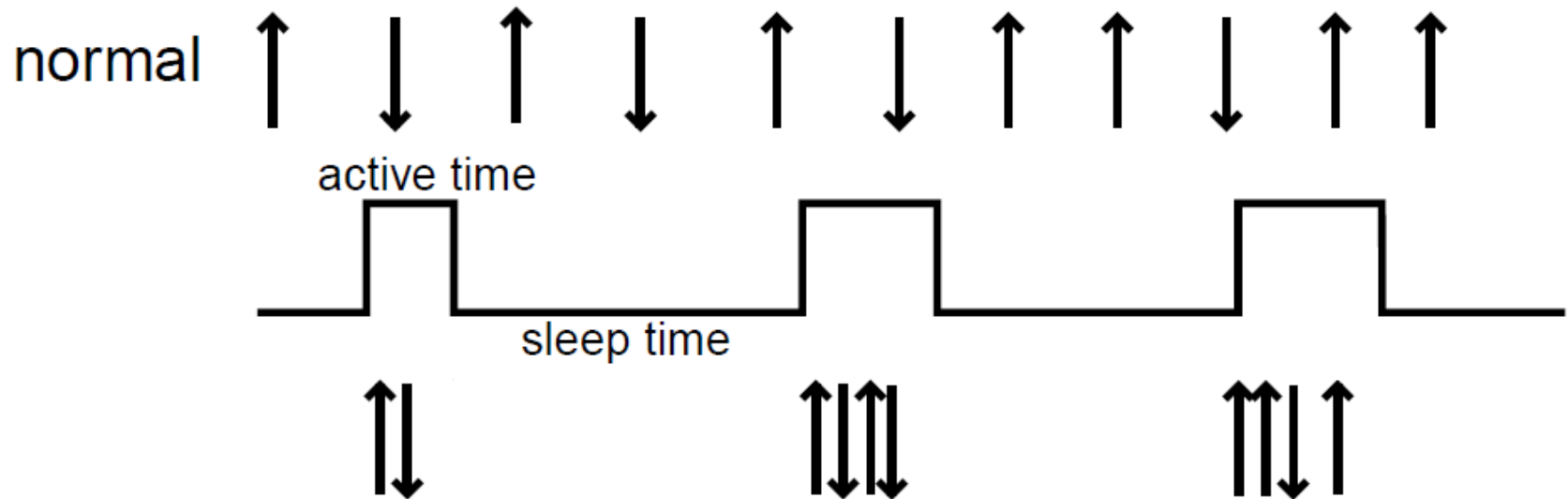




# PROBLÈMES POUVANT ÊTRE RÉSOLU PAR UNE BONNE ALLOCATION DE RESSOURCES

- Inéquité par rapport à la distance
- QoS/QoE et différenciation de service
- **Minimisation de l'énergie**
- Extension de la zone de couverture
- Optimisation des performance réseau en fonction du type de bande disponible

