

# INSTITUT D'ÉLECTRONIQUE ET DE TÉLÉCOMMUNICATIONS DE RENNES



Séminaire ED S2IM  
*Énergie et technologie de  
l'information*

## Les TIC et l'écoradio

Jean-Yves Baudais

Limoges-XLIM  
20 novembre 2012



UNIVERSITÉ DE NANTES



UNIVERSITÉ DE  
RENNES 1

# LE DÉCORS

# Les technologies de l'information et de la communication

## Un besoin de définition

- ▶ 2010, constat « *there is currently no definition of the term "information and communication technologies", which is widely used in documents of the United Nations, ITU and other organizations* » et requête pour la constitution d'un groupe pour définir le terme TIC, résolution 140 de l'ITU
- ▶ 2011, création du groupe (*correspondance group*) au sein de l'ITU
- ▶ 2012, 1<sup>ers</sup> résultats
- ▶ 2014, rapport final



# Les technologies de l'information et de la communication

## Sens communs

« Ce qui concerne le matériel électronique informatique et logiciels associés pour convertir, stocker, protéger, traiter, transmettre, récupérer des informations pour la plupart numérisées »

## Niveaux de description<sup>1</sup>

- ▶ Technique (composant)
  - ▶ Électronique, photonique, mécanique
  - ▶ Matériel, processus, techniques pour créer les éléments matériels de base
- ▶ Équipement (produit)
  - ▶ Combinaison matériel, logiciel
  - ▶ Systèmes ou dispositifs fonctionnels
- ▶ Service (contenu)
  - ▶ Applications matériels ou logiciels avec contenu

---

1. Rapport CE « Impacts des TIC sur l'efficacité énergétique », 2008

# Les technologies de l'information et de la communication

## Technique (composant)

### ▸ Information

- Traitement : processeurs génériques ou spécifiques (CPU, DSP, GPU)
- Stockage : semiconducteur, disques optiques, bandes magnétiques
- Données d'entrée (micro-systèmes) : optiques, acoustiques, températures. . .
- Données de sortie : optiques (projection), acoustiques (voix), micro-électro-mécaniques

### ▸ Communication

- Téléphonie filaire (ADSL, IP. . .)
- Diffusion (TV, radio)
- Téléphonie mobile (GSM, GPRS, UMTS)
- Transmission de données filaires (internet et réseaux locaux)
- Réseaux sans fil (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee)

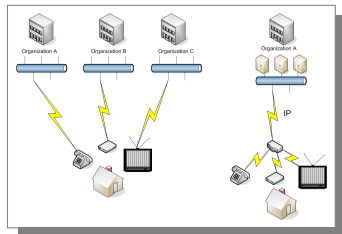
# Les technologies de l'information et de la communication

## Équipement (produit)

- ▶ Matériel de l'utilisateur final
  - ▶ Ordinateurs et périphériques (serveurs, consoles de jeux, ordinateurs portables, équipements vidéos. . .)
  - ▶ Enregistreurs, lecteurs, unités de stockage (DVD, USB, MP3. . .)
  - ▶ Modems (interface réseau à haut ou bas débit)
  - ▶ Téléphones filaires, sans fil, mobiles
  - ▶ Fax
  - ▶ TV et périphériques (récepteurs, antennes)

Frontière difficile avec EGP  
(électronique grand public)

- ▶ Convergence TIC-EGP
- ▶ *Box triple-play*  
(internet, téléphone,  
TV)



<http://www.wikipedia.org/>

# Les technologies de l'information et de la communication

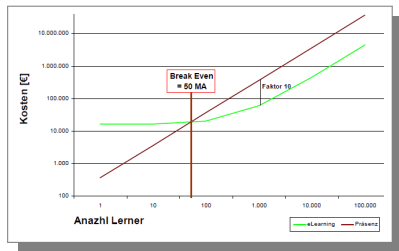
## Équipement (produit)

- ▶ Matériel de l'utilisateur final
  - ▶ Ordinateurs et périphériques (serveurs, consoles de jeux, ordinateurs portables, équipements vidéos. . .)
  - ▶ Enregistreurs, lecteurs, unités de stockage (DVD, USB, MP3. . .)
  - ▶ Modems (interface réseau à haut ou bas débit)
  - ▶ Téléphones filaires, sans fil, mobiles
  - ▶ Fax
  - ▶ TV et périphériques (récepteurs, antennes)
- ▶ Infrastructure
  - ▶ Serveurs et centres de données (*data center*)
  - ▶ Réseau filaire téléphonique (routeur, switch. . .)
  - ▶ Réseau cellulaire (station de base GSM ou UMTS, switch. . .)
  - ▶ Réseaux locaux sans fil (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee. . .)
  - ▶ Équipements de diffusion TV ou radio
  - ▶ Micro-systèmes

# Les technologies de l'information et de la communication

## Service (contenu)

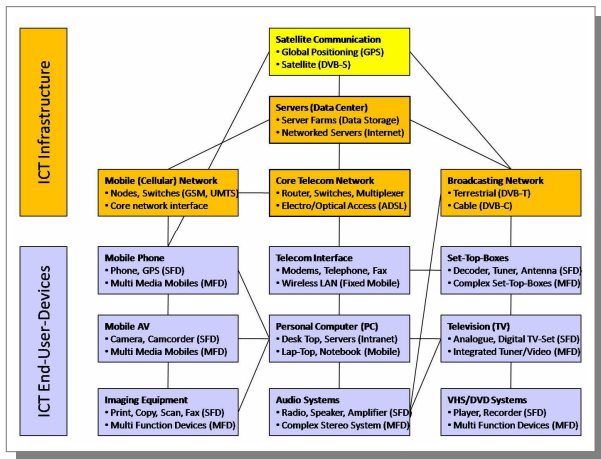
- ▶ Calculateur
  - ▶ Traitement de données, traitement multimédia, simulation
- ▶ Télécommunication
  - ▶ Téléconférence, télétravail, télé-achat. . .
- ▶ Internet
  - ▶ Commerce électronique, formation en ligne (*e-learning*). . .



- ▶ GPS
  - ▶ Navigation, sécurité, contrôle de trafic. . .



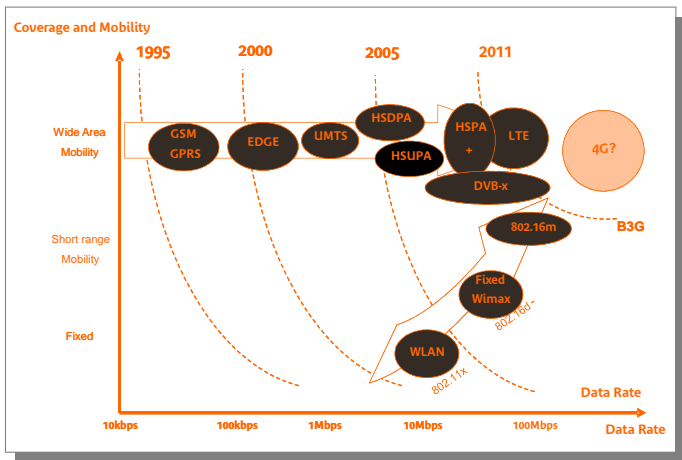
# Les technologies de l'information et de la communication



Rapport CE, 2008

- ▶ TIC = Informatique + internet + télécommunication

# Les télécommunications mobiles

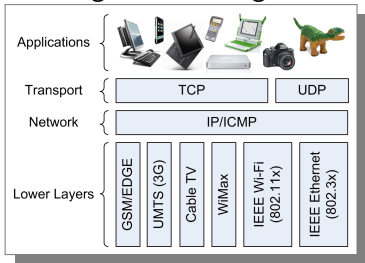


Orange Labs in GDR-ISIS, juin 2012

- ▶ 1893 Tesla ; 1896 télégraphe sans fil de Marconi ; 1980 1G analogique ; 1990 2G numérique
- ▶ 1970 premier réseau local ; 2000 développement Wi-Fi et Wimax

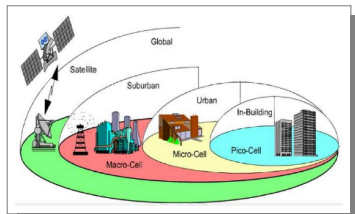
# Évolution des réseaux

## Convergence, hétérogénéité



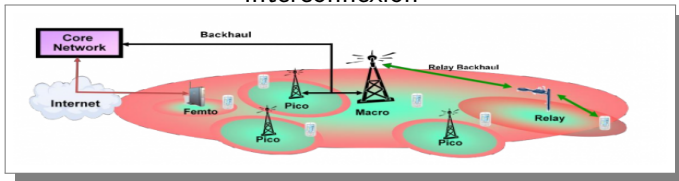
<http://courses.ischool.berkeley.edu/>

## Globalité



Rapport de master, M.L. Camara, 2008

## Interconnexion

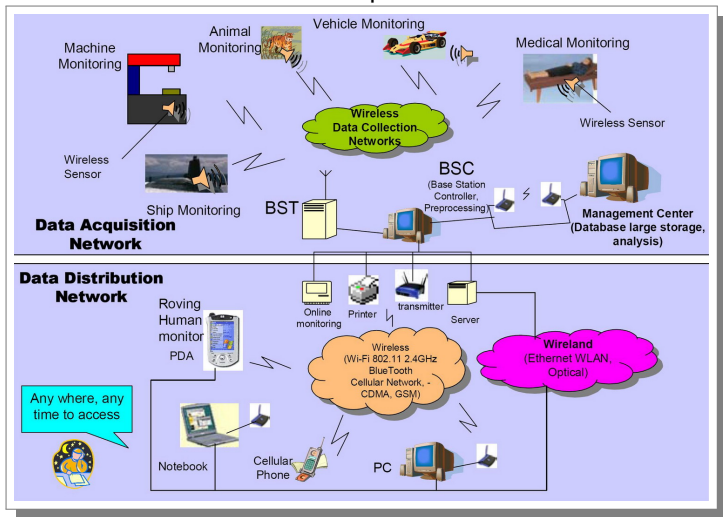


<http://www.3glteinfo.com/>

... virtuel ?

# Évolution des réseaux

## Réseaux de capteurs sans fil



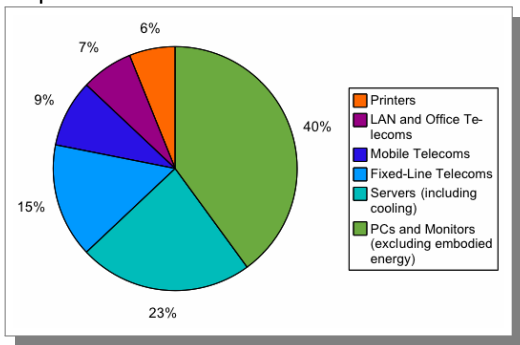
W. Seah & Y. Tan, *Sustainable wireless sensor network*, Intechweb 2010

# LE CONSTAT

# Empreinte carbone TIC

- ▶ 2 à 3 % des émissions de gaz à effet de serre

## Répartition des émissions hors télédiffusion



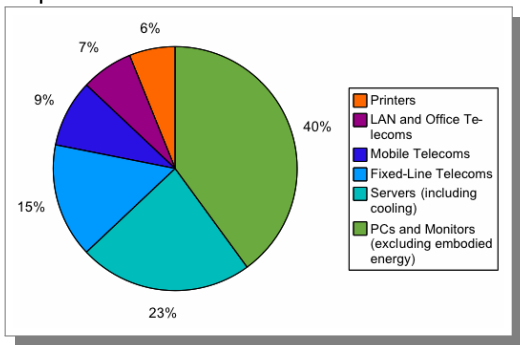
Rapport ITU, 2007

- ▶ 2 à 10 % de la consommation mondiale d'énergie

# Empreinte carbone TIC

- ▶ 2 à 3 % des émissions de gaz à effet de serre

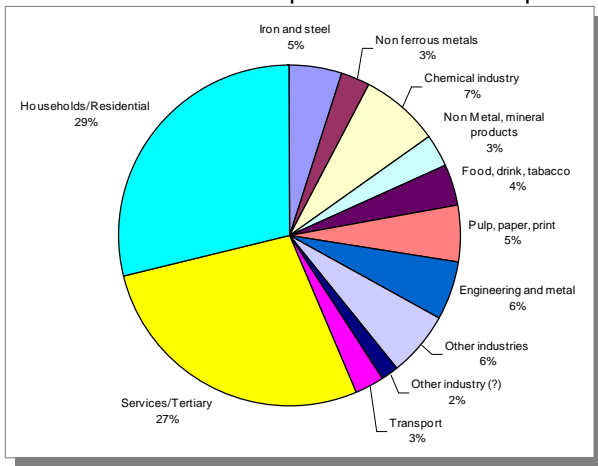
## Répartition des émissions hors télédiffusion



Rapport ITU, 2007

- ▶ 2 à 10 % de la consommation mondiale d'énergie

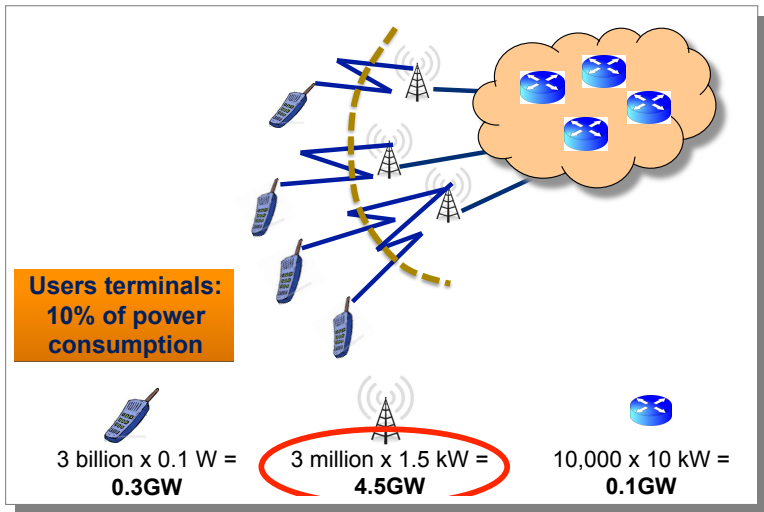
## Consommation d'électricité par secteur en Europe en 2005



Rapport CE, 2008

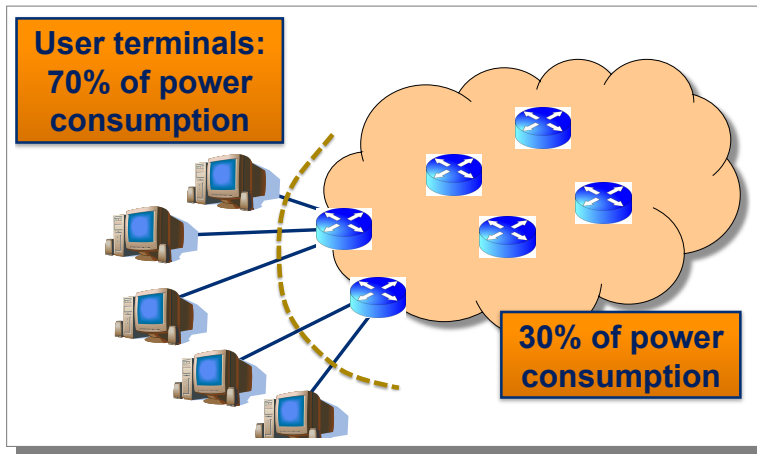


# Réseaux mobiles



M. Meo, *Green ICT*, 2011

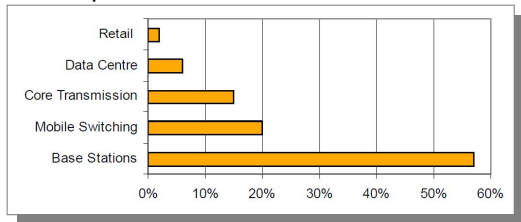
# Réseaux fixes



M. Meo, *Green ICT*, 2011

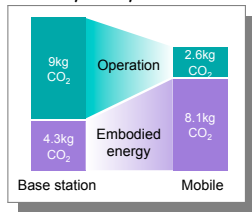
# Réseaux mobiles

## Répartition de la consommation



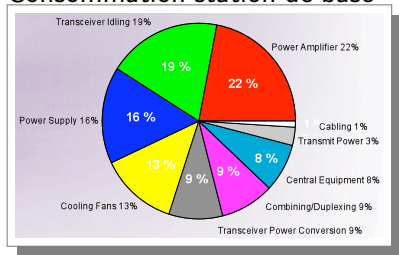
Vodafone, 2008

## CO<sub>2</sub>/ans/ abonné



Ericsson, 2008

## Consommation station de base

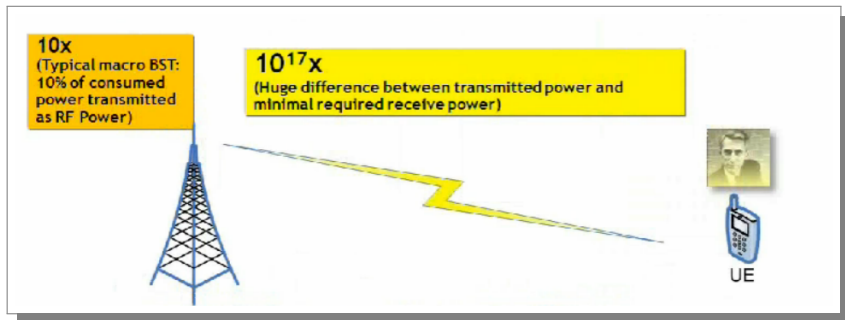


H. Karl, rapport technique, 2003

- Rendement d'une station de base :  $\frac{120 \text{ W}}{3800 \text{ W}}$

# Réseau mobile

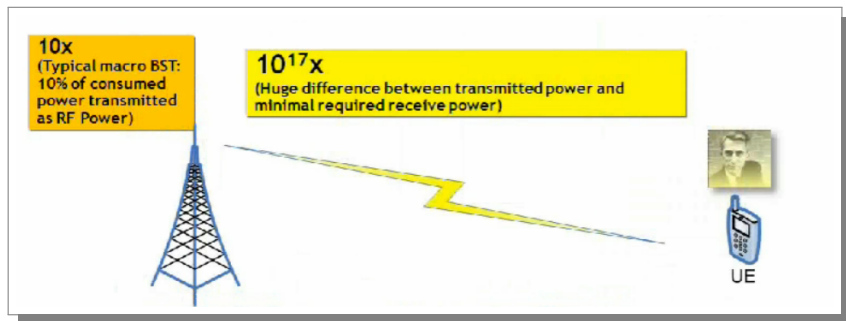
- ▶ Besoin de couverture et de débit tout le temps partout pour tous les services



GreenTouch, Alcatel-Lucent, 2011

# Réseau mobile

- ▶ Besoin de couverture et de débit tout le temps partout pour tous les services  $\equiv$  verser  $100 \text{ km}^3$  pour un dé à coudre d'eau

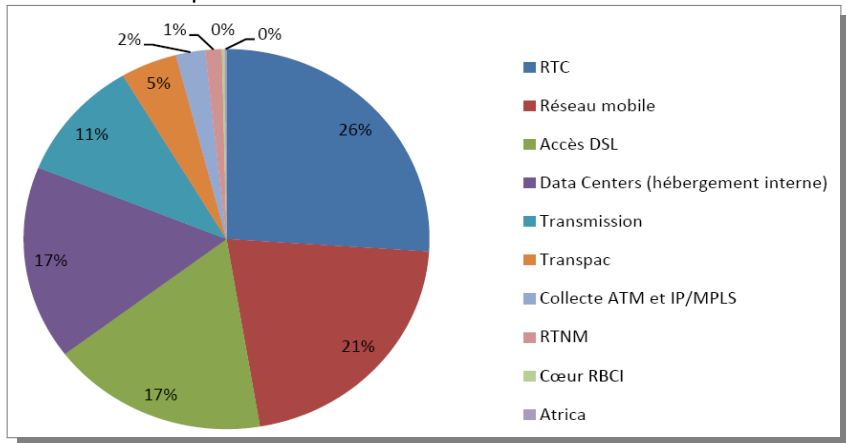


GreenTouch, Alcatel-Lucent, 2011

Station de base  $\equiv$  radiateur

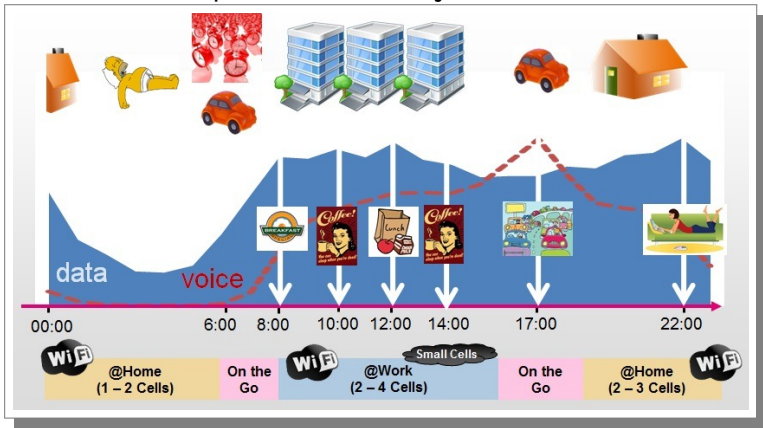
# Bilan d'un opérateur

## Répartition de la consommation en France



France Telecom, in WWRF 2008

## Trafic en Europe au cours d'une journée, réseau cellulaire



<http://technconomyblog.com/tag/mobile-broadband/>

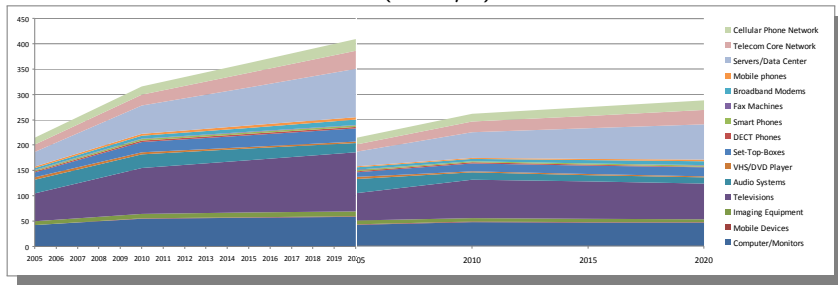
- ▶ 80 % du trafic depuis les bâtiments (habitat, travail)
- ▶ Succession pic Wi-Fi, pic téléphonie mobile

# Prévisions

## Trois scénarios

- ▶ De base : sans prendre en compte de l'augmentation de l'utilisation des TIC
- ▶ *Business as usual* : développement économique sans révolution, évolution des tendances actuelles (scénario du laisser-faire)
- ▶ Éco-scénario (optimiste)

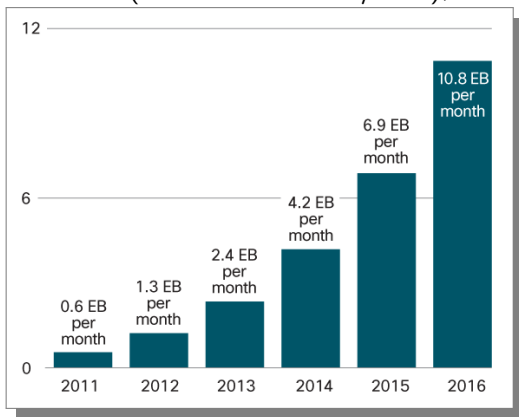
## Consommation d'électricité (TWh/a), scénarios BAU et ECO





# Prévisions

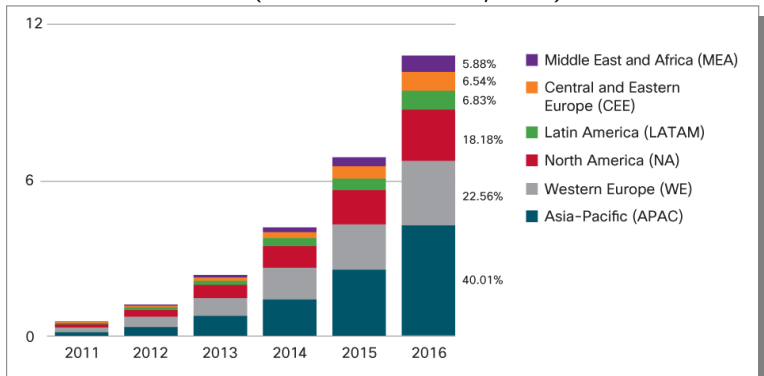
Trafic de données (2016 :  $10^{19}$  octets/mois), réseau mobile



Cisco, *Visual networking index*, 2012

# Prévisions

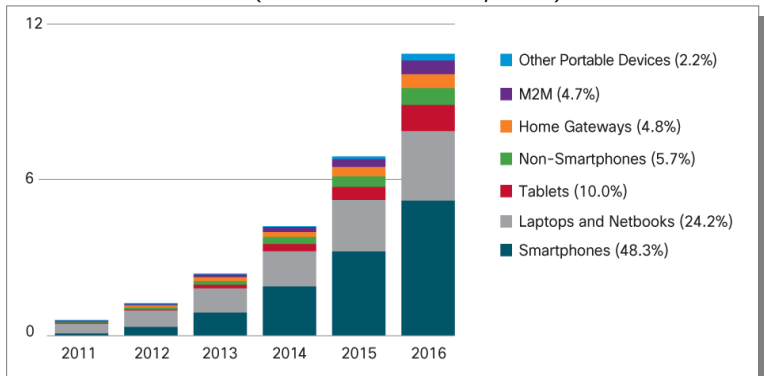
## Trafic de données (2016 : $10^{19}$ octets/mois), réseau mobile



Cisco, *Visual networking index*, 2012

# Prévisions

## Trafic de données (2016 : $10^{19}$ octets/mois), réseau mobile



Cisco, *Visual networking index*, 2012

ON COURT À LA CATASTROPHE

*scénario BAU*

## Trois augmentations liées

1. Débits
2. Consommation d'énergie
3. Impact environnemental

ON COURT À LA CATASTROPHE

*scénario BAU*

Trois augmentations liées

1. Débits
2. Consommation d'énergie
3. Impact environnemