

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البلدية  
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك  
Département d'Électronique



## Mémoire de Master

Faculté : Électronique  
Spécialité : Réseaux et Télécommunications

présenté par

GOURAYI Ahlem

# Efficacité Energétique dans les Systèmes MIMO Massive

Proposé par : M<sup>elle</sup> BOUCHIBANE Fatima Zohra & Mr BENSEBTI Messaoud

Année Universitaire 2015-2016

## Remerciements

---

*Je remercie « Allah » le tout puissant qui m'a donné la santé, la volonté, la patience et le courage tout au long de mes études et au cours de la réalisation de ce modeste travail.*

*J'aimerais tout d'abord remercier chaleureusement mes encadreurs, Mr BENSEBTI Messaoud, pour son esprit scientifique et sa pédagogie et M<sup>elle</sup> BOUCHIBANE Fatima Zohra pour sa vision innovante des nouvelles techniques et sa rigueur. Ils ont tous les deux permis, à travers leurs orientations, de surmonter la plupart des défis rencontrés. Ils représentent de véritables chercheurs scientifiques qui ont su me faire profiter de leurs expériences ainsi que de leur grande culture scientifique.*

*Je remercie aussi toute l'équipe CDTA, et tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail*

*Je tiens à adresser ma reconnaissance à tous mes profs et en particulier ceux et celles qui ont su m'encourager et m'aiguiller à tout moment.*



# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui me sont chers, je cite en premier lieu mes irremplaçables parents, qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance et m'ont octroyé de nobles valeurs.*

*Mon adorable sœur Imen, et mes chers frères*

*Islem et Mohamed,*

*mes chères Eysane et fati.*

*Toute ma famille et mes proches amis et amies.*

*Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Moi-même et à tous ceux qui m'aiment*

*Ahlem*

بما أننا نحرز تقدماً نحو الجيل 5 من الاتصالات اللاسلكية، تعتبر كفاءة استخدام الطاقة (EE) أحد المعايير الهامة للوصول للأهداف المسطرة في 'الاتصالات خضراء'. واحدة من التقنيات المقترحة للتعامل مع هذه المشكلة هي الهوائيات المتعددة للمستخدمين متعددين MU-MIMO، خاصة عندما يصبح عدد الهوائيات كبيرة جداً "Massive MIMO". في هذه الدراسة نستخدم إحدى خوارزميات الأدلة العليا (مستعمرة النحل اصطناعية)، بغية تحقيق أقصى قدر من الكفاءة في استخدام الطاقة حيث نسعى إلى إيجاد العدد الأمثل من هوائيات في الخلية الواحدة تبعاً للعدد المستخدمين، لتجنب تفعيل جميع الهوائيات، الذي يسبب تدهور في استخدام لكفاءة الطاقة.

كلمات المفاتيح : هائل MIMO, كفاءة الطاقة, خوارزمية ABC .

---

### Résumé :

Comme nous faisons des progrès vers l'ère de la 5G, l'efficacité énergétique (EE) est un critère de conception important pour répondre aux objectifs des "communications vertes". L'une des stratégies permettant de traiter ce problème est les communications multi-antennes multi-utilisateurs (multi-input multi-output), notamment lorsque le nombre d'antennes devient très grande « Massive MIMO ». Dans le cadre de cette étude on utilise un algorithme métaheuristique colonies d'abeilles artificielles, afin de maximiser l'efficacité énergétique ou on cherche à trouver le nombre optimal des antennes à activer dans une cellule selon le nombre des utilisateurs, pour éviter d'activer toutes les antennes, ce qui provoque une dégradation d'efficacité énergétique.

**Mots clés :** Massive MIMO, Efficacité énergétique, Algorithme Colonies d'Abeilles Artificielles

---

### Abstract :

As we make progress towards the era of 5G communication networks, energy efficiency (EE) has become an important design criterion because it guarantees sustainable evolution. One of the strategies to address this problem is the multi-antenna communication multi-user multi-input multi-output (MU-MIMO), especially when the number of antennas becomes very large "Massive MIMO". In this study we use Metaheuristic algorithms Artificial Bee Colony to maximize the energy efficiency, by trying to find the optimal number of antennas to serve the number of users in the cell, to avoid activating all antennas, which causes degradation of energy efficiency.

**Keywords :** massive MIMO, energy efficiency, algorithm Artificial Bee Colony.

---

## *Table des matières :*

Introduction générale .....	1
1. chapitre 1 : les Systèmes Massive MIMO	
1.1 Introduction :.....	3
1.2 Système MIMO :.....	3
1.2.1 La diversité spatiale MIMO : .....	4
1.2.2 Le multiplexage spatial MIMO :.....	4
1.2.3 Le MIMO Beamforming : .....	5
1.3 Système Massive MIMO : .....	5
1.3.1 La configuration des antennes massive MIMO : .....	5
1.3.2 Points principaux de Massive MIMO: .....	6
1.4 Les avantages des systèmes Massive MIMO :.....	9
1.4.1 La capacité de système massive MIMO :.....	9
1.4.2 L'efficacité spectrale des systèmes Massive MIMO :.....	10
1.4.3 L'efficacité énergétique des systèmes massive MIMO :.....	11
1.4.4 La couche d'accès multiple Massive MIMO :.....	13
1.4.5 La réduction du temps de latence : .....	13
1.5 Défis des systèmes Massive MIMO :.....	13
1.5.1 La contamination des séquences pilotes : .....	13
1.5.2 Propagation Défavorable :.....	14
1.6 Conclusion : .....	15
chapitre2: l'Efficacité Energétique	
2.1 Introduction :.....	16
2.1.1 Les préoccupations économiques :.....	17
2.1.2 Préoccupations environnementales : .....	17
2.2 Comment Éviter la crise de l'énergie :.....	17
2.2.1 L'allocation des ressources :.....	18
2.2.2 La planification et le déploiement du réseau :.....	18
a Réseaux DENSES:.....	18
b Offloading TECHNIQUE: .....	20
2.2.3 La récolte de l'énergie et le transfert .....	20

A- Récupération de l'énergie de l'environnement : .....	21
B- Récupération d'énergie radiofréquence : .....	21
2.2.4 Les solutions matérielles : .....	21

### Chapitre 3: Simulation et résultats

3.1 Introduction : .....	22
3.2 Le modèle de système : .....	22
3.2.1 Modèle de canal et la transformation linéaire : .....	23
3.3 Problématique : .....	26
3.3.1 Définition d'efficacité énergétique [bit/Joule]: .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.3.2 Optimisation de l'efficacité énergétique par l'algorithme des colonies d'abeilles artificielles ABC: .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.4 Description de l'algorithme : .....	26
3.4.1 Phase d'initialisation : .....	27
3.4.2 Phase d'abeilles employées : .....	28
3.4.3 Phase de sélection probabiliste : .....	28
3.4.4 Phase d'abeille spectateur : .....	29
3.4.5 Phase d'abeille scoute : .....	29
3.5 L'application de l'algorithme ABC pour les systèmes Massive MIMO : ...	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.5.1 Phase d'initialisation : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.5.2 Phase d'abeilles employées : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.5.3 Phase de sélection probabiliste : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.5.4 Phase d'abeille spectateur : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.5.5 Phase d'abeille scoute : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.6 Résultat de simulation : .....	33
3.6.1 Identification des paramètres de contrôle de l'algorithme ABC .....	35
3.6.2 Le nombre d'antennes : .....	39
3.7 Discussion des résultats : .....	40

### Chapitre 5 : conclusion générale



## Liste des figures :

Figure 1.2.1 Multiplexage spatial avec un flux de données émis au même instant, sur la même fréquence.....	4
Figure 1.2.2 la technique de beamforming.....	5
Figure 1.3.1 illustration des antennes massive MIMO : configuration linéaire, cylindrique et rectangulaire.....	6
Figure 1.3.2.1 Les modes FDD et TDD des voix montantes et descendantes du système massif MIMO.....	8
Figure 1.1.2.2 Représentation de précodage dans les systèmes Massive MIMO.....	9
Figure 1.1.3 L'amélioration de l'efficacité spectrale et de la puissance rayonnée de technologie Massive MIMO.....	12
Figure 1.1.1 Illustration du concept de pilote contamination. (A) liaison montante (b) liaison descendantes.....	14
Figure 2.1 Évolution de la configuration du réseau cellulaire. Disposition traditionnelle à gauche, Présentation de 5G sur la droite.....	19
Figure 1.1 Illustration d'un scénario multi-usager massive MIMO : une $BT_S$ avec M antennes omnidirectionnelles communique avec K usagers UE avec une seule antenne. Les usagers sont distribués aléatoirement dans la cellule.....	26
Figure 3.5.5.1 Organigramme de l'algorithme d'optimisation ABC.....	32
Figure 1.1.2.1 L'efficacité énergétique (en bit / Joule) en fonction de nombre d'itérations, pour un nombre de limite=10, Foods=8, maxCycle=12000, et runtime=5.....	33
Figure 1.1.1.2 L'efficacité énergétique (en bit / Joule) en fonction de nombre d'itérations, pour un nombre de limite=100, Foods=8, maxCycle=12000, et runtime=5.....	34
Figure 1.1.1.3 L'efficacité énergétique (en bit / Joule) en fonction de nombre d'itérations, pour un nombre de limite=10, Foods=4, maxCycle=12000, et runtime=5.....	34
Figure 1.1.1.4 L'efficacité énergétique (en bit / Joule) en fonction de nombre d'itérations, pour un nombre de limite=100, Foods=4, maxCycle=12000, et runtime=5.....	35
Figure 1.1.1.5 Figure l'efficacité énergétique pour un CS=40 en fonction de différentes limites.....	36
Figure 1.1.1.6 Figure L'efficacité énergétique pour un CS=30 en fonction de différentes limites.....	37
Figure 1.1.1.7 Figure L'efficacité énergétique pour un CS=30 en fonction de différentes limites.....	37
Figure 1.1.1.8 Figure L'efficacité énergétique pour un CS=30 en fonction de différentes limites.....	38
Figure 1.1.1.9 représente en 3D des valeurs optimales de $M_{opt}$ et $K_{opt}$ en fonction de l'EE.....	38

Figure 1.1.1.10 représente en 3D des valeurs optimales de $M_{opt}$ et $K_{opt}$ en fonction de l'EE.....	39
Figure 1.1.3.1 Le nombre d'antennes optimales en fonction de l'efficacité énergétique.....	39
Figure 1.1.4.2 l'Efficacité énergétique en fonction de nombre d'antennes $M_{opt}$ et de nombre d'utilisateurs $K_{opt}$ .....	41
Figure 4.2.2 La valeur de nombre d'antennes optimale en fonction de l'efficacité énergétique.....	41

## ***Liste des tableaux :***

Table 3.3.2.1 Coefficients correspondants à la consommation en puissance.....	26
Table 3.3.2.2 Paramètres de la simulation.....	26
Table 3.6.1 .1 Paramètres de simulation.....	33
Table 3.6.1.2 les valeurs moyenne de l'EE, de nombre d'antennes Mopt, de nombre d'utilisateur Kopt et de temps d'exécution.....	36
Table 3.7 Paramètre de simulation.....	40

## ***Liste des acronymes et abréviations :***

**ABC:** Artificial Bee Colony.

**BS:** Base Station.

**CSI:** Channel State Information.

**CS:** Size Colony.

**D2D:** Device-to-Device.

**DL:** Downlink.

**EE:** Energy Efficiency.

**FDD:** Frequency Division Duplexing.

**ICT:** Information and Communication Technologies.

**Lb:** Low Band.

**METIS:** Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society.

**MIMO:** Multiple-Input Multiple-Output.

**MMSE:** Minimum Mean Square Error.

**MRC:** Maximum Ratio Combining.

**MRT:** Maximum Ratio Transmission.

**OFDM:** Orthogonal Frequency Division Multiplexing.

**RAT:**Radio Access Technology.

**RF:** Radio Frequency.

**SN:** Number of Solution.

**SNR:** Signal-to-Noise Ratio.

**TDD:** Time Division Duplexing.

**Ub:** Up-Band.

**UE:** User Equipment.

**UL:** Uplink.

**VLC:** Visible Light Communication.

**WLAN:** Wireless Local Area Network.

**ZF:** Zero-Forcing.

**2D:** Two-Dimensional.

**3D:** Three-Dimensions.

# Introduction générale

---

Depuis plusieurs années, les technologies de l'information et de la communication connaissent un développement spectaculaire. Le trafic d'information augmente exponentiellement alors que l'évolution de l'efficacité énergétique des réseaux, définie généralement comme le rapport entre l'énergie utile en sortie du système et l'énergie totale fournie au système, n'augmente que de manière linéaire. Pour soutenir la demande de trafic, il est alors nécessaire de multiplier les équipements réseaux ce qui augmente la facture énergétique des opérateurs et les émissions de gaz carbonique. Devant l'urgence de la situation, de nombreux projets et consortiums ont été créés avec l'objectif de renforcer l'efficacité énergétique des réseaux. Tel que, GreenTouch™, et le projet METIS [1].

Dans cette étude, nous nous intéressons à l'optimisation d'énergie dans l'une des technologies clés de la cinquième génération de téléphonie mobile Massive multiple-entrée multiple-sortie MIMO. Cette nouvelle technique consiste à utiliser des dizaines ou des centaines d'antennes à la station de base pour servir des dizaines de terminaux, avec un gain important en termes d'efficacité énergétique et d'efficacité spectrale par rapport aux technologies traditionnelles de MIMO.

L'utilisation des antennes à grande échelle signifie des grands nombres des canaux radiofréquence (RF). En considérant la consommation électrique et le coût élevé des chaînes RF, une sélection d'antenne sera nécessaire pour les systèmes de communication sans fil Massive MIMO dans les deux extrémités de transmission et de réception finale. Pour cela, on propose l'utilisation d'un algorithme d'optimisation métaheuristique (Artificial Bee Colony), qui nous permet de trouver la combinaison (nombre d'antenne à la station de base/nombre d'utilisateurs) qui donne un maximum d'efficacité énergétique en premier temps.

Cette thèse est organisée en trois chapitre ;

Dans le premier chapitre, les différentes techniques proposées pour les systèmes MIMO seront présentées. Une extension vers les systèmes avec large nombre d'antennes dite massive MIMO sera exposée. L'avantage des Massive MIMO en termes de débit, efficacité énergétique ainsi que la contrainte de la contamination des séquences pilotes seront énoncés par la suite.

Dans le deuxième chapitre, on s'intéresse à l'efficacité énergétique des systèmes de communication sans fil de la cinquième génération de téléphonie mobile, commençons par les préoccupations économiques et environnementales ainsi que les solutions les plus utilisées pour les réduire, telle que l'allocation des ressources, la planification et le déploiement du réseau qui consiste à utiliser un réseau dense, pour servir le réseau en augmentant la quantité de matériel d'infrastructure déployée, et même la récolte de l'énergie (Récupération d'énergie de l'environnement et radiofréquence).

Le troisième chapitre présente le problème de maximisation de l'efficacité d'énergie par l'algorithme métaheuristique basée sur le comportement des abeilles appelé Artificial Bee colony dans un système multi-usager massive MIMO dans le cas d'une seule cellule. La maximisation de l'efficacité énergétique se fait en optimisant le nombre d'antenne à activer au niveau de la station de base pour servir un nombre optimal des usagers.

Les résultats des simulations seront présentés dans un dernier chapitre. L'algorithme ABC nécessite d'abord la détermination des valeurs appropriées à ses paramètres pour un fonctionnement performant. Par la suite les résultats de l'application de cet algorithme à la maximisation de l'efficacité énergétique seront présentés

On conclut par une synthèse des différents aspects vus dans cette thèse ainsi qu'une analyse des différents résultats obtenus.

# *Chapitre 1 : les Systèmes Massive MIMO*

---

## **1.1 Introduction :**

En 1984 M. Jack Winters a proposé un brevet sur l'utilisation des antennes multiples dans les systèmes de communications sans-fil au Bell Laboratories. Par la suite, de 86 à 95, plusieurs auteurs ont publié dans ce domaine. En 1996, Greg Rayleigh et Gérard J. Foschini ont inventé des nouvelles approches accroissant l'efficacité des systèmes MIMO. Aussi, il a été démontré que la capacité du canal MIMO augmente avec le nombre d'antennes de façon proportionnelle.

Dans ce chapitre nous allons présenter dans un premier temps, un résumé sur les systèmes MIMO. Ensuite, des généralités sur les systèmes massive MIMO seront exposés, telles que les avantages des systèmes massive MIMO, les défis, ainsi que les modèles de canal des systèmes massive MIMO.

## **1.2 Système MIMO :**

Les technologies MIMO utilisent des réseaux d'antennes en émission et/ou en réception afin d'améliorer la qualité du rapport signal sur bruit SNR et / ou le débit de transmission. Cela permet aussi de pouvoir diminuer le niveau d'émission des signaux radio afin de réduire la pollution électromagnétique environnante, mais aussi de prolonger l'autonomie des batteries dans le cas d'un téléphone.

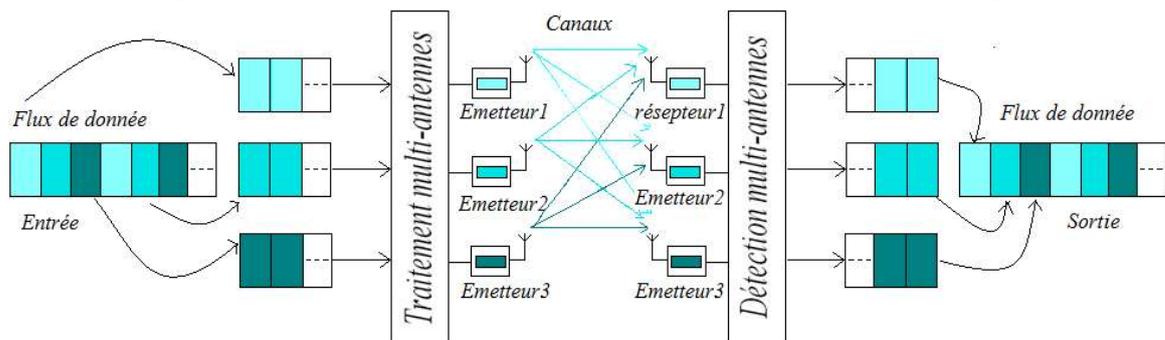
On peut considérer trois techniques principales de MIMO :

### 1.2.1 La diversité spatiale MIMO :

On transmet simultanément le même message sur différentes antennes à l'émission. Les signaux reçus sur chacune des antennes de réception seront ensuite remis en phase et sommés de façon cohérente. Une version simplifiée n'utilise le signal que d'une seule des antennes, celle qui reçoit le meilleur signal à un instant donné (antennes polarisées). Cela permet d'augmenter le SNR (grâce au gain de diversité) de la transmission. Pour que cette technique soit efficace, il faut que les sous-canaux MIMO soient décorrélés (indépendants) les uns des autres [2].

### 1.2.2 Le multiplexage spatial MIMO :

Chaque message est découpé en sous-messages. On transmet simultanément les sous-messages différents sur chacune des antennes d'émission. Les signaux reçus sur les antennes de réception sont réassemblés pour reconstituer le message d'origine. Comme pour la diversité MIMO, les sous-canaux de propagation doivent être décorrélés. Le multiplexage MIMO permet d'augmenter les débits de transmission (grâce au gain de multiplexage). Les techniques de diversité et de multiplexage MIMO peuvent être appliquées conjointement [2].



**Figure 1.2.1** : Multiplexage spatial avec un flux de données émis au même instant, sur la même fréquence.

### 1.2.3 Le MIMO Beamforming :

On utilise le réseau d'antenne MIMO pour orienter et contrôler le faisceau d'onde radio (amplitude et phase du faisceau). On peut ainsi créer des lobes constructifs/destructifs et optimiser une transmission entre l'émetteur et la cible, comme montre la figure 1.2.2. Les techniques de beamforming permettent à la fois d'étendre une couverture radio (d'une station de base ou d'un point d'accès par exemple) et de limiter les interférences entre utilisateurs et la pollution électromagnétique environnante (en ciblant le récepteur visé) [2].

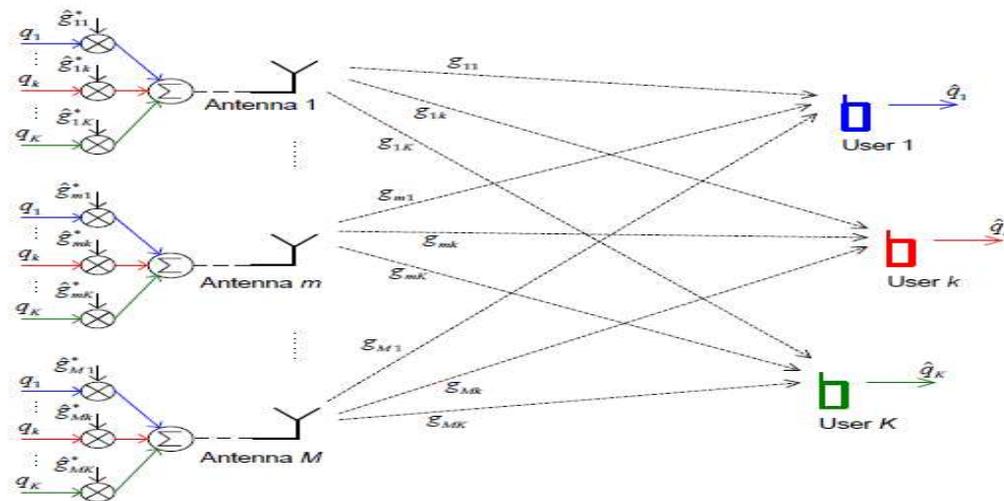


Figure 1.2.2 la technique de beamforming.

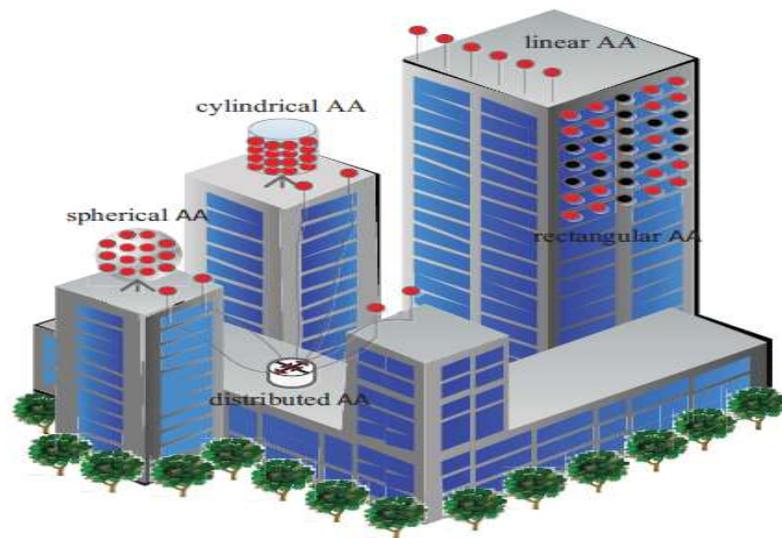
### 1.3 Système Massive MIMO :

Une transmission multi-cellulaires Massive MIMO (aussi dénommé « hyper MIMO », « large scale MIMO ») consiste à utiliser un très grand nombre d'antennes à la station de base ( $N \rightarrow \infty$  en théorie) et des centaines ou des milliers d'antennes en pratique, afin d'augmenter les capacités de transmission et de réduire les perturbations liées aux bruits et aux interférences dans un système cellulaire[3].

#### 1.3.1 La configuration des antennes massive MIMO :

La littérature met en exergue plusieurs configurations des antennes massive MIMO illustrées dans les figures 1.3.1[4,5].

La figure 1.3.1représente une architecture dans laquelle les éléments du réseau d'antennes sont à proximité les uns des autres (quelques centimètres) et sont disposés suivant une structure linéaire, cylindrique rectangulaire. Une autre configuration dans laquelle les antennes sont distribuées sur plusieurs positions distantes.



*Figure 1.3.1* Illustration des antennes massive MIMO : configuration linéaire, cylindrique et rectangulaire.

Dans tous les cas de figure, le processus de traitement en bande de base pour les antennes appartenant à une même station de base reste centralisé. Cette diversité en termes d'architecture offre logiquement des performances diverses (diversités spatiales, capacité du beamforming, puissances de transmission, etc.)

### 1.3.2 Points principaux de Massive MIMO:

Quelques points principaux de MIMO Massive sont:

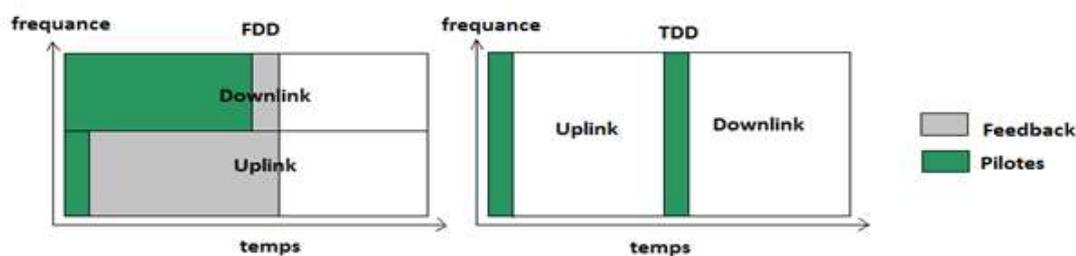
1. Dans un système MIMO classique où le nombre d'antennes de BTS est relativement petit, la BTS peut acquérir une estimation de CSI grâce au feedback d'opération FDD [6]. Plus précisément, chaque utilisateur estime les canaux

basés sur la formation de la liaison descendante, et les feedbacks d'estimation de canal reviennent à la BTS via le lien inverse.

Toutefois, dans les systèmes Massive MIMO, le nombre d'antennes de la BTS est très grand et l'estimation de canal devient difficile dans FDD puisque le nombre de ressources de liaison descendante nécessaires pour les pilotes sera proportionnel au nombre d'antennes de BTS. En outre, la bande passante requise pour le feedback CSI devient très grande. En revanche, dans les systèmes temps-division duplex TDD, dû à la réciprocité de canal, les BS peuvent obtenir CSI dans de boucle ouverte directement à partir de la formation de la liaison montante.

La surcharge de la transmission du pilote est donc proportionnelle au nombre d'utilisateurs qui est généralement beaucoup plus faible que le nombre d'antennes de station de base. Par conséquent, l'acquisition de CSI à la BS via la formation en boucle ouverte en fonctionnement TDD est préférable dans les systèmes massifs MU-MIMO ([7],[8],[9],[10]). Grâce à cette acquisition de CSI, dans la liaison montante, les signaux transmis par les utilisateurs peuvent être décodés à l'aide de ces estimations de canal. Sur la liaison descendante, la station de base peut utiliser les estimations de canal pour précoder des signaux d'émission. Cependant, les estimations de canal sont disponibles uniquement à la BTS. L'utilisateur doit aussi avoir une estimation du canal afin de décoder de façon fiable les signaux transmis sur la liaison descendante.

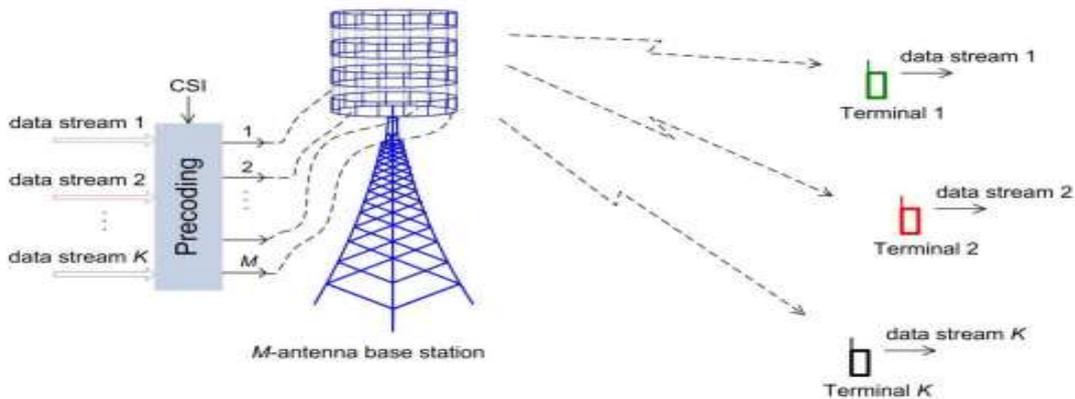
Pour acquérir CSI aux utilisateurs, les BTSs envoient les pilotes aux utilisateurs. Puis, chaque utilisateur estimera le canal basé sur les pilotes reçus. Ceci est très inefficace puisque l'estimation de canal sera proportionnelle au nombre d'antennes de la station de base. Par conséquent, la majorité de la recherche sur ces systèmes a supposé que les utilisateurs ne connaissent pas du CSI. Plus précisément, le signal est détecté à chaque utilisateur en utilisant uniquement les propriétés statistiques des canaux [9]-[11].



**Figure 1.3.2.** Les modes FDD et TDD des voix montantes et descendantes du système massif MIMO.

2. MIMO massive est évolutif : MIMO Massive, la BTS apprend les canaux par formation de liaison montante, au titre de l'opération de TDD. Le temps requis pour l'estimation de canal est indépendant du nombre d'antennes de BTS. Par conséquent, le nombre d'antennes de BTS peut être fait aussi grand sans aucune augmentation dans la surcharge d'estimation de canal. En outre, le traitement de signal de chaque utilisateur est très simple et ne dépend pas de l'existence d'autres utilisateurs, c'est-à-dire, il y a pas de multiplexage ou démultiplexage de traitement des signaux effectuée par les utilisateurs. Ajouter ou supprimer certains utilisateurs du service n'affecte pas les activités des autres utilisateurs [11].
3. Traitement linéaire: La transmission de la charge utile en MIMO Massive est basée sur un traitement linéaire à la BTS. Dans la liaison montante, la BTS a  $M$  observations du canal à accès multiples depuis les terminaux  $K$ . La station de base applique la combinaison linéaire pour discriminer le signal transmis par chaque terminal depuis les signaux interférents illustre la figure 1.3.2.2 Le choix le plus simple est le MRC (maximal Ratio Combining) qui utilise l'estimation de canal d'un terminal pour maximiser la puissance du signal de ce terminal, en ajoutant les composants du signal avec cohérence. Il en résulte une amplification du signal proportionnel à  $M$ , qui est connu en tant que gain du réseau. Des choix alternatifs sont le forçage à zéro (ZF), qui supprime les interférences inter-cellules au coût de la réduction du gain du réseau à  $M-K + 1$ , et le MMSE pour erreur quadratique moyenne minimale qui balance entre l'amplification de signaux et la suppression des perturbations [11].

La figure suivante représente la technique de précodage dans les systèmes de communication sans fil Massive MIMO.



*Figure 1.3.2.2* Représentation de précodage dans les systèmes Massive MIMO.

## 1.4 Les avantages des systèmes Massive MIMO :

### 1.4.1 La capacité de système massive MIMO :

La demande de débit sans fil et la fiabilité de la communication, ainsi que la densité d'utilisateurs augmentera toujours. Les communications sans fil futures nécessitent de nouvelles technologies dans laquelle nombreux utilisateurs peuvent être servis simultanément avec de très haut débit. Massive MIMO peut répondre à ces exigences. Envisager la transmission de liaison montante (Le même argument peut être utilisé pour la transmission de liaison descendante). Dans les conditions de propagation favorable (les vecteurs de canal entre les utilisateurs et la BTS sont deux à deux orthogonaux), la somme-capacité de la transmission de la liaison montante est :

$$C_{\text{sum}} = \log_2 \det( I_K + p_u M I_K ) = K \log_2 ( 1 + M p_u ) \quad (1.1)$$

En (1.1),  $K$  est le gain de multiplexage, et  $M$  représente le gain du réseau. Nous pouvons voir que, nous pouvons obtenir une grande efficacité spectrale et l'efficacité énergétique lorsque  $M$  et  $K$  sont grands. Sans augmentation de la puissance transmise par terminal, en augmentant  $K$  et  $M$ , nous pouvons servir simultanément plusieurs

utilisateurs dans la même bande de fréquence. En même temps, le débit par l'utilisateur augmente également. De plus, en doublant le nombre d'antennes de BTS, on peut réduire la puissance d'émission de 3 dB, tout en conservant la qualité de service d'origine.

Les gains ci-dessus (gain de multiplexage et de gain de réseau) sont obtenus dans les conditions de propagation favorables et l'utilisation d'un traitement optimal à la BS.

#### **1.4.2 L'efficacité spectrale des systèmes Massive MIMO :**

L'efficacité spectrale mesure l'efficacité avec laquelle le spectre disponible peut être utilisé pour la transmission de données. Un système est conçu avec différentes efficacités spectrales, prévues pour différents cas, comme les limites de cellule, l'utilisation moyenne ou les pics. Sur cela, de nombreuses technologies peuvent également jouer, comme la modulation, la multi-antenne, le type d'onde, etc. En ce qui concerne la 5G, le massive MIMO et la détermination de la bande de fréquence la plus adaptée au milieu, seront des éléments clé susceptible de varier d'un endroit à l'autre.

Les différentes exigences pour 2020 citées plus haut concordent sur le fait qu'il faut repenser l'architecture spectrale de la 5G : utiliser du mieux que possible les fréquences en dessous de 6 GHz, mais aussi débloquer de nouvelles fréquences. Ce sont donc les deux pistes à privilégier en ce qui concerne les fréquences autour de la 5G.

Les fréquences en dessous de 6 GHz ont été utilisées jusqu'à présent pour leur capacité à couvrir des zones très étendues. Malheureusement, beaucoup de ces fréquences sont aujourd'hui déjà allouées. L'enjeu est donc de trouver certaines techniques permettant une plus grande utilisation de certaines fréquences déjà allouées (Spectrum Efficiency) tout en tentant d'en exploiter de nouvelles (Spectrum Extension), essentiellement dans le spectre des ondes à très hautes fréquences.

### 1.4.3 L'efficacité énergétique des systèmes massive MIMO :

Massive MIMO peut augmenter la capacité 10 fois ou plus, et en même temps améliorer l'efficacité énergétique rayonnée dans l'ordre de 100 fois.

Cette augmentation de capacité est due au multiplexage spatial agressif utilisé en Massive MIMO. Le principe fondamental qui permet d'augmenter l'efficacité énergétique est qu'avec le grand nombre d'antennes, l'énergie peut être focalisée avec l'acuité (netteté) extrême dans des petites régions dans l'espace, par la mise en forme convenablement des signaux émis par les antennes, la station de base peut s'assurer que tous les fronts d'ondes collectivement émises par toutes les antennes additionnent de manière constructive aux emplacements des terminaux destinés, mais de façon destructive (au hasard). Les interférences entre les terminaux peuvent être supprimées en utilisant, le ZF.

Plus quantitativement, Fig.1.6 [12] représente le compromis fondamental entre l'efficacité énergétique en termes de nombre total de bits (sommés des taux) transmis par Joule par terminal et l'efficacité spectrale en termes de nombre total de bits (sommés des taux) transmis par unité de spectre radioélectrique consommée. La figure illustre la relation pour la liaison montante, à partir des terminaux à la station de base (la performance de liaison descendante est similaire). La figure montre le compromis pour trois cas:

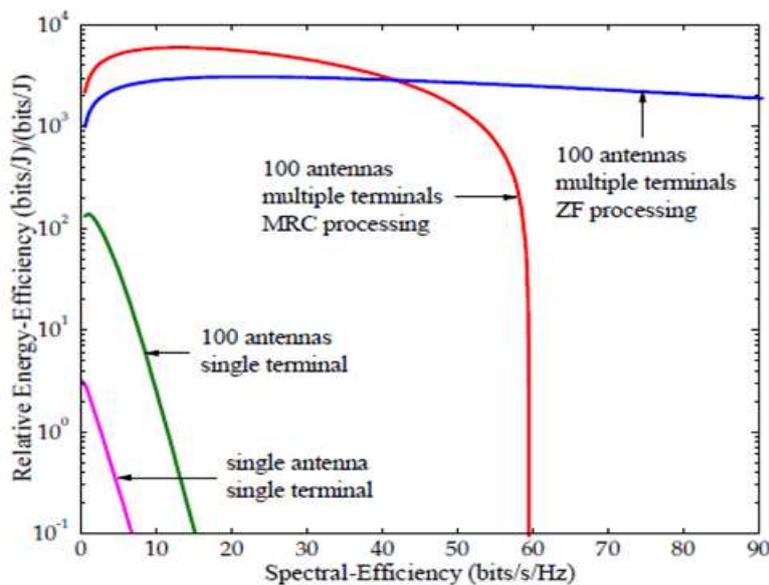
- Un système de référence avec une seule antenne sert un seul terminal (violet).
- Un système avec 100 antennes servant un seul terminal utilisant beamforming classique (vert).
- Un système massive MIMO avec 100 antennes desservants simultanément plusieurs terminaux (environ 40) (rouge, en utilisant le MRC, et bleu, en utilisant ZF).

L'intérêt de RC comparée à ZF n'est pas seulement sa simplicité de calcul multiple des signaux reçus par les réponses de canal conjuguées, mais aussi qu'elle peut être effectuée en mode distribué, indépendamment à chaque unité de l'antenne.

Bien que ZF fonctionne également assez bien pour un système MIMO classique ou de taille moyenne, le MRC ne fait généralement pas. La raison pour laquelle la MRC fonctionne si bien pour massive MIMO est que les réponses de canal associées aux différents terminaux ont tendance à être presque orthogonal lorsque le nombre d'antennes de station de base est grand.

La prédiction sur la Fig.1.6 est basée sur une analyse de l'information théorique qui prend en compte les interférences intercellulaires, ainsi que le coût de la bande passante et de l'énergie de l'utilisation de pilotes d'acquérir des informations d'état de canal dans un environnement à haute mobilité [12]. Avec le récepteur MRC, nous fonctionnons dans le régime presque de bruit limité de la théorie de l'information. Dans un système massive MIMO, en employant MRC et en fonctionnant dans un régime « vert », C'est-à-dire, réduisant la puissance autant que possible sans affecter l'efficacité spectrale globale, l'interférence multiutilisateurs et les effets des imperfections du matériel ont tendance à être submergés par le bruit thermique. La raison pour laquelle l'efficacité spectrale globale peut être 10 fois plus élevée que dans les systèmes MIMO classique est que plusieurs dizaines de terminaux sont servis simultanément, dans les mêmes ressources temps-fréquence.

La figure suivante représente l'efficacité énergétique dans les systèmes Massive MIMO en fonction de l'efficacité spatiale.



**Figure 1.4.3L** L'amélioration de l'efficacité spectrale et de la puissance rayonnée de technologie Massive MIMO.

#### **1.4.4 La couche d'accès multiple Massive MIMO :**

En raison de la loi des grands nombres, le canal durcit de telle sorte que le domaine fréquentiel planification n'est plus rentable. Avec OFDM, chaque sous-porteuse dans un système massif MIMO aura le même gain de canal. Chaque terminal peut avoir toute la bande passante [4].

#### **1.4.5 La réduction du temps de latence :**

La performance des systèmes de communications sans fil est limitée par l'évanouissement (fading). Cette dernière peut rendre l'intensité du signal reçu très petite à certains moments. Cela se produit lorsque le signal émis à partir d'une station de base se déplace à travers des trajets multiples avant d'atteindre le terminal, où les ondes issues de ces trajets multiples interfèrent de façon destructive. Si le terminal subit un fort évanouissement il doit attendre jusqu'à ce que le canal de propagation ait suffisamment changé jusqu'à ce que toutes les données puissent être reçues.

Massive MIMO repose sur la loi des grands nombres et beamforming, afin d'éviter l'évanouissement fort, de sorte que l'évanouissement ne limite plus la latence [4].

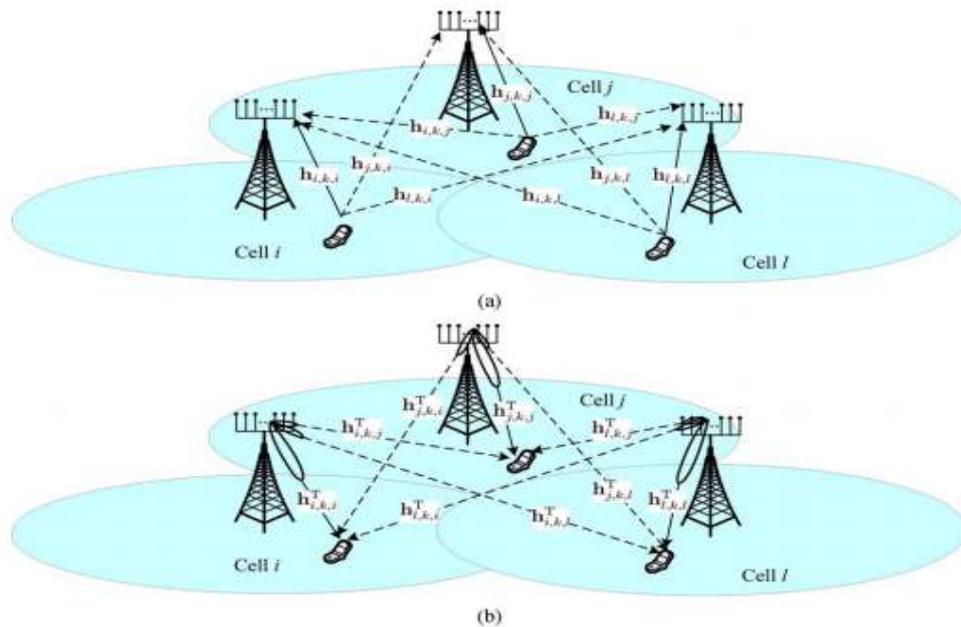
### **1.5 Défis des systèmes Massive MIMO :**

Malgré les énormes avantages de MIMO Massive, de nombreuses questions doivent encore être abordées. Les principaux défis de Massive MIMO sont répertoriés comme suit:

#### **1.5.1 La contamination des séquences pilotes :**

Les utilisateurs appartenant à une même cellule utilisent généralement différentes séquences pilotes orthogonales. Cependant, du fait de leur nombre limité, dans un système multi-cellulaire, il est possible qu'un utilisateur d'une cellule utilise la même séquence pilote qu'un autre utilisateur d'une cellule adjacente, créant ainsi un phénomène de contamination des pilotes ("pilots contamination") [13,14]. Ce

phénomène est communément observé dans les transmissions UL multi-cellulaires. Le canal estimé par la station de base est alors une combinaison du canal entre la station de base et l'utilisateur considéré, et entre la station de base et l'utilisateur de la cellule adjacente [15, 16]. Cette contamination des pilotes, propre aux systèmes multi-antennes et multicellulaires (MIMO conventionnel, massive MIMO) utilisant un estimateur de canal linéaire génère des perturbations aussi bien dans la démodulation des signaux UL que dans les performances du précodage DL, aboutissant ainsi à une réduction des capacités théoriques. Plusieurs études sont menées afin d'atténuer l'impact de ce phénomène. Certaines solutions permettent de réduire les effets de ces perturbations à travers la coopération entre cellules, l'ingénierie radio (optimisation de l'allocation des séquences pilotes selon la localisation des cellules) ou encore les méthodes de précodage adaptées à la structure des cellules [16]. La figure suivante représente la contamination dans les systèmes Massive MIMO :



**Figure 1.5.1** Illustration du concept de pilote contamination. (A) liaison montante (b) liaison descendantes.

### 1.5.2 Propagation Défavorable :

Massive MIMO fonctionne sous les environnements favorables de propagation. Cependant, dans la pratique, il peut y avoir des environnements de propagation où les

canaux ne sont pas favorables. Par exemple, dans des environnements de propagation où le nombre de diffuseurs est faible par rapport au nombre d'utilisateurs, ou les canaux de différents utilisateurs au BS partagent certains diffuseurs communs, le canal n'est pas favorable [17]. Une possibilité pour résoudre ce problème est de distribuer les antennes de BS sur une grande surface.

## **1.6 Conclusion :**

Ce chapitre a présenté l'utilisation d'un très grand nombre d'antennes de l'ordre de 100 à 1000 opérants simultanément et de manière adaptative. De cette manière, en transmission comme en réception, l'échange de puissance est alors mieux concentré par beamforming. Répondant alors aux besoins de fort débit, d'efficacité spectrale, mais surtout d'efficacité énergétique.

## Chapitre 2 : l'Efficacité Energétique

---

### 2.1 Introduction :

La consommation d'énergie est devenue une préoccupation majeure dans la conception et le fonctionnement des systèmes de communication sans fil. Tandis que pour plus d'un siècle les réseaux de communication ont été principalement conçu dans le but d'optimiser les indicateurs de performance tels que le débit, la latence, etc., dans la dernière décennie l'efficacité énergétique est apparu comme une nouvelle figure de mérite importante, en raison des préoccupations économiques, opérationnelles et environnementales. La conception de la prochaine génération 5G des réseaux sans fil aura donc nécessairement à considérer l'efficacité énergétique comme un de ses principaux piliers. En effet, les systèmes 5G serviront un très grand nombre de dispositifs, assurant une connectivité omniprésente ainsi que des services innovants et de taux exigeants. Il est prévu que d'ici 2020, on aura plus de 50 milliards d'appareils connectés [18], donc plus que 6 périphériques par personne.

La vision est d'avoir une société connectée dans laquelle des capteurs, des voitures, des drones, des dispositifs médicaux et portables utiliseront tous les réseaux cellulaires de se connecter les uns aux autres, en interaction avec les humains (utilisateurs finaux) de fournir une série de services innovants tels que les maisons intelligentes, villes intelligentes, voitures intelligentes, télé-chirurgie et fonctions avancées de sécurité. Il est clair que, dans le but de servir un nombre massif de terminaux, donc les futurs réseaux devront augmenter considérablement la capacité fournie par rapport aux normes actuelles. On estime que le volume de trafic dans les réseaux de la 5G va atteindre 10006 octets par mois. Ceci exige la capacité fournie par les réseaux 5G à être 1000 fois plus fortement que dans les systèmes cellulaires actuels [19]. Essayant d'atteindre cet objectif ambitieux reposant sur les paradigmes et architectures de réseaux actuels ne

sont pas durables, puisque cela conduira inévitablement à une crise avec les préoccupations économiques et environnementales graves.

### **2.1.1 Les préoccupations économiques :**

Les réseaux actuels sont conçus pour maximiser la capacité en augmentant proportionnellement les puissances d'émission. Cependant, étant donné la croissance spectaculaire du nombre de dispositifs connectés, une telle approche n'est pas durable. L'utilisation de plus en plus d'énergie pour augmenter la capacité de communication entraînera des coûts de fonctionnement inacceptable. Les techniques de communication sans fil actuelles sont donc tout simplement pas en mesure de fournir l'augmentation de la capacité désirée voulue par l'amplification des puissances d'émission.

### **2.1.2 Préoccupations environnementales :**

Les systèmes de communication sans fil actuel sont principalement alimentés par des sources d'énergie traditionnelles à base de carbone. À l'heure actuelle, la technologie de l'information et de la communication (ICT) des systèmes sont responsables de 1.5% des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> [20,21], mais ce pourcentage est en augmentation aussi rapide que le nombre des périphériques connectés. . En outre, il est prévu que 75% du secteur des ICT soit sans fil en 2020 [22], ce qui implique que les communications sans fil deviendront le secteur critique à adresser en ce qui concerne la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> liées aux ICT.

## **2.2 Comment Éviter la crise de l'énergie :**

La plupart des approches utiles pour augmenter l'efficacité énergétique des réseaux sans fil peuvent être regroupées en quatre grandes catégories comme suit :

- L'allocation des ressources.
- La planification et le déploiement du réseau.
- La récolte de l'énergie et le transfert.
- Les solutions matérielles.

### **2.2.1 L'allocation des ressources :**

Les ressources radio d'un système de communication ne devraient plus être uniquement optimisées pour maximiser la quantité d'informations qui sont transmises de manière fiable, mais plutôt la quantité d'informations qui sont transmises de manière fiable par Joule d'énergie consommée. Par rapport aux systèmes traditionnels d'allocation des ressources, ce qui nécessite l'utilisation de nouveaux outils mathématiques spécifiquement adaptées à la maximisation de l'efficacité énergétique [23].

### **2.2.2 La planification et le déploiement du réseau :**

Pour faire face au nombre élevé de dispositifs connectés, plusieurs technologies de rupture ont été proposées pour la planification, le déploiement et l'exploitation des réseaux 5G.

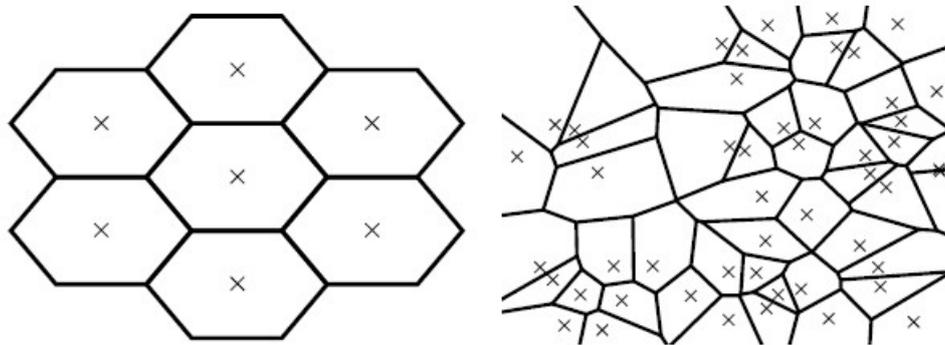
#### **A RÉSEAUX DENSES:**

L'idée de réseaux denses est de traiter le nombre croissant d'appareils pour servir le réseau en augmentant la quantité de matériel d'infrastructure déployée. Deux principaux types de densification du réseau apparaissent comme des candidats très forts pour la mise en œuvre des réseaux de 5G.

##### **A.1 Des réseaux denses hétérogènes :**

Contrairement aux déploiements de réseaux présents qui divisent uniformément une macro-cellule en un nombre relativement faible de zones plus petites, où chaque petite zone est couverte par une ou plusieurs BTS. Les réseaux denses hétérogènes augmentent considérablement le nombre de nœuds d'infrastructure par unité de surface [24], [25]. Un très grand nombre de nœuds d'infrastructures hétérogènes allant de macro BTSs aux femto-cellules et les relais de nœuds sont opportunistes déployés et activés dans un mode basé sur la

demande ce qui conduit à une disposition irrégulière de réseau telle que celle illustrée à la Fig. 2.1. D'un point de vue d'efficacité énergétique, la densification de nœud réduit les distances (électriques et/ou physiques) entre les terminaux communicants, conduisant à des débits plus élevés pour des puissances d'émission plus faibles. Cependant, il crée également des interférences supplémentaires qui pourraient dégrader l'efficacité énergétique du réseau.



*La figure 2.1* Évolution de la configuration du réseau cellulaire. Disposition traditionnelle à gauche, Présentation de 5G sur la droite.

### **A.2 Massive MIMO:**

Si l'idée de réseaux denses est de densifier le nombre de nœuds d'infrastructure, l'idée de massive MIMO est de densifier le nombre d'antennes déployées. En massive MIMO, des réseaux classiques avec seulement quelques antennes alimentées par un matériel encombrant et cher sont remplacés par des centaines de petites antennes alimentées par des circuits et des amplificateurs de faible coût.

En ce qui concerne l'efficacité énergétique, massive MIMO a permis de réduire la puissance rayonnée par un facteur proportionnel à la racine carrée du nombre d'antennes déployées, tout en gardant le taux d'information inchangé [26]. Cependant, ce résultat s'applique à un

ystème massif MIMO monocellulaire idéal, et sans tenir compte de la puissance du matériel consommé.

### **B OFFLOADING TECHNIQUE:**

C'est une autre stratégie clé de la 5G pour renforcer la capacité et l'efficacité énergétique des réseaux futurs. Actuellement les dispositifs d'utilisateurs disponibles sont déjà équipés de multiples technologies d'accès radio (RAT) - par exemple, cellulaire, Bluetooth, Wi-Fi, de sorte que, chaque fois que les techniques de connexions alternatives sont disponibles (par exemple, comme cela arrive souvent dans les scénarios indoor), le trafic cellulaire peut être offloaded et les ressources cellulaires supplémentaires peuvent être fournies aux utilisateurs.

Les futurs réseaux seront basés sur les techniques d'offloading on général, et pas seulement sur le wi-fi. En particulier, les méthodes/stratégies de techniques d'offloading peuvent être envisagées:

- (D2D) communications Device-To Device.
- communications de la lumière visible (VLC).
- la mise en cache locale.
- les ondes millimétriques cellulaires.

### **2.2.3 La récolte de l'énergie et le transfert**

La récolte de l'énergie de l'environnement et la conversion d'elle en courant électrique s'imposent comme une possibilité intéressante à exploiter des systèmes de communication sans fil. En effet, bien que cette approche ne réduise pas directement la quantité d'énergie nécessaire pour faire fonctionner le système, il permet aux réseaux sans fil d'être alimentés par des sources d'énergie propres et renouvelables [27]. Deux principaux types de récolte d'énergie ont émergé jusqu'à présent dans le cadre des communications sans fil.

#### **A- Récupération de l'énergie de l'environnement :**

Cette technique fait référence à la récolte de l'énergie propre à partir de sources naturelles, telles que le soleil et le vent. Des études complètes sur cette approche sont [28] et [29].

#### **B- RECUPERATION D'ENERGIE RADIOFREQUENCE :**

Cette technique se rapporte à la récupération d'énergie à partir des signaux radio par voie hertzienne, permettant ainsi le recyclage de l'énergie qui serait autrement gaspillée. Dans ce contexte, les signaux d'interférence sont une source naturelle de l'énergie électromagnétique, Des études complètes sur cette approche sont [30] et [31].

### **2.2.4 Les solutions matérielles :**

Les solutions matérielles d'efficacité énergétique se réfèrent à une large catégorie de stratégies comprenant la conception verte de la chaîne RF, l'utilisation des structures simplifiées émetteur/récepteur, et également, une nouvelle conception architecturale du réseau.

L'utilisation d'architecture simplifiée d'émetteur-récepteur, y compris l'adoption de la quantification grossière de signal et de beamforming hybride analogique/numérique, est une autre technique qui est proposée pour augmenter l'efficacité énergétique du matériel, surtout dans les systèmes avec plusieurs antennes telles que les systèmes de massive MIMO et mmWave.

### **2.2.5 Conclusion :**

Dans ce chapitre on a parlé de la consommation d'énergie qu'elle a devenu une préoccupation majeure dans la conception et le fonctionnement des systèmes de communication sans fil. Puis on a passé aux solutions qui nous permet d'évité cette crise de l'énergie tel que la l'allocation des ressources, la planification et le déploiement du réseau, la récolte de l'énergie et le transfert et les solutions matérielles.

# Chapitre 3 : Simulation et Résultats

---

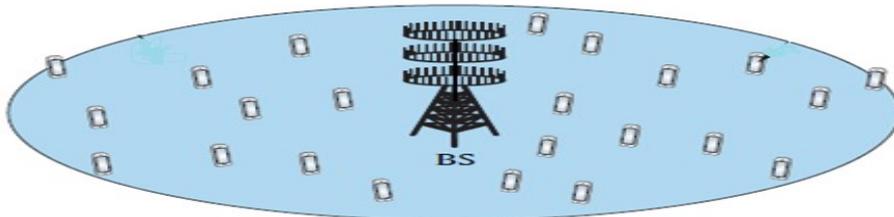
## 3.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on va détailler la problématique posée dans cette thèse qui est l'optimisation de l'efficacité énergétique par l'algorithme des colonies d'abeilles artificielles. Le modèle de système exploité est un scénario multi-usager massive MIMO à une seule cellule.

## 3.2 Le modèle de système :

On considère un système multi usager massive MIMO opérant à une bande de fréquence  $B$  Hz. Une seule station de base dotée d'un réseau de  $M$  antennes pour servir et communiquer avec  $K$  usagers équipé chacun d'une seule antenne.

Nous considérons un canal bloc-fading, avec  $B_c$ (en Hz) est la largeur de bande de cohérence et  $T_c$ (en secondes) est le temps de cohérence. Par conséquent, les canaux sont statiques dans des blocs de cohérence en temps / fréquence de  $U = B_c \times T_c$  symboles. Nous supposons que la BTS et les UEs sont parfaitement synchronisés et fonctionnent selon le protocole (TDD). La signalisation pilote  $\tau^{(ul)}$  occupe  $K$  symboles dans la liaison montante et  $\tau^{(dl)}$  occupe  $K$  symboles dans la liaison descendante, où  $\tau^{(ul)}, \tau^{(dl)} \geq 1$  est une condition nécessaire pour activer les séquences pilotes orthogonales entre les UEs.



**Figure 2.** Illustration d'un scénario multi-usager massive MIMO : une  $BS$  avec  $M$  antennes omnidirectionnelles communique avec  $K$  usagers UE avec une seule antenne. Les usagers sont distribués aléatoirement dans la cellule.

### 3.2.1 Modèle de canal et la transformation linéaire :

Les antennes M à la BTS sont suffisamment espacées tels que les canaux entre les antennes de BTS et l'UEs ne sont pas corrélées. Le canal vecteur  $h_k = [h_1, h_2, h_3, \dots, h_k] \in \mathbb{C}^{M \times 1}$  décrit le canal de propagation instantanée entre la  $n^{\text{ième}}$  antenne de la BTS et le  $k^{\text{ème}}$  UE.

Nous supposons une distribution Rayleigh d'évanouissement à petite échelle qui est un modèle valable pour les petits et les grands réseaux. Le traitement linéaire est utilisé pour la détection de données de liaison montante et de précodage des données de liaison descendante. Nous supposons aussi que les BTSs peuvent acquérir un CSI parfait des pilotes de liaison montante. On désigne la liaison montante linéaire qui reçoit la combinaison matrice par  $G_k = [g_1, g_2, g_3, \dots, g_k] \in \mathbb{C}^{M \times K}$  avec  $g_k$  colonne affectée au  $k^{\text{ième}}$  UEs. Pour l'algorithme Zero\_Forcing:  $G = H(H^H H)^{-1}$ .

## 3.3 Problématique :

### 3.3.1 Définition d'efficacité énergétique [bit/Joule]:

L'efficacité énergétique d'un système de communication est mesurée en bit/Joule et calculée comme étant le rapport entre le débit moyen (bit/seconde) et la consommation en puissance moyenne  $P_T$  (Watt=Joule/second). Dans un scenario multi-utilisateur, l'EE totale en considérant les deux cas uplink et downlink prend la forme suivante :

$$EE = \frac{\sum_{k=1}^K (E\{R_k^{(ul)}\} + E\{R_k^{(dl)}\})}{P_{TX}^{(ul)} + P_{TX}^{(dl)} + P_{CP}(M, K, \bar{R})} \quad (3.1)$$

Où:

$$E\{R_k^{(ul)}\} + E\{R_k^{(dl)}\} = R_k^{(ul)} + R_k^{(dl)} = \left(1 - \frac{\tau_{sum} K}{U}\right) \bar{R} \quad (3.2)$$

Avec:

$$\tau_{sum} = \tau^{(ul)} + \tau^{(dl)} \quad (3.3)$$

$\tau^{(ul)}$  et  $\tau^{(dl)}$  représentent successivement les temps occupés par un symbole utilisé pour la signalisation en uplink et en downlink.  $U$  est le bloc temps/fréquence de cohérence.  $\bar{R} = B \log(1 + \rho(M - K))$  est le débit.

$$P_{TX} = P_{TX}^{(ul)} + P_{TX}^{(dl)} = \frac{B\sigma^2\rho S_x}{\eta} K \quad (3.4)$$

$\rho$  est un paramètre proportionnel au rapport signal sur interférence (SINR).  $B$  est la bande de fréquence,  $\sigma^2$  représente le bruit.  $S_x = E_x \left\{ (l(x))^{-1} \right\}$  représente la distribution des usagers et l'environnement de propagation.  $\eta$  est l'efficacité en puissance  $0 < \eta < 1$ .

$P_{CP}$  représente la consommation en puissance due à la circuiterie.

La  $P_{CP}$  est la somme des puissances consommée par les différentes composantes analogique et le traitement numérique du signal. Un modèle raffiné du  $P_{CP}$  est proposé par [emil] pour les systèmes MIMO multi-usager :

$$P_{CP} = P_{FIX} + P_{TC} + P_{CE} + P_{C/D} + P_{BH} + P_{LP} \quad (3.5)$$

Où  $P_{FIX}$  est une quantité correspondante à la consommation en puissance fixe utilisée pour le refroidissement de la circuiterie, les signalisations de contrôle, et les traitements en bande de base.

$P_{TC}$  est la puissance consommée par les composants de la circuiterie de chaque antenne à la station de base ( $P_{BS}$ ) et de chaque antenne d'utilisateur UE ( $P_{UE}$ ) et la puissance consommée par l'oscillateur local ( $P_{SYN}$ ).

$$P_{TC} = MP_{BS} + P_{SYN} + KP_{UE} \text{ Watt} \quad (3.6)$$

$P_{CE}$  est la consommation en puissance totale due au processus d'estimation de canal en uplink et en downlink.

$$P_{CE} = \frac{B}{U} \frac{2\tau^{(ul)}MK^2}{L_{BS}} + \frac{B}{U} \frac{4\tau^{(dl)}K^2}{L_{UE}} \text{ Watt} \quad (3.7)$$

$P_{C/D}$  est la puissance requiert pour executer le processus de codage/décodage pour les deux cas uplink et downlink.

$$P_{\frac{C}{D}} = \sum_{k=1}^K (E\{R_k^{(ul)} + R_k^{(dl)}\}) (P_{COD} + P_{DEC}) Watt \quad (3.8)$$

$P_{BH}$  est la puissance nécessaire pour le transfert de donnée (uplink/downlink) entre la station de base et le core network.

$$P_{BH} = \sum_{k=1}^K (E\{R_k^{(ul)} + R_k^{(dl)}\}) P_{BT} Watt \quad (3.9)$$

$P_{LP}$  est la puissance consommée par le traitement linéaire (précodage et détection).

$$P_{LP} = B \left( 1 - \frac{(\tau^{(ul)} + \tau^{(dl)})K}{U} \right) \frac{2MK}{L_{BS}} + P_{LP-C} Watt \quad (3.10)$$

Si un l'algorithme de Zero Forcing est utilisé en uplink pour la détection et en downlink pour le précodage  $P_{LP-C}^{(ZF)} = \frac{B}{U} \left( \frac{K^3}{3L_{BS}} + \frac{3MK^2 + MK}{L_{BS}} \right) Watt$  est consommée.

### 3.3.2 Optimisation de l'efficacité énergétique par l'algorithme des colonies d'abeilles artificielles ABC:

On cherche à retrouver le nombre d'antenne au niveau de la station de base optimal  $M_{opt}$  et le nombre d'utilisateurs  $K_{opt}$  qui maximisent l'efficacité énergétique. Pour cela, on exploite l'algorithme des colonies d'abeilles artificielles (ABC) Qu'il est connu par sa simplicité, sa complexité de calcul réduite et sa précision, pour retrouver ces valeurs optimales.

L'efficacité énergétique à maximiser peut être formulée comme:

$$EE = \frac{K \left( 1 - \frac{\tau_{su} K}{U} \right) \bar{R}}{\frac{B\sigma^2 \rho S_x K}{\eta} + \sum_{i=0}^2 C_i K^i + M \sum_{i=0}^2 D_i K^i + AK \left( 1 - \frac{\tau_{sum} K}{U} \right) \bar{R}} \quad (3.11)$$

Où les coefficients  $C_i$ ,  $A$  et  $D_i$  sont représentés dans le tableau suivant :

Coefficients $C_i$	Coefficients A and $D_i$
$C_0 = P_{FIX} + P_{SYN}$	$D_0 = P_{BS}$
$C_1 = P_{UE}$	$D_1 = \frac{B}{UL_{BS}} (2 + \frac{1}{U})$
$C_2 = \frac{4B\tau^{dl}}{UL_{UE}}$	$D_2 = \frac{B}{UL_{BS}} (3 - 2\tau^{dl})$
$C_3 = \frac{B}{3UL_{BS}}$	$A = P_{COD} + P_{DEC} + P_{BT}$

**Table 3.3.2.1** Coefficients correspondants à la consommation en puissance.

**Paramètres de simulation:** les paramètres principaux de la simulation sont donnés dans le tableau .3

Parameter	Value
Nombre de cellule	1
Rayon de la cellule	250
Largeur de bande	20MHz
Bande de cohérence	180KHz
P_FIX	18W
P_SYN	2W
P_BS	1W
P_UE	0.1W
P_COD	0.1W/(Gbit/s)
P_DEC	0.8W/(Gbit/s)
P_BT	0.25W/(Gbit/s)
Efficacité de calcul au niveau de la BTS	12.8 Gflops/W
Efficacité de calcul au niveau de l'UE	5Gflops/W

**Table 3.3.2.2** Paramètres de la simulation

### 3.4 Problématique :

### 3.5 Description de l'algorithme :

L'ABC est un algorithme d'optimisation méta heuristiques qui a été présenté par Karaboga en 2005 pour résoudre le problème d'optimisation dans les fonctions multi-variables. Il est basé sur l'observation faite sur le comportement social d'un essaim

d'abeilles. La colonie d'abeilles artificielles contient trois groupes d'abeilles: les abeilles employées, de spectateur et les scout. Les abeilles employées représentent la moitié de la colonie et l'autre partie inclut les spectateurs [35].

Les abeilles employées, exploitent les sources de nourriture et annonce sa position aux spectateurs, en dansant dans la ruche voisine.

Abeilles spectateur: les spectateurs ont tendance à choisir les meilleures sources alimentaires pour bien exploiter ces derniers, sur la base des informations communiquées par les abeilles employées. Donc, les bonnes sources alimentaires d'attirer plus d'abeilles spectateurs par rapport aux mauvais.

Abeilles scout : Quand la source de nourriture est considérée épuisée, elle sera abandonnée et ces abeilles employées convertie en scouts, qui choisissent au hasard une nouvelle source de nourriture pour remplacer l'ancien.

Donc, le nombre d'abeilles employées égal au nombre de sources de nourriture ainsi que le nombre d'abeilles spectateurs.

Dans cet algorithme, la position de la source d'alimentation représente une solution possible au problème d'optimisation, tandis que la quantité de nectar (qualité de la source d'alimentation), correspond à l'évaluation de fonction optimisée de la solution associée. Cette fonction d'évaluation est généralement réévaluée en utilisant une fonction de coût donné (fitness). La taille de la population indiquée par PN est la somme du nombre d'abeilles utilisées (SN) et du nombre d'abeilles de spectateur (LN). Chaque solution  $x_h = \{x_{h1}, \dots, \dots, x_{hD}\} (h = 1, \dots, \dots, SN)$  à un vecteur D-dimensionnelle, où D est le nombre de paramètres d'optimisation. Les principales étapes de l'algorithme sont données ci-dessous.

### **3.5.1 Phase d'initialisation :**

Les abeilles employées sont placées sur les sources alimentaires initiales (aléatoires) autour de la ruche, dans les limites de l'espace de recherche autorisée de l'intervalle. Les positions de ces sources de nourriture d'alimentation initiales sont générées en utilisant l'expression suivante:

$$x_{hj} = x_{\min j} + \alpha_{hj}(x_{\max j} + x_{\min j}) \quad (3.12)$$

Ou :  $h = 1, \dots, SN, j = 1, \dots, D$ ,  $x_{\min j}$ ,  $x_{\max j}$  sont, respectivement, la limite inférieure et supérieure de  $j$ , et  $\alpha_{hj} \in [0, 1]$  est un nombre aléatoire distribué uniformément. Chaque source de nourriture  $x_h$  est attribuée à une seule abeille employeuse. Les sources de nourriture sont soumis à des itérations répétées des processus recherche des abeilles employeuses, spectateurs et scouts. Le critère de la résiliation est choisi pour être un nombre maximal d'itérations ou atteindre une tolérance d'erreur spécifique.

### 3.5.2 Phase d'abeilles employées :

Dans cette étape, chaque abeille employée va générer un nouvel aliment candidat position source  $v_h$  au voisinage de de ces ancienne nourriture source position  $x_h$ , selon l'expression suivante :

$$v_{hj} = x_{hj} + \Phi_{hj}(x_{hj} + x_{kj}) \quad (3.14)$$

Ou :  $k \in \{1, \dots, SN/k \neq h\}$  et  $j = 1, \dots, D$  sont des indices uniformes choisis au hasard, et  $x_{hj} \in [-1, 1]$  est un nombre aléatoire distribué uniformément. Si une position nouvellement générée dépasse les valeurs limites prédéterminées, il est adapté pour rester dans la limite l'espace de recherche. Le fitness généré par  $v_{hj}$  sera comparé avec  $x_{hj}$ . Puis, une sélection gourmande est appliquée pour décider lequel d'entre eux pour garder.

### 3.5.3 Phase de sélection probabiliste :

Une fois que toutes les abeilles employeuses terminent leur processus de mise à jour, ils partageront la quantité de nectar (fitness) de leurs sources de nourriture dans la ruche avec les spectateurs. En utilisant cette information, chaque abeille de spectateur va choisir au hasard une source de nourriture pour exploiter avec un  $p_h$  de valeur de probabilité. La valeur du  $p_h$  est donnée par la formule suivante:

$$p_h = \frac{fitness(x_h)}{\sum_{h=1}^{SN} fitness(x_h)} \quad (3.15)$$

Où :  $f_{itn\text{ess}}(x_h)$  est la valeur de remise en forme  $x_h$  source alimentaire. De toute évidence, plus la quantité de nectar d'une source de nourriture donnée est élevée plus la probabilité d'être choisie par un spectateur.

### **3.5.4 Phase d'abeille spectateur :**

Une fois que toutes les abeilles spectateur ont choisi leurs sources de nourriture, chacun produira un nouvel aliment candidat position source  $v_h$  dans le voisinage de la source de nourriture sélectionnée  $x_h$  en utilisant l'équation (3.15), puis appliquer la sélection gourmande entre  $x_h$  et  $v_h$ . Phase de scout abeille

### **3.5.5 Phase d'abeille scoute :**

Une  $x_h$  de source alimentaire est abandonné après un certain nombre d'essais infructueux pour produire une meilleure source de nourriture dans les sources voisins; ce nombre est appelé la limite. La source de nourriture, qui est abandonnée par l'abeille employeuse, est remplacée par une nouvelle source de nourriture aléatoire générée par l'abeille de scout. La position de cette source de nourriture est obtenue en utilisant l'équation (3.16).

La valeur du paramètre limite est donnée par l'expression suivante :

$$limite = SN \times D \quad (3.16)$$

Le paramètre de limite permet à la diversité d'être conservé au sein de la population ABC, en régulant la production des abeilles scouts.

L'emplacement des meilleures sources de nourriture (plus grande quantité de nectar) découvert dans l'espace de recherche entière par n'importe quelle abeille artificielle est stocké dans  $x_{best}$  (Globalparms). Si une abeille artificielle donnée produit une meilleure source de nourriture,  $x_{best}$  sera remplacée par sa position.

## **3.6 L'application de l'algorithme ABC pour les systèmes Massive MIMO :**

### **3.6.1 Phase d'initialisation :**

On commence par la première phase d'initialisation, ou on doit initialiser deux vecteurs aléatoires  $FoodM$  et  $FoodK$  de taille (1 :10) pour chacun en utilisant (3.12). Les sources de nourriture sont présentées par le vecteur  $Foods$  de taille (10,2), qui contient à la fois les  $FoodM$  (nombre d'antennes à la BTS) et les  $FoodK$  (le nombre d'utilisateurs) dans la cellule. Chaque source de nourriture  $Foods$  est attribuée à une seule abeille employeuse.

Une évaluation de la fonction d' $EE$  en fonction de  $Foods$  donne 10 valeurs différentes d' $EE$ , puis pour chaque valeur on calcule la fonction Fitness.

### **3.6.2 Phase d'abeilles employées :**

Dans cette étape, pour chaque  $Foods$  les abeilles employeuses génèrent des nouveaux aliments  $sol$  au voisinage de ces anciennes  $Foods$ , selon l'expression (3.14).

Si une position nouvellement générée dépasse les valeurs limites prédéterminées ( $ubM$ ,  $lbM$ ,  $ubK$ ,  $lbK$ ), on les adapte pour rester dans la limite d'espace de recherche. Le fitness généré par  $sol$  sera comparé avec  $Foods$ . Puis, on applique une sélection pour décider lequel entre eux sera choisi.

### **3.6.3 Phase de sélection probabiliste :**

Une fois que toutes les  $Foods$  sont mise à jour, on calcule leur fitness, et on les annonce pour les abeilles spectateurs. Tout on choisir au hasard une source de nourriture pour exploiter avec un  $p_h$  de valeur de probabilité. La valeur du  $p_h$  sont donnée par la formule (3.15).

### **3.6.4 Phase d'abeille spectateur :**

Après avoir récupéré tous les  $Foods$  par les abeilles spectateurs, on génère une autre fois des candidats position source  $sol$  dans le voisinage des anciens  $Foods$  en

utilisant l'équation (3.15), puis on applique une sélection gourmande entre *sol* et *Foods*.

### **3.6.5 Phase d'abeille scoute :**

Après un certain nombre d'essais (ce nombre est appelé la limite) le vecteur de *Foods* est abandonné, Ces *Foods* abandonné en phase d'abeille employeuse seront remplacé par des nouveaux *Foods* dans la phase d'abeille de scoute par l'équation (3.16).

L'emplacement des meilleures sources de nourriture découvert dans l'espace de recherche entière par n'importe quelle abeille artificielle est stocké dans  $x_{best}$  . Si une abeille artificielle donnée produit une meilleure source de nourriture,  $x_{best}$  sera remplacée par sa position.

Pour mieux comprendre ces étapes présidentes en utilise l'organigramme de l'algorithme d'optimisation ABC suivant :



### 3.7 Résultat de simulation :

Dans cette partie, on va présenter les résultats obtenus lors de l'application de l'algorithme des colonies d'abeilles artificielles (ABC) à optimiser l'efficacité énergétique dans les réseaux MIMO massifs. Les performances de cet algorithme dépendent principalement de deux paramètres essentiels qui sont la taille de la population et le paramètre *limite*.

La figure suivante montre les trajectoires de la fonction coût (efficacité énergétique) en fonction des itérations. Les paramètres de simulation présentés dans le tableau suivant sont les mêmes pour ces simulations. Nous pouvons observer différents temps de convergence de chaque simulation. Ceci est dû au fait que les valeurs initiales des Foods ont été générées de façon aléatoire. Par conséquent, afin d'obtenir des résultats fiables, on fait la moyenne de plusieurs exécutions dans les simulations qui suivent

Colony size	8
Limit value	10
Iteration	12000

Table 3.6.1.1 Paramètres de simulation.

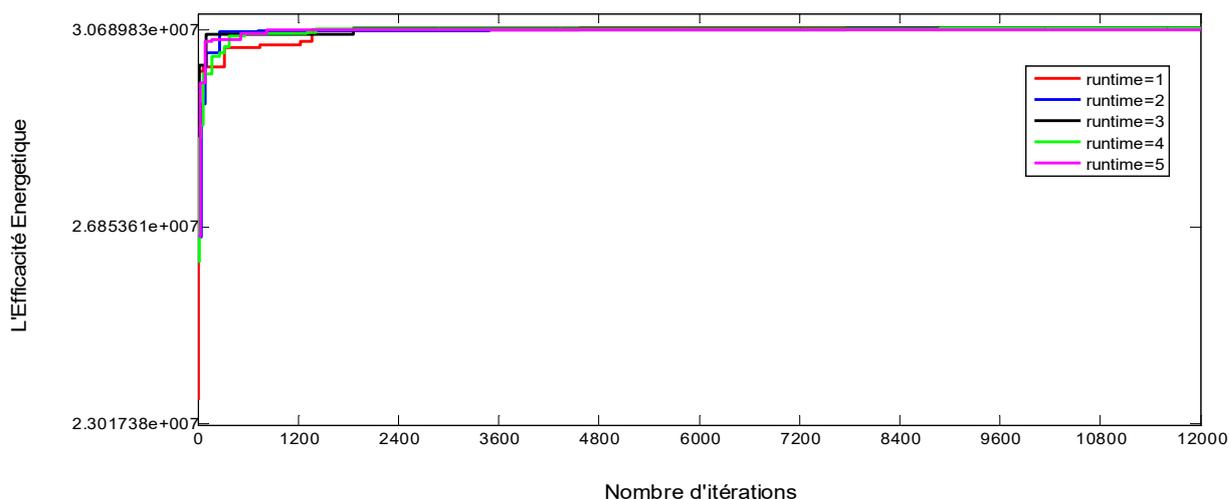
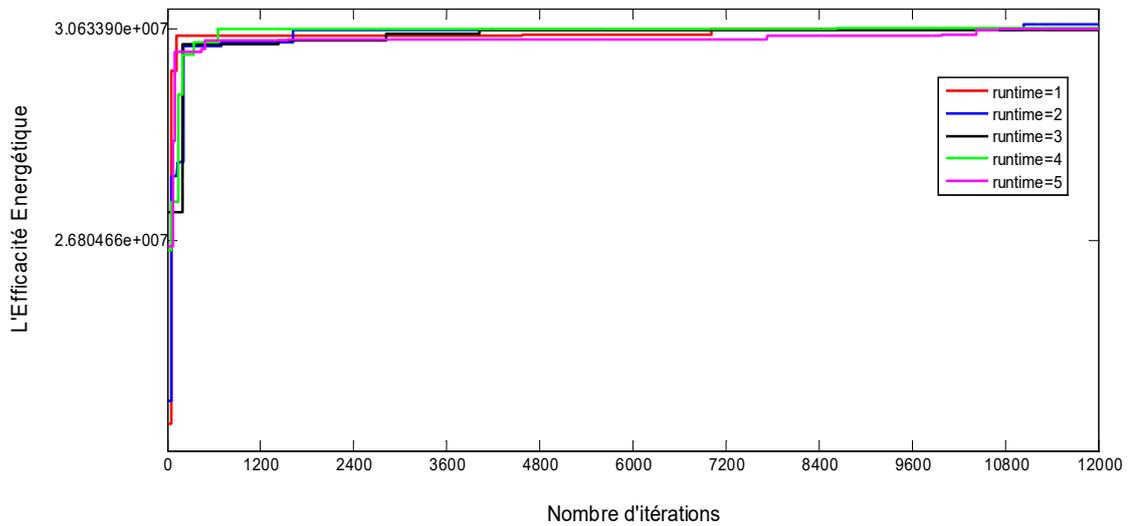


Figure 3.7.1.1 L'efficacité énergétique (en bit / Joule) en fonction de nombre d'itérations, pour un nombre de limite=10, Foods=8, maxCycle=12000, et runtime=5.

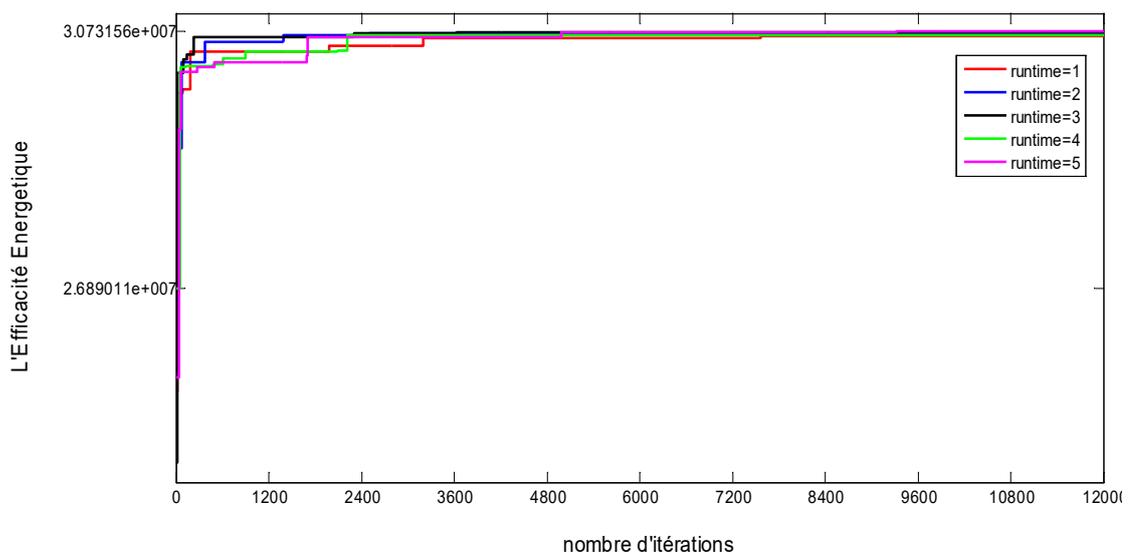
La figure 3.6.1.1 Montre l'efficacité de l'algorithme ABC, vu qu'après plusieurs exécutions (runtime) l'efficacité énergétique converge toujours vers la même valeur finale qui est égale à  $3.068983e+007$  bit/j.

Les trois figures suivantes montrent également que de l'algorithme ABC reste toujours en bon fonctionnement, même dans le cas de changement des paramètres de ce dernier tel que la limite et la taille de la population.



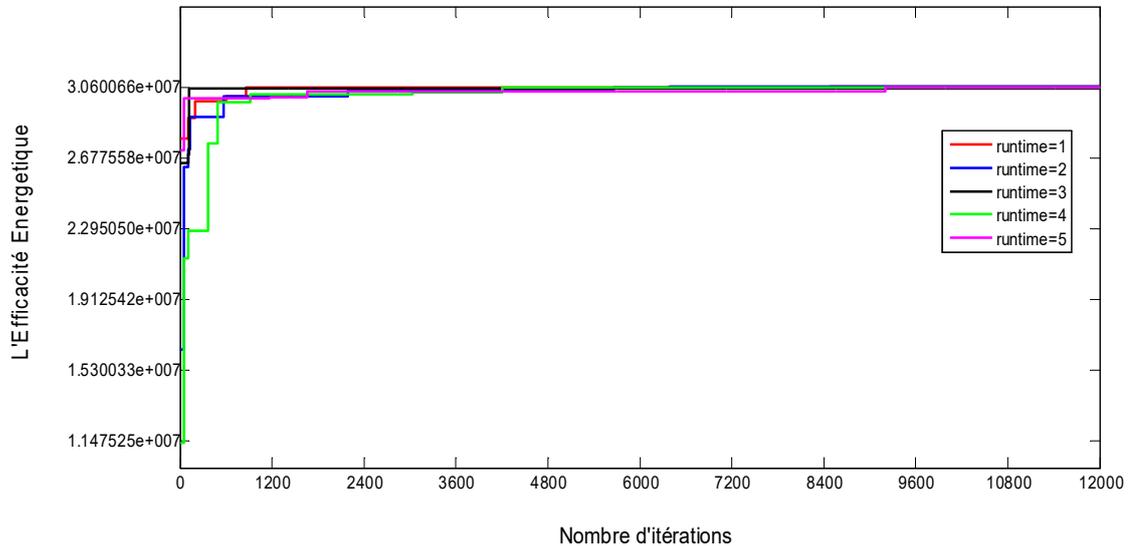
**Figure 3.7.1.2** L'efficacité énergétique (en bit / Joule) en fonction de nombre d'itérations, pour un nombre de limite=100, Foods=8, maxCycle=12000, et runtime=5.

En remarque que pour la même taille de population Foods=8, et pour une valeur de limite différente (limite=100), l'efficacité énergétique converge aussi à sa valeur finale.



**Figure 3.7.1.3** L'efficacité énergétique (en bit / Joule) en fonction de nombre d'itérations, pour un nombre de limite=10, Foods=4, maxCycle=12000, et runtime=5.

Dans cette figure on remarque que malgré le changement de la taille de population et de la limite, l'efficacité énergétique converge toujours vers sa valeur finale.



**Figure 3.7.1.4** L'efficacité énergétique (en bit / Joule) en fonction de nombre d'itérations, pour un nombre de limite=100, Foods=4, maxCycle=12000, et runtime=5.

Cette figure confirme que l'algorithme ABC est en bon état de fonctionnement, quels que soient ces paramètres.

Plusieurs simulations ont été effectuées afin de mieux choisir les valeurs de ces paramètres afin d'obtenir de meilleure performance.

### 3.7.1 Identification des paramètres de contrôle de l'algorithme ABC

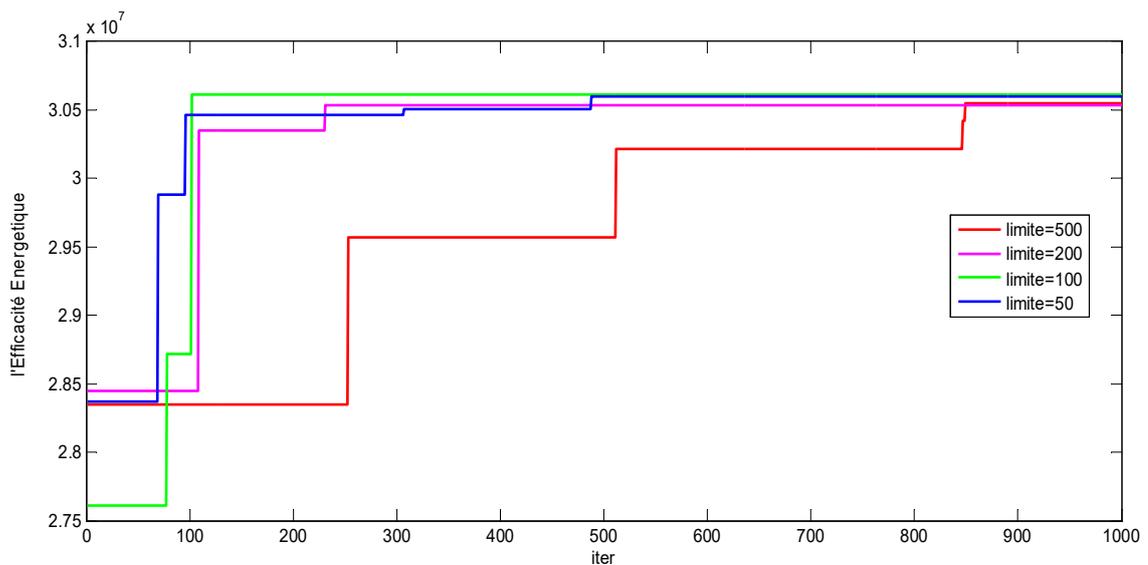
Pour obtenir des résultats robustes, les valeurs d'efficacité énergétique sont calculées pour des valeurs de limite différentes, des valeurs de taille des colonies et un nombre d'itération fixe. La valeur de la limite est choisie entre 50 et 500 par rapport à la taille des colonies et la taille de la population varie entre 10 et 40 avec un pas de 10. Les résultats moyens de l'EE rapporté dans Table.4 ont été obtenus pour 20 simulations. Pour chaque simulation, la population initiale a été générée avec des graines aléatoires.

MaxCycle	Colony size	Limit	EE	M <sub>opt</sub>	K <sub>opt</sub>	Execution time (s)
1000	10	500	3,015880e+007	180	111	78,737418
		200	3,031725e+007	176	112	75,9228881
		100	3,091145e+007	167	105	74,6214428
		50	3,052230e+007	168	103	71,0146742
	20	500	3,022510e+007	182	114	164,454533
		200	3,045495e+007	183	108	157,151588
		100	3,050975e+007	176	110	162,882767
		50	3,058800e+007	171	105	160,865153
	30	500	3,032745e+007	159	105	248,236325
		200	3,049530e+007	165	103	250,557812
		100	3,059125e+007	164	104	239,791653
		50	3,061160e+007	173	106	240,968456
	40	500	3,041005e+007	179	106	326,000788
		200	3,055005e+007	169	107	314,535632
		100	3,062380e+007	166	104	286,003734
		50	3,058315e+007	166	107	295,435966

**Table 3.6.1.2** les valeurs moyenne de l'EE, de nombre d'antennes M<sub>opt</sub>, de nombre d'utilisateur K<sub>opt</sub> et de temps d'exécution.

Ce tableau montre que la valeur de l'efficacité énergétique est obtenue dans tous les cas de la simulation, tandis que le nombre d'antennes M<sub>opt</sub> et le nombre d'utilisateurs K<sub>opt</sub> est plus précis lorsque la taille de population devient plus importante, car les abeilles peuvent explorer tout l'espace de recherche, ce qu'explique l'augmentation de temps d'exécution.

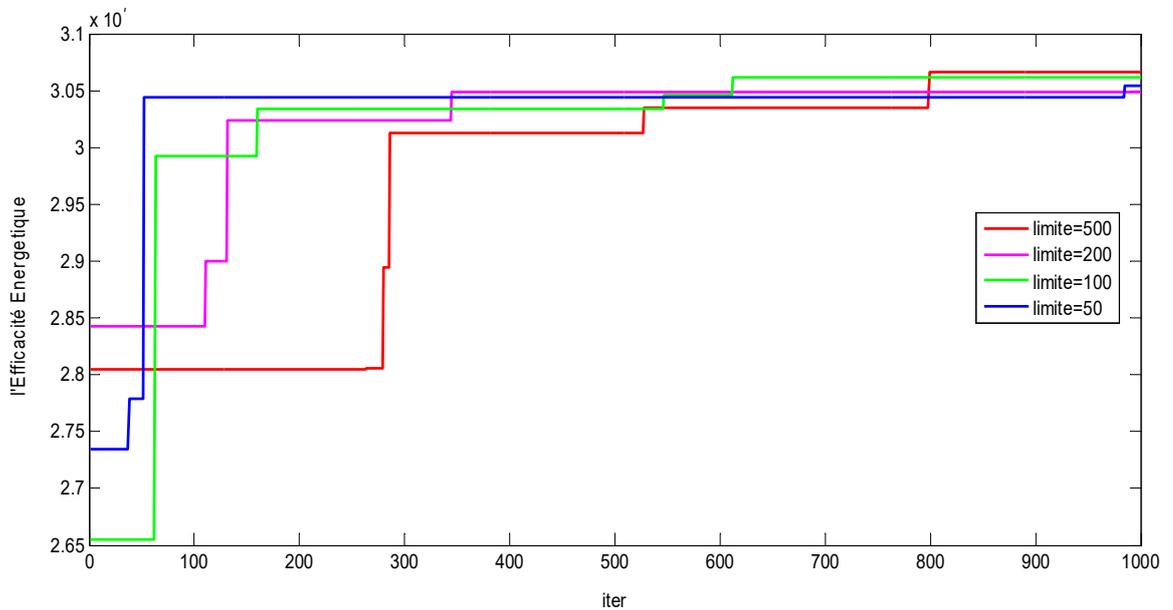
La figure suivante représente un résultat de simulation de l'algorithme ABC faite avec une taille de population CS=40, pour vérifier l'efficacité énergétique pour des différentes valeurs de limite.



**Figure 3.7.1.5** Figure l'efficacité énergétique pour un CS=40 en fonction de différentes limites.

La figure 3.6.1.5 montre que le temps de convergence de l'efficacité énergétique dépend directement de la limite de telle sorte que, lorsque la limite=50 il converge plus rapidement que pour une limite de 500.

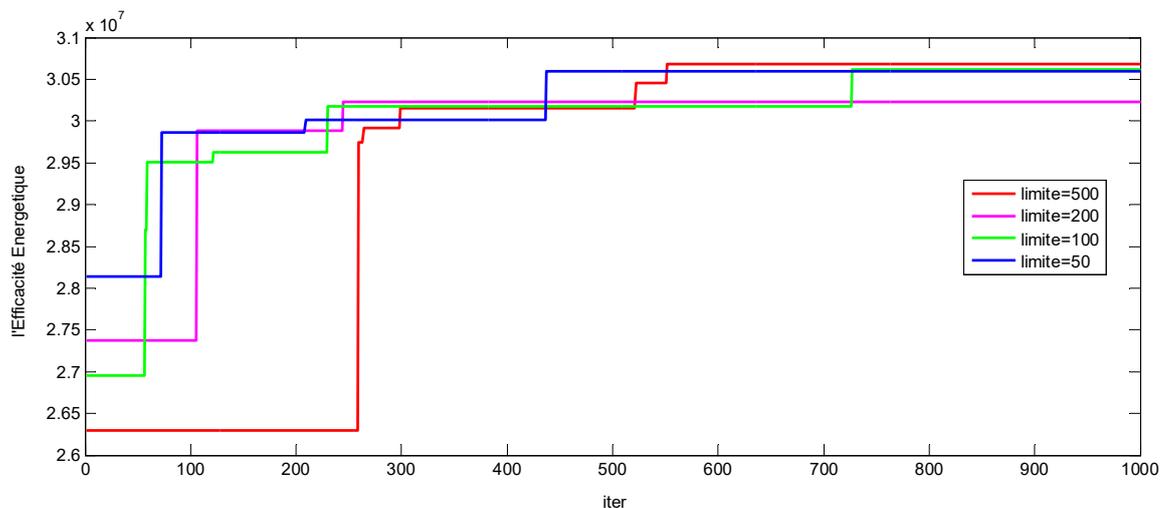
Dans la figure suivante on teste toujours l'efficacité énergétique, mais cette fois-ci avec une autre valeur de population CS=30.



**Figure 3.7.1.6** Figure L'efficacité énergétique pour un CS=30 en fonction de différentes limites

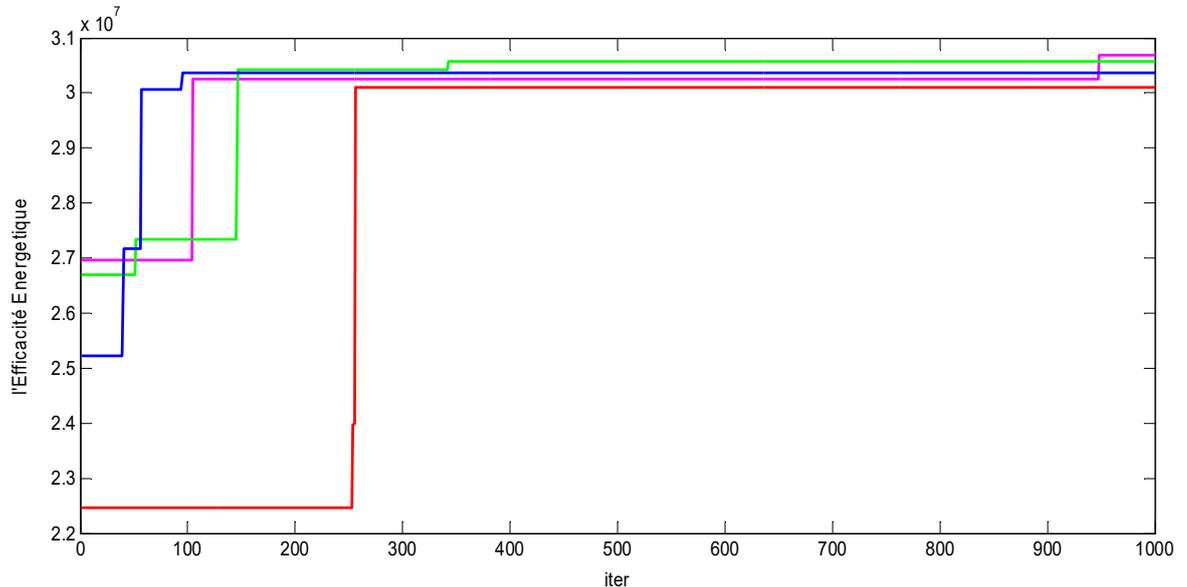
La figure 3.6.1.6 montre que pour les petites valeurs de la limite (la convergence de l'efficacité énergétique devient plus rapide, mais par contre en remarque que la valeur finale de cette dernière est moins précise que pour un CS=40 (la figure 3.6.1.5)

Dans la figure suivante, on utilise une autre valeur de population CS=20 pour tester l'efficacité énergétique.



**Figure 3.7.1.7** Figure L'efficacité énergétique pour un CS=30 en fonction de différentes limites

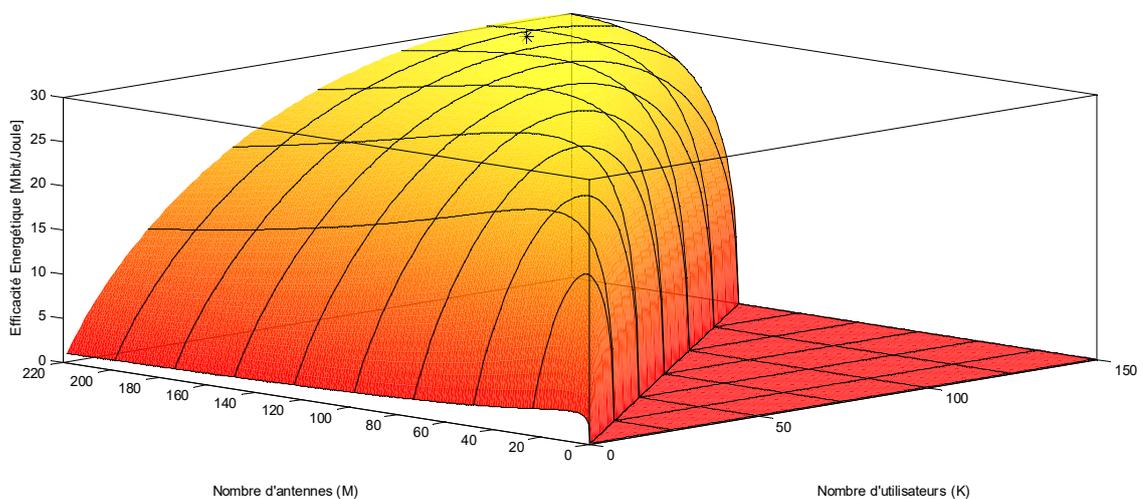
La figure 3.6.1.7 montre que pour les petites valeurs de la limite (la convergence de l'efficacité énergétique devient plus rapide, mais par contre en remarque que la valeur finale de cette dernière est moins précise que pour un CS=40 et CS=30. Dans la figure suivante, on utilise une dernière valeur de population CS=10 pour tester l'efficacité énergétique.



**Figure 3.7.1.8** Figure L'efficacité énergétique pour un CS=30 en fonction de différentes limites.

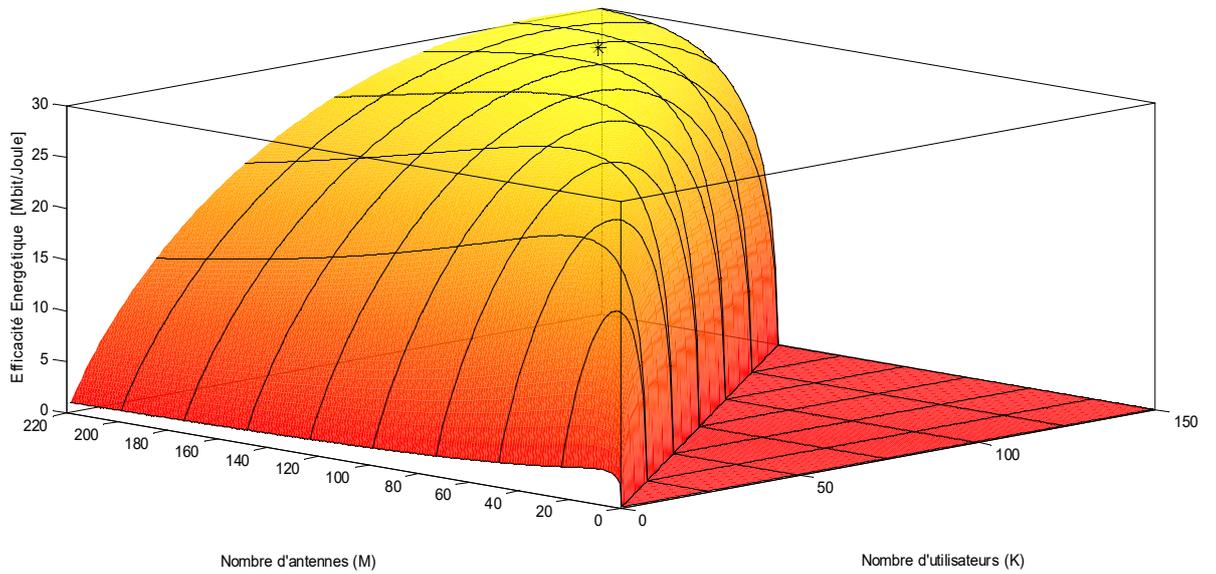
Cette figure 3.6.1.8 Confirme les résultats de 3 figures précédentes que l'efficacité énergétique converge plus rapidement vers sa valeur finale lorsque la limite est plus petite, car dans ce cas lorsque la solution ne s'améliore pas l'algorithme cherche une autre solution directement.

Les figures suivantes sont une présentation en 3D de l'efficacité énergétique en fonction de nombre d'antennes  $M_{opt}$  et de nombre d'utilisateurs  $K_{opt}$ , avec les paramètres limite et CS déduisent comme optimaux à partir du tableau et des figures.



**Figure 3.7.1.9** représente en 3D des valeurs optimales de  $M_{opt}$  et  $K_{opt}$  en fonction de l'EE.

Cette figure montre la combinaison  $M_{opt}$  et  $K_{opt}$  qui donne une valeur de l'efficacité énergétique maximale, pour une taille de population  $CS=10$  et une limite  $=50$ .

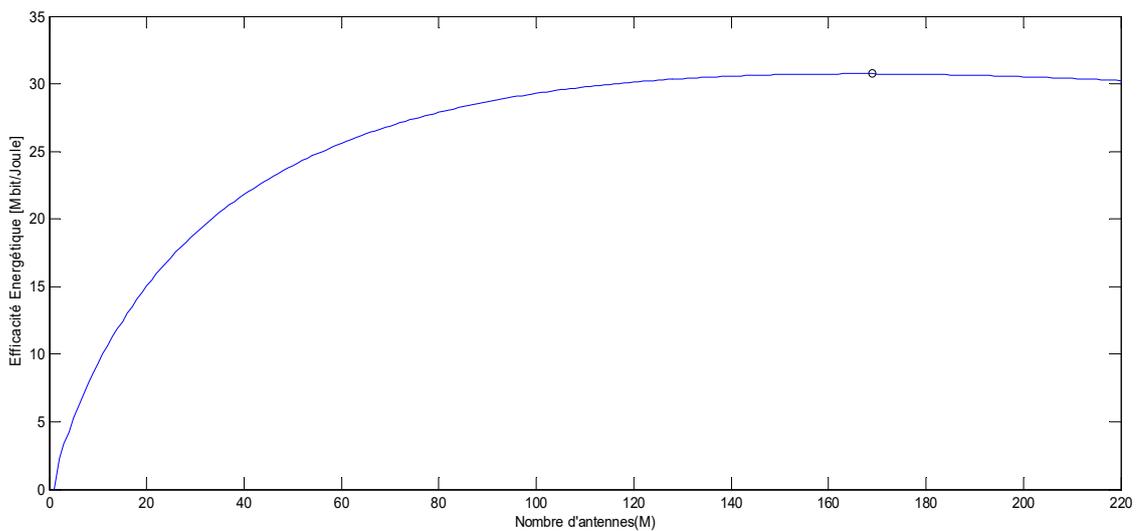


**Figure 3.7.1.10** représente en 3D des valeurs optimales de  $M_{opt}$  et  $K_{opt}$  en fonction de l'EE.

Cette figure montre la combinaison  $M_{opt}$  et  $K_{opt}$  qui donne une valeur de l'efficacité énergétique maximale, pour une taille de population  $CS=10$  et une limite  $=50$ .

### 3.7.2 Le nombre d'antennes :

En cherchant le nombre d'antenne  $M_{opt}$  qui correspond à la valeur de l'efficacité énergétique trouvé dans les graphes précédents  $EE = 30.7 \text{ Mbit/J}$  en trouve le résultat suivant :



**Figure 3.7.2.1** Le nombre d'antennes optimales en fonction de l'efficacité énergétique.

Cette figure représente le nombre d'antennes optimal qui donne la valeur maximale de l'efficacité énergétique qui est autour de 165.

### 3.8 Discussion des résultats :

Les résultats de notre travail seront comparés avec une autre étude fait par 'Björnson, E., Sanguinetti, L., Hoydis, J., & Debbah, M. (2015). Optimal design of energy-efficient multi-user MIMO systems: Is massive MIMO the answer? *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 14(6), 3059-3075', Dans le but de trouver le nombre optimal d'antennes, d'utilisateurs actifs et la puissance d'émission. Ou il propose un nouveau modèle de consommation d'énergie réaliste qui révèle comment les paramètres ci-dessus affectent l'EE dans un scénario unicellulaire avec un forçage à zéro (ZF).

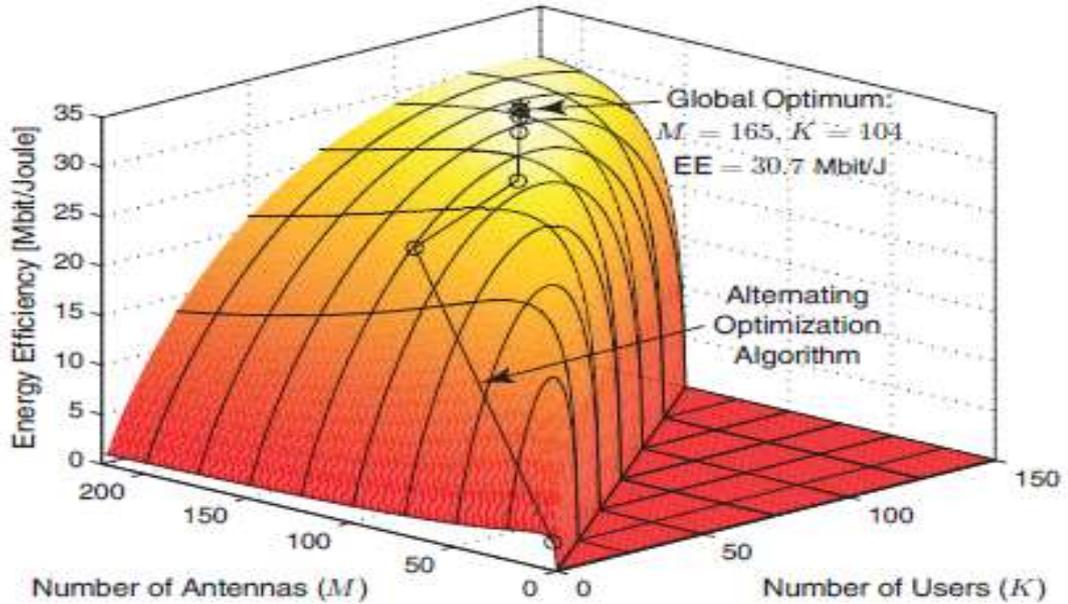
Avec les paramètres de simulation suivant :

paramètre	valeur
$d_{max}$	250m
$d_{min}$	35m
$B$	20MHz
$B_C$	180KHz
$T_C$	10ms
$U$	1800
$\tau^{(ul)}, \tau^{(dl)}$	1

**Table 3.7** Paramètre de simulation.

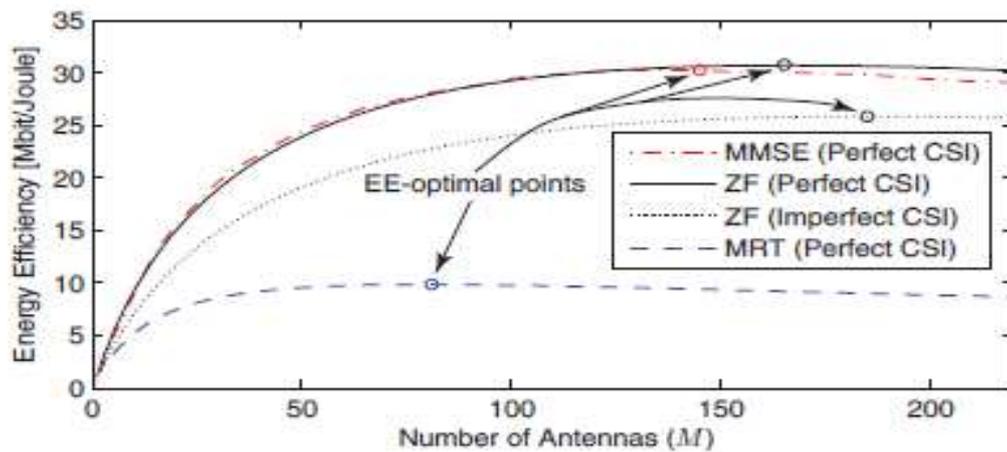
Les résultats de cette étude sont :

La figure 4.2.1 représente l'efficacité énergétique (en Mbit/Joule), le nombre d'antennes optimal et le nombre d'utilisateurs optimal, dans un scénario unicellulaire et en utilisant un traitement de ZF .



**Figure 3.8.1.21** Efficacité énergétique en fonction de nombre d'antennes  $M_{opt}$  et de nombre d'utilisateurs  $K_{opt}$ .

La figure 4.2.2 : représente la valeur maximale de l'efficacité énergétique en fonction de nombre d'antennes, en utilisant les différents traitements tels que (ZF, MMSE et MRT).



**Figure 4.2.2** La valeur de nombre d'antennes optimale en fonction de l'efficacité énergétique.

En remarque que la valeur de l'efficacité énergétique trouvée dans cette étude égale à la valeur trouvée dans la simulation  $EE = 30.7 \text{ Mbit/J}$ , ainsi que la valeur de nombre d'antennes optimale.

## Conclusion générale

---

Dans les systèmes de communication MIMO avec les chaînes de fréquence radio et les traitements en bande de base, une antenne correspond à une chaîne RF. Par conséquent, un grand nombre de chaînes RF devrait être utilisée pour le système MIMO massive qui augmente inévitablement l'énergie consommée et le coût du système. Pour pallier ce problème, le travail proposé ici a traité l'optimisation de l'efficacité énergétique dans le système MIMO massif en utilisant l'algorithme des colonies d'abeilles artificielle. Au lieu d'activer tout le temps toutes les antennes de BS pour servir un nombre variable d'utilisateurs mobiles, l'algorithme ABC est proposé pour trouver le nombre optimal d'antennes qui doit être activé pour servir un nombre optimal des utilisateurs.

Nous avons considéré une seule cellule avec un système MIMO massif multi-utilisateurs dont les deux liaisons montante et descendante sont prises en considération. La station de base BS se trouvant au milieu de la cellule est supposée être équipée de  $M$  antenne qui communique avec  $K$  usagers ayant chacun une antenne unique et qui sont distribués uniformément dans une cellule de forme circulaire. En outre, la propagation est à évanouissement à grande échelle. La Synchronisation est considérée parfaite entre la station de base et les usagers.

Dans ce travail, nous avons fourni des résultats numériques liés à l'efficacité énergétique en fonction du nombre d'antenne à la station de base  $M$  et le nombre d'utilisateurs servis  $K$ . Les paramètres de contrôle de l'algorithme ABC sont la taille de la colonie (nombre de spectateurs et des abeilles ou des aliments employés Sources), MaxCycles (critères de terminaison) et limites. Par conséquent, afin de trouver les meilleures valeurs des paramètres de control pour le problème d'optimisation de l'efficacité énergétique proposée, nous avons réalisé une série de simulations pour choisir les valeurs appropriées.

Des résultats de simulation ont montré que les paramètres de contrôle de l'algorithme ABC doivent être bien ajustés, afin d'obtenir de meilleurs résultats dans un délai raisonnable.

Les paramètres de contrôle de l'algorithme ABC colonie les plus importants sont la limite et la taille de population.

L'expérience a prouvé que pour avoir des résultats exacts il faut choisir des limites faibles (autour de 50), car dans ce cas l'algorithme abandonne des résultats qui ne s'améliorent pas directement. Ainsi que la taille de population doit être importante (autour de 40), car l'algorithme dans ce cas donne des résultats plus exacts. Le seul inconvénient dans ce cas est que le temps d'exécution devient plus important.

## Bibliographie :

---

- [1] Liu, L., Chen, R., Geirhofer, S., Sayana, K., Shi, Z., & Zhou, Y. (2012). Downlink mimo in lte-advanced: Su-mimo vs. mu-mimo. *Communications Magazine, IEEE*, 50(2), 140-147.
- [2] T. L. Marzetta, "How much training is required for multiuser mimo ?" in *ACSSC. Asilomar Conf. on*, 2006, pp. 359–363.
- [3] T. L. Marzetta, "How much training is required for multiuser mimo ?" in *ACSSC. Asilomar Conf. on*, 2006, pp. 359–363.
- [4] Erik G Larsson, Fredrik Tufvesson, Ove Edfors, and Thomas L Marzetta, "Massive mimo for next generation wireless systems," arXiv preprint arXiv :1304.6690, 2013.
- [5] X. Gao, F. Tufvesson, O. Edfors, and F. Rusek, "Measured propagation characteristics for very-large MIMO at 2.6 GHz," *The 46th IEEE Annual Asilomar Conf. on Sig., Syst., and Comp.*, 2012.
- [6] M. Kobayashi, N. Jindal, and G. Caire, "Training and feedback optimization for multiuser MIMO downlink," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 59, no. 8, pp. 2228–2240, Aug. 2011.
- [7] T. L. Marzetta, "Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 11, pp. 3590–3600, Nov. 2010.
- [8] Y.-H. Nam, B. L. Ng, K. Sayana, Y. Li, J. C. Zhang, Y. Kim, and J. Lee, "Full-dimension MIMO (FD-MIMO) for next generation cellular technology," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 6, pp. 172–178, 2013.
- [9] H. Yang and T. L. Marzetta, "Performance of conjugate and zeroforcing beamforming in large-scale antenna systems," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 31, no. 2, pp. 172–179, Feb. 2013.
- [10] E. Björnson, J. Hoydis, M. Kountouris, and M. Debbah, "Hardware impairments in large-scale MISO systems: Energy efficiency, estimation, and capacity limits," in

Proc. Signal Processing and Optimization for Green Energy and Green Communications (DSP'13), Santorini, Greece, 2013.

[11] Ngo, H. Q. (2015). Massive MIMO: Fundamentals and system designs (Vol. 1642). Linköping University Electronic Press.

[12] H. Q. Ngo, E. G. Larsson, and T. L. Marzetta, "Energy and spectral efficiency of very large multiuser MIMO systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 61, pp. 1436–1449, Apr. 2013.

[13] J. Jose, A. Ashikhmin, T. L. Marzetta, and S. Vishwanath, "Pilot contamination and precoding in multi-cell tdd systems," *Wireless Communications, IEEE Trans. on*, vol. 10, no. 8, pp. 2640–2651, 2011.

[14] H. Q. Ngo, T. L. Marzetta, and E. G. Larsson, "Analysis of the pilot contamination effect in very large multicell multiuser mimo systems for physical channel models," in *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), IEEE Int. Conf. on*, 2011, pp. 3464–3467.

[15] T. L. Marzetta, "Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas," *Wireless Communications, IEEE Trans. on*, vol. 9, no. 11, pp. 3590–3600, 2010.

[16] Erik G Larsson, Fredrik Tufvesson, Ove Edfors, and Thomas L Marzetta, "Massive mimo for next generation wireless systems," arXiv preprint arXiv :1304.6690, 2013.

[17] H. Q. Ngo and E. G. Larsson, "Blind estimation of effective downlink channel gains in Massive MIMO," in *Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speed and Signal Processing (ICASSP), Brisbane, Australia, April 2015*, submitted.

[17] H. Q. Ngo and E. G. Larsson, "Blind estimation of effective downlink channel gains in Massive MIMO," in *Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speed and Signal Processing (ICASSP), Brisbane, Australia, April 2015*, submitted.

[18] L. Venturino, A. Zappone, C. Risi, and S. Buzzi, "Energy-efficient scheduling and power allocation in downlink OFDMA networks with base station coordination," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 14, no. 1, pp. 1–14, January 2015.

[19] J. Xu and L. Qiu, "Energy efficiency optimization for MIMO broadcast channels," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 12, no. 2, pp. 690–701, February 2013.

[20] A. Fehske, J. Malmodin, G. Biczok, and G. Fettweis, "The Global Footprint of Mobile Communications—The Ecological and Economic Perspective," *IEEE Communications Magazine*, issue on Green Communications, pp. 55–62, August 2011.

- [21] G. Auer, V. Giannini, C. Desset, I. Godor, P. Skillermark, M. Olsson, M. A. Imran, D. Sabella, M. J. Gonzalez, O. Blume, and A. Fehske, “How much energy is needed to run a wireless network?” *IEEE Wireless Communications*, vol. 18, no. 5, pp. 40–49, 2011.
- [22] “Why the EU is betting big on 5G,” *Research EU Focus Magazine*, vol. 15, 2015.
- [23] A. Zappone and E. Jorswieck, “Energy efficiency in wireless networks via fractional programming theory,” *Foundations and Trends in Communications and Information Theory*, vol. 11, no. 3-4, pp. 185–396, 2015.
- [24] J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. Hanly, A. Lozano, A. C. K. Soong, and J. C. Zhang, “What will 5G be?” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 32, no. 6, pp. 1065–1082, June 2014.
- [25] J. G. Andrews, “Seven ways that HetNets are a cellular paradigm shift,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 3, pp. 136–144, March 2013.
- [26] H. Q. Ngo, E. G. Larsson, and T. L. Marzetta, “Energy and spectral efficiency of very large multiuser MIMO systems,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 61, no. 4, April 2013.
- [27] 5G-PPP, “5G manifesto,” in *Mobile World Congress*, 2015.
- [28] H. A. Hassan et al., “Renewable energy in cellular networks: A survey,” in *Proc.2013 IEEE Online Conference on Green Communications*, October 2013.
- [29] S. Ulukus, A. Yener, E. Erkip, O. Simeone, M. Zorzi, P. Grover, and K. Huang, “Energy harvesting wireless communications: A review of recent advances,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 33, no. 3, pp. 360–380, March 2015.
- [30] X. Lu, D. Niyato, D. I. Kim, and Z. Han, “Wireless networks with RF energy harvesting: A contemporary survey,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 2, pp. 757–789, 2015.
- [31] H. J. Visser and R. J. M. Vullers, “RF energy harvesting and transport for wireless sensor network applications: Principles and requirements,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 101, no. 6, pp. 1410–1423, June 2013.
- [32] Erik G Larsson, Fredrik Tufvesson, Ove Edfors, and Thomas L Marzetta, “Massive mimo for next generation wireless systems,” *arXiv preprint arXiv :1304.6690*, 2013.
- [33] X. Gao, F. Tufvesson, O. Edfors, and F. Rusek, “Measured propagation characteristics for very-large MIMO at 2.6 GHz,” *The 46th IEEE Annual Asilomar Conf. on Sig., Syst., and Comp.*, 2012.
- [34] Björnson, E, Larsson, E. G., & Marzetta, T. L. (2015). Massive MIMO: Ten myths and one critical question. *arXiv preprint arXiv:1503.06854*.

[35] Huang, D. S. (2006). Transactions of the institute of measurement and control.