# Minimisation de la consommation énergétique : idée de base

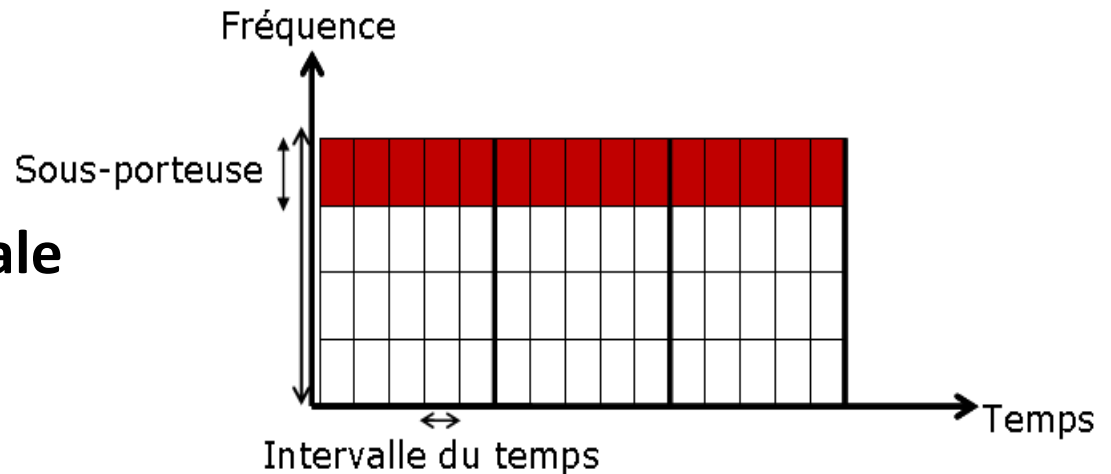


- Concentrer les transmissions
- Maximiser les temps de veilles

# MINIMISATION DE LA CONSOMMATION ENERGÉTIQUE

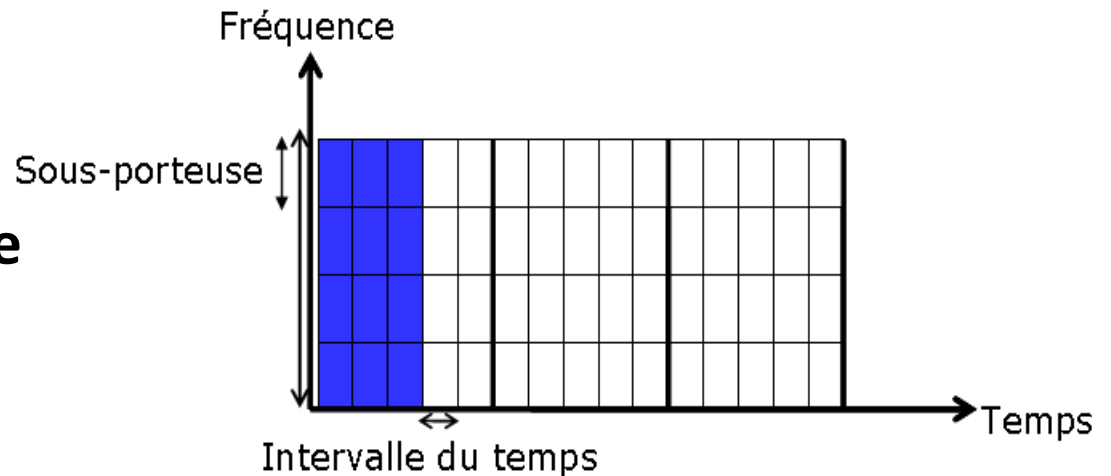
**MaxSNR**

→ **Allocation horizontale**



**OEA**

→ **Allocation verticale**



# Opportunistic Energy Aware Scheduler

## (OEA)

OEA principle is to allocate a Resource Unit (RU)  $n$  to the mobile  $k$  which provides the best “Bit Transmission Profitability” ( $BTP_{k,n}$  in bit/Watt) such as:

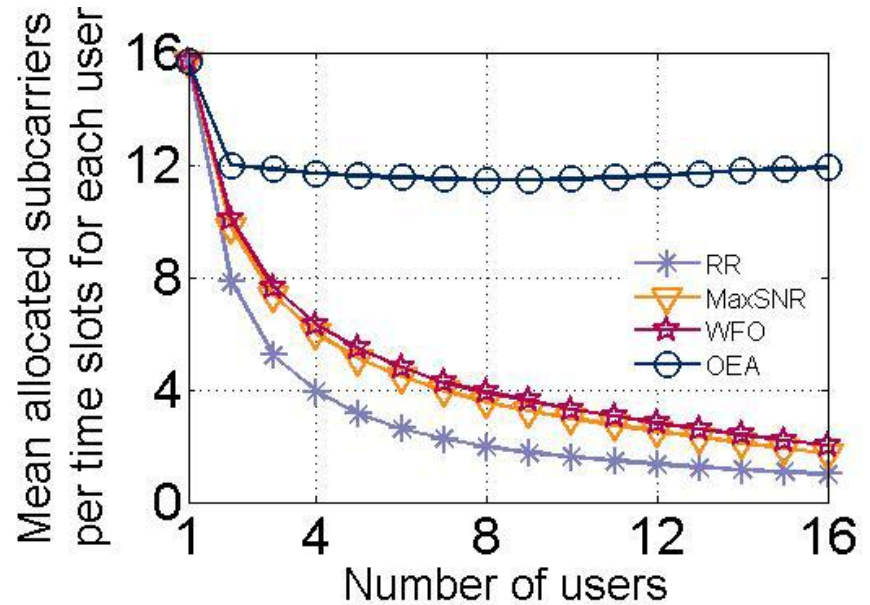
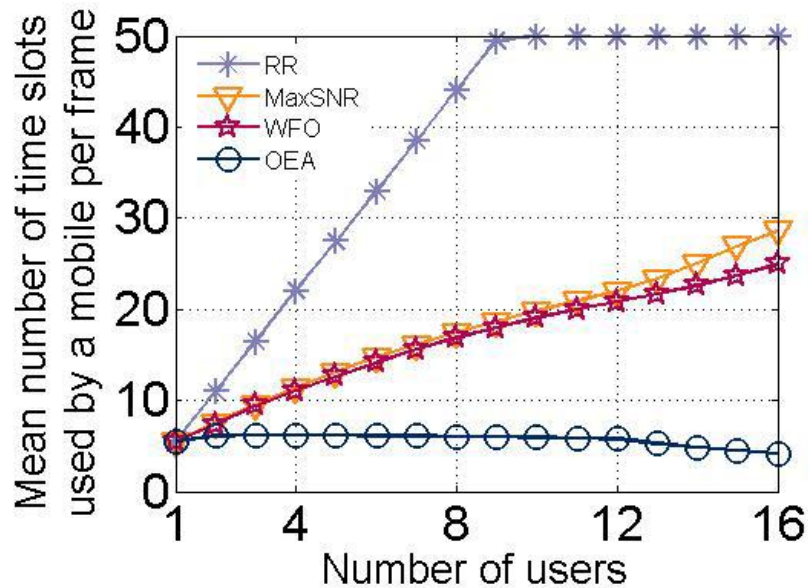
$$BTP_{k,n} = m_{k,n} / ETC_{k,n}$$

Achievable throughput for mobile  $k$  on RU  $n$

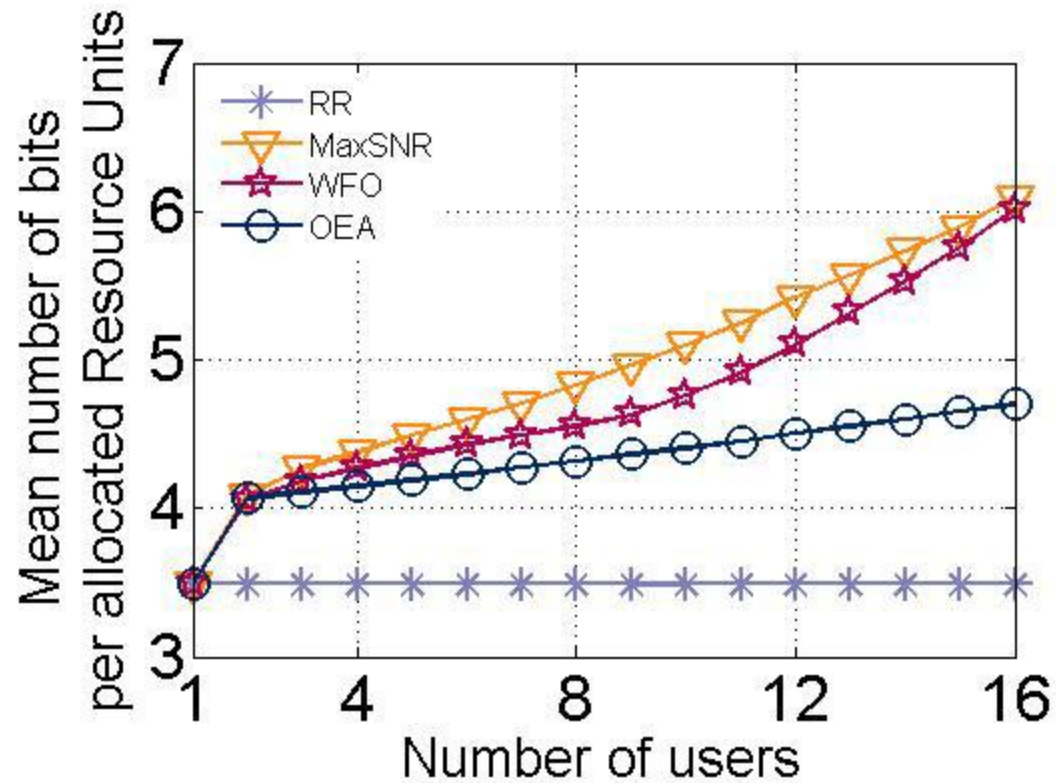
Energy cost for mobile  $k$  to transmit on RU  $n$

This provides the most profitable allocation in term of bit/Watt.

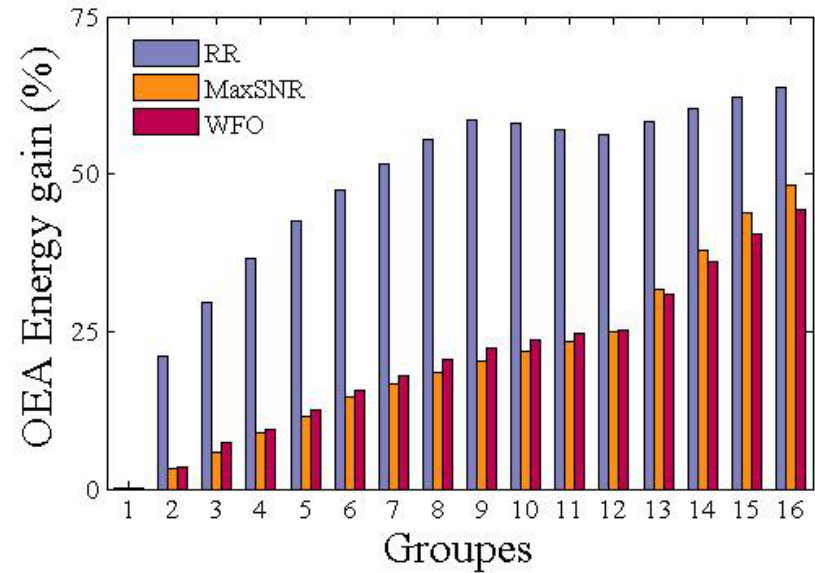
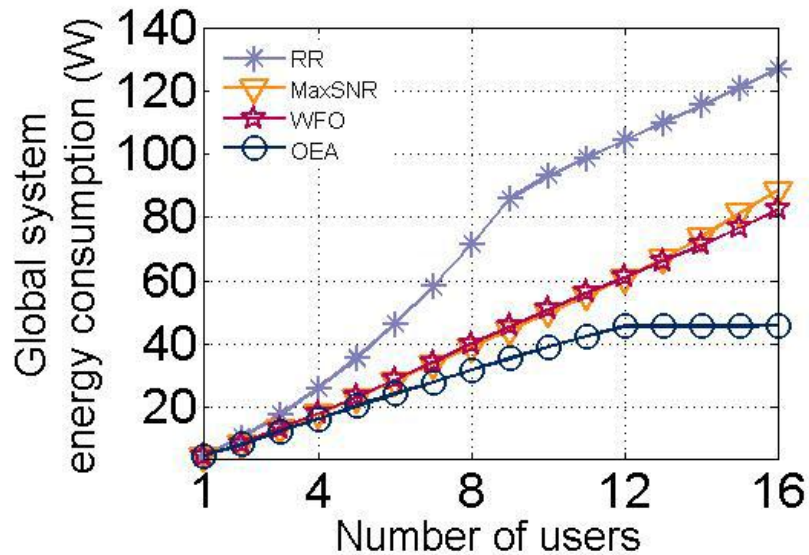
# Distribution des URs



# Conséquences sur “l’opportunité”



# Gain énergétique



# QUESTIONS

- Dans une allocation UR par UR, les ordonnanceurs suivant procurent-ils une allocation verticale ou horizontale ?
  - RR
  - RA
  - PF
  - MaxSNR
  - CPF
  - WFO





# RÉPONSES

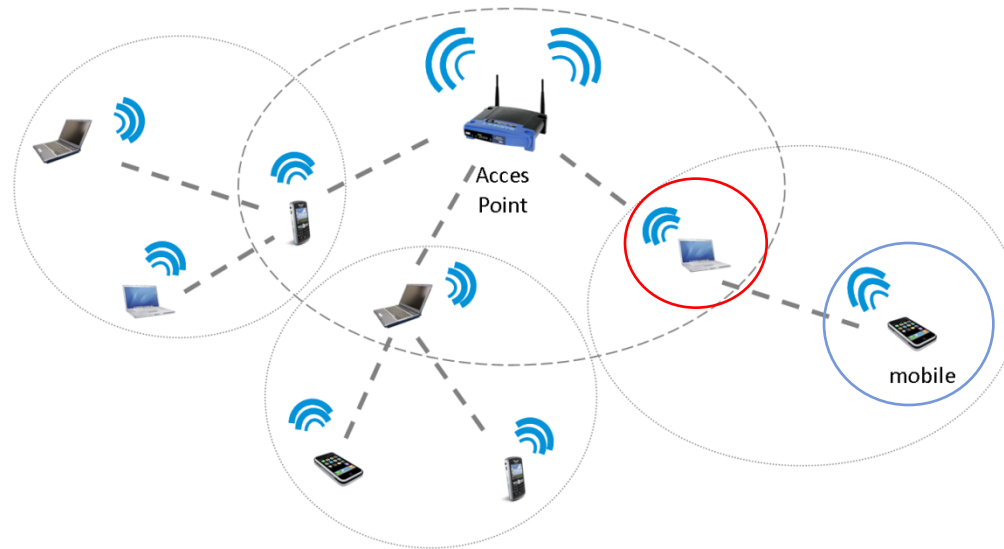
- Dans une allocation UR par UR, les ordonnanceurs suivant procurent-ils une allocation verticale ou horizontale ?
  - RR => ca dépend si on considère d'abord les fréquences puis les time slots ou l'inverse
  - RA => mixte
  - PF => horizontale
  - MaxSNR => horizontale
  - FmaxSNR => horizontale
  - WFO => horizontale



# PROBLÈMES POUVANT ÊTRE RÉSOLU PAR UNE BONNE ALLOCATION DE RESSOURCES

- Inéquité par rapport à la distance
- QoS/QoE et différenciation de service
- Minimisation de l'énergie
- **Extension de la zone de couverture**
- Optimisation des performance réseau en fonction du type de bande disponible

# EXTENSION DE LA ZONE DE COUVERTURE D'UN POINT D'ACCÈS



Le coût d'une coopération éventuelle d'un noeud peu être elevée en terme de:

- Bande passante, débit et QoS
- D'énergie

⇒ Cela ne motive pas les noeud a coopérer!

# COVERAGE EXTENSION BASED ON INCENTIVE SCHEDULER FOR MOBILE RELAYING NODES IN WIRELESS NETWORKS

- Encourager via le scheduling les utilisateur qui accepte de relayer des information
- La priorité d'un mobile  $k$  est déterminée par la valeur du paramètre CEI tel que :

$$CEI_{k,n} = m_{k,n} \times \frac{R_k}{D_k} \times T_k$$

*Etat du  
cannal  $n$   
pour  
l'utilisateur  $k$*

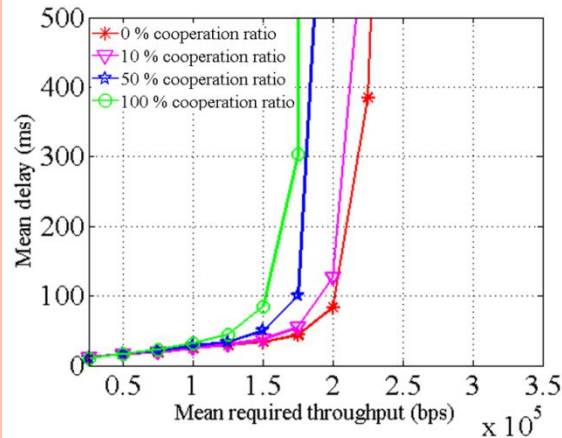
*Taux de  
coopération du  
mobile*

*Paramètre de  
sécurité*

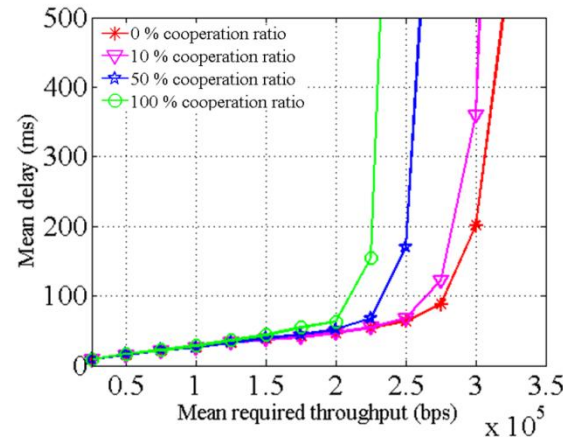
# SIMULATION RESULTS

*Pas de perte  
de débit*

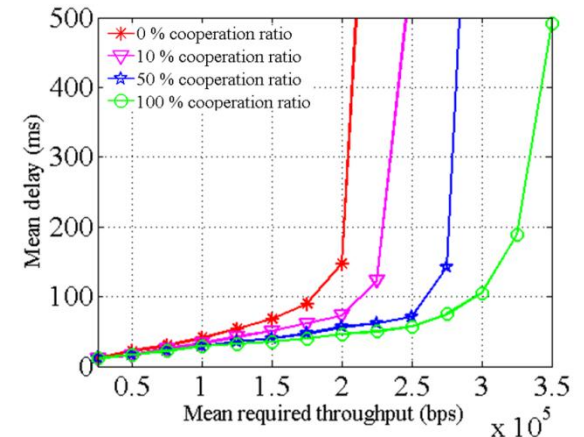
**With Round Robin**



**With MaxSNR**



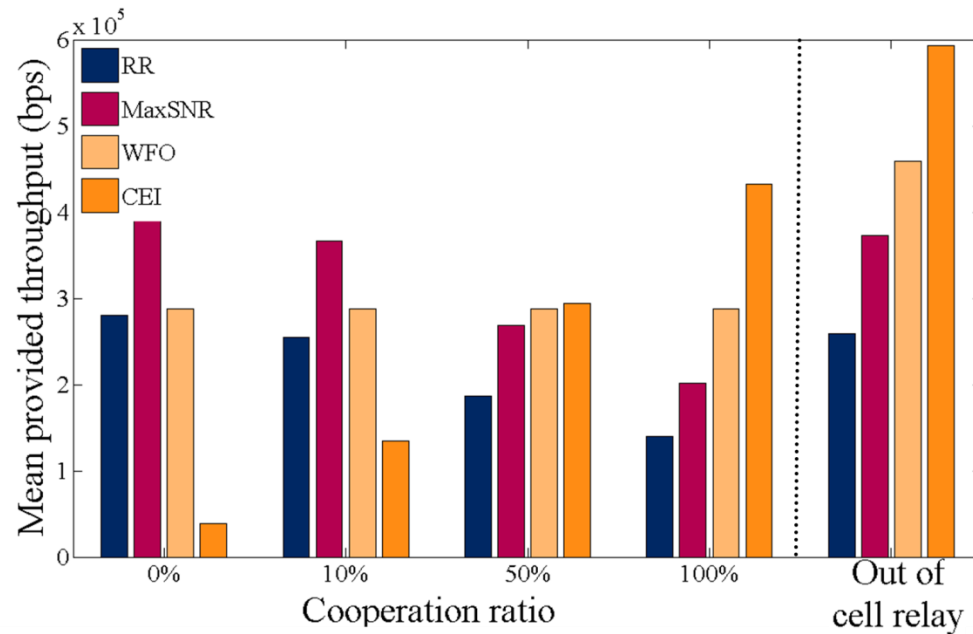
**With CEI**



***Délai moyen mesuré en fonction de différents taux de coopération.***

- Scheduler classiques: plus on coopère, moins on a de ressource pour ces propre communications
- CEI scheduler: Plus on coopère, plus on est récompensé!

## SIMULATION RESULTS

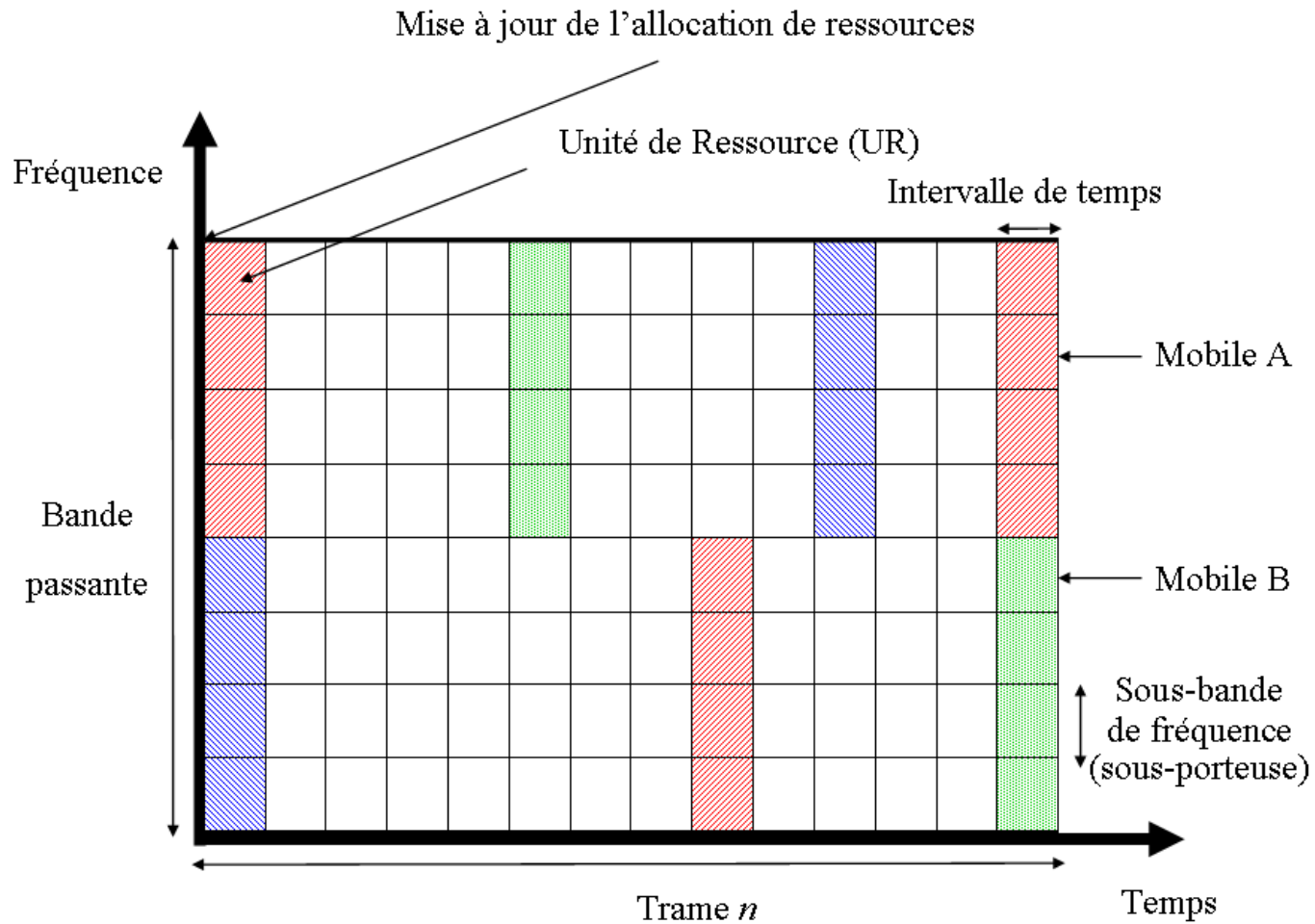


- Les mobiles restent libre de coopérer ou non mais sont récompensé s'il le font puisqu'ils contribuent activement au bon fonctionnement du réseau

# PROBLÈMES POUVANT ÊTRE RÉSOLU PAR UNE BONNE ALLOCATION DE RESSOURCES

- Inéquité par rapport à la distance
- QoS/QoE et différenciation de service
- Minimisation de l'énergie
- Extension de la zone de couverture
- **Optimisation des performance réseau en fonction du type de bande disponible**

# DIVERSITÉ FRÉQUENTIELLE





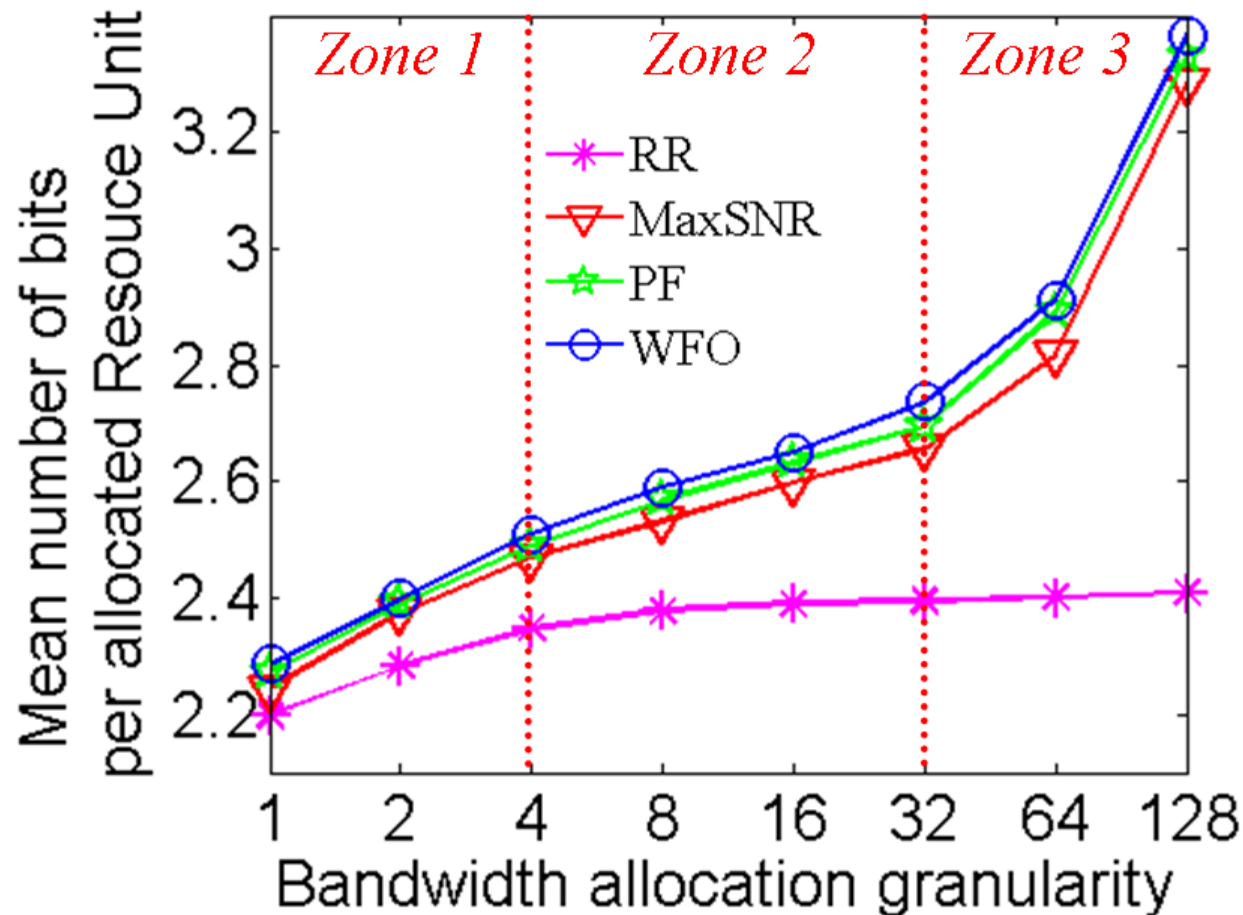
# DIVERSITÉ FRÉQUENTIELLE

- Diversité fréquentielle
  - Faible (=1) : 1 groupe de 128 porteuses (de 1 time slot)
    - + Facile à gérer et peu d'overhead dû à la signalisation
    - Faible efficacité spectrale
  - Élevée (=128) : 128 groupes de 1 porteuse (de 1 time slot)
    - + Plus d'UR à allouer donc meilleure granularité (moins de gaspillage, allocation plus fine)
    - + Meilleure efficacité spectrale pour les ordonnanceurs opportunistes
    - Overhead bien plus élevé (128 fois plus de signalisation)

# LA FORCE...

Diversité fréquentielle ↗  $\Rightarrow$  Efficacité spectrale ↗

# DIVERSITÉ FRÉQUENTIELLE VS EFFICACITÉ SPECTRALE

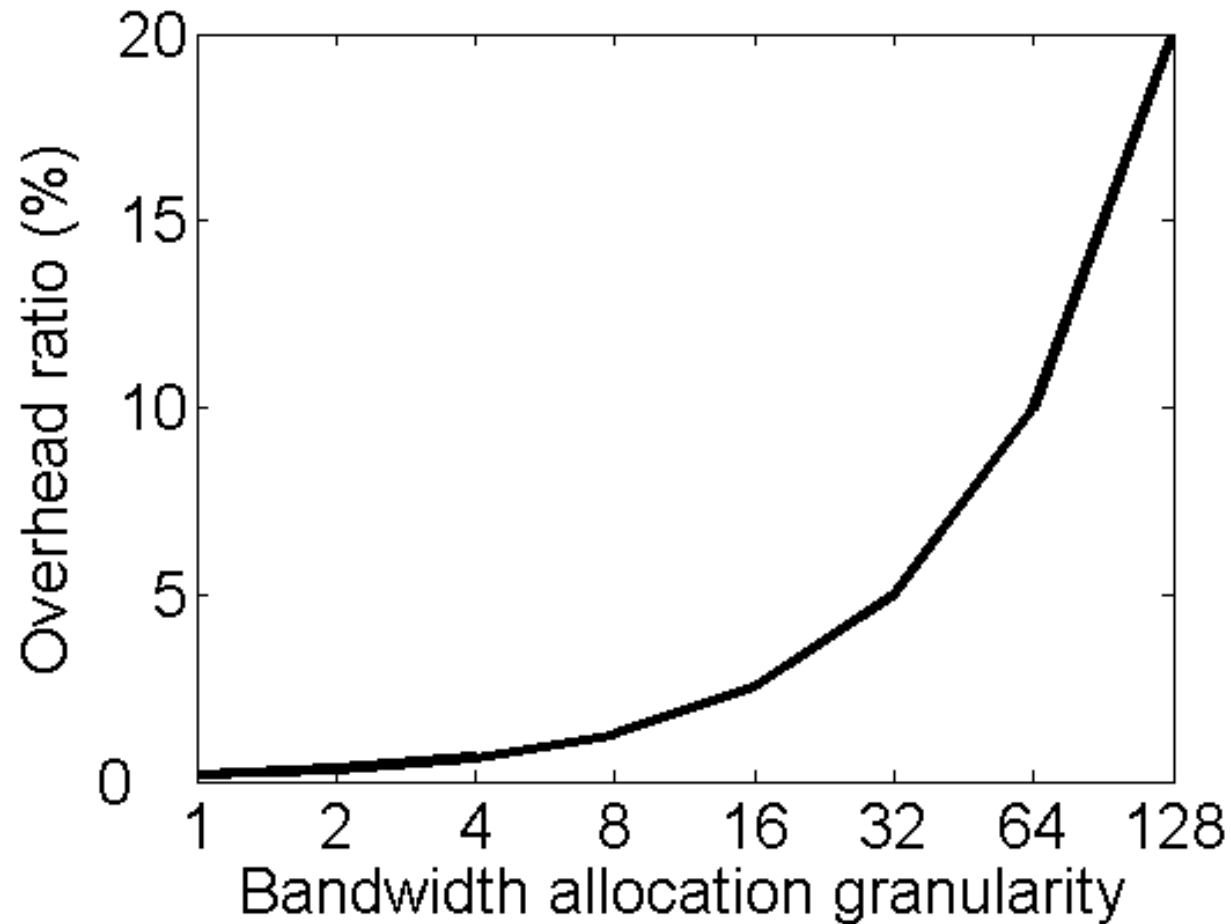


## LE COTÉ OBCUR DE LA FORCE...

Diversité fréquentielle ↗  $\Rightarrow$  Efficacité spectrale ↗

Diversité fréquentielle ↗  $\Rightarrow$  overhead ↗

## DIVERSITÉ FRÉQUENTIELLE VS OVERHEAD



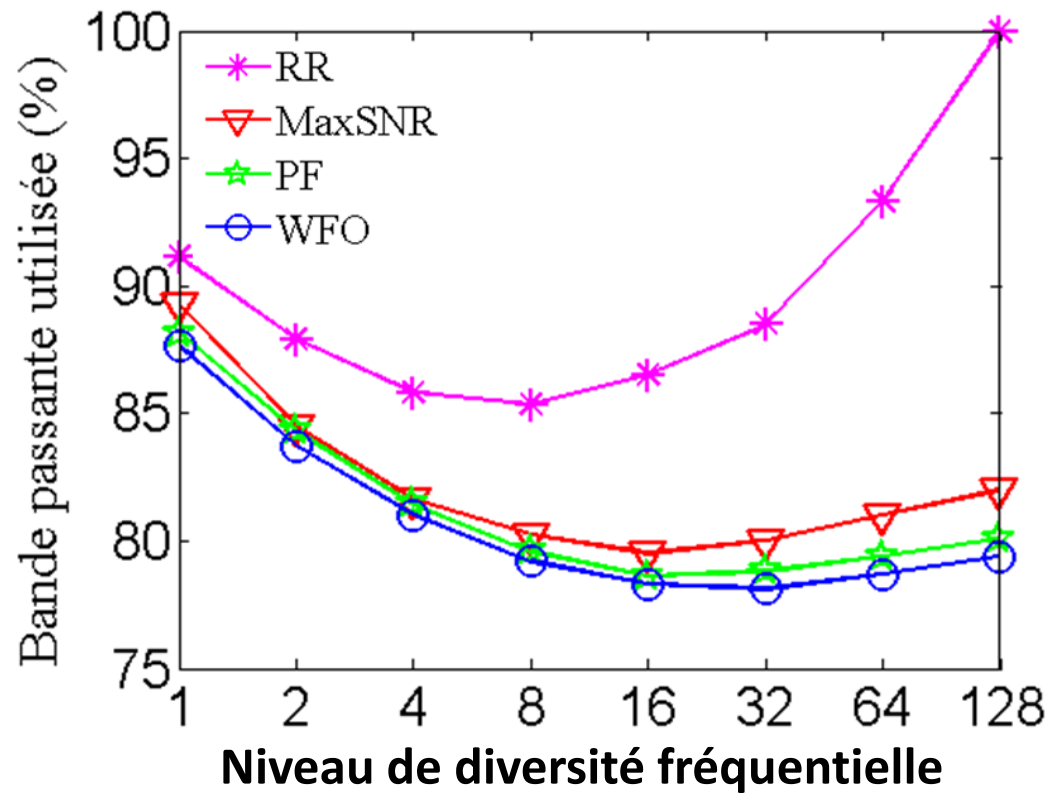
## LE COTÉ OBCUR DE LA FORCE...

Diversité fréquentielle ↗  $\Rightarrow$  Efficacité spectrale ↗

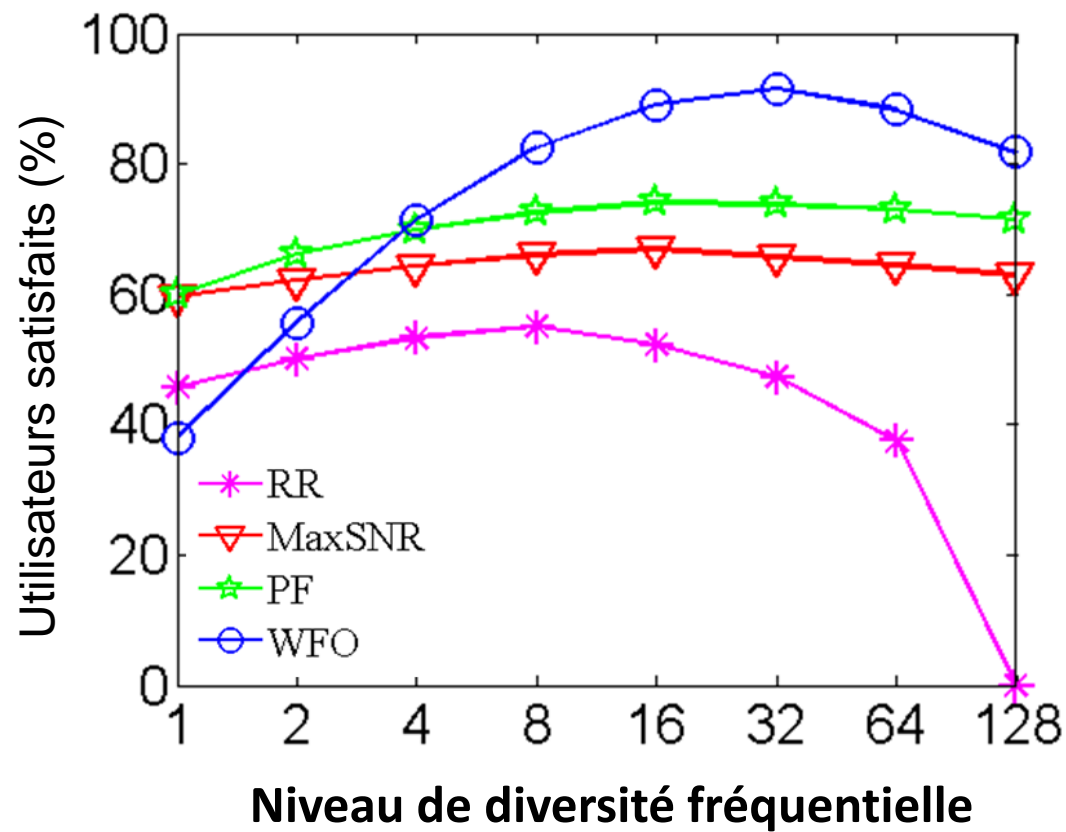
Diversité fréquentielle ↗  $\Rightarrow$  overhead ↗

Résultats ???

# DIVERSITÉ FRÉQUENTIELLE ET BANDE PASSANTE RÉSIDUELLE



# DIVERSITÉ FRÉQUENTIELLE ET NIVEAU DE SATISFACTION





# BILAN

Dans les réseaux sans fil:

- Négliger l'importance des conditions radio est une erreur
- le choix de l'algorithme d'allocation de ressource est primordiale!!!
  - Pour le débit
  - Pour la QoS et la QoE
  - Et tous les autres critères de performance...

# QUESTIONS

D'une manière générale, les allocations de ressources opportunistes actuelles consistent à allouer la sous-porteuse  $n$ , pour un intervalle de temps fixé, à l'utilisateur  $j$  avec :

$$j = \operatorname{argmax}_k \left( \frac{m_{k,n}^\alpha}{M_{k,n}^\beta} \right), \quad k = 1, \dots, K,$$

le paramètre  $\alpha$  permet d'avoir une allocation plus ou moins opportuniste et  $\beta$  permet d'apporter plus ou moins d'équité.

Quel algorithme obtient-on si :

$\alpha = 0$  et  $\beta = 0$  ?

$\alpha = 1$  et  $\beta = 0$  ?

$\alpha = 1$  et  $\beta = 1$  ?

Pour ce dernier, quels sont à votre avis, les forces et faiblesses de cette solution.

# QUESTIONS...

- **Que choisiriez vous comme ordonnanceurs sachant que tout les utilisateurs sont à une même distance du point d'accès :**
  - **Dans un réseau où tous les utilisateurs ont les même besoins ?**
  - **Dans un réseau où certains utilisateurs ont payé pour avoir la priorité ?**
- **Discuter de la pertinence de vos choix dans le cas ou tout les utilisateurs ne sont pas à la même distance du point d'accès**
- **Idem dans le cas ou on inclurait la mobilité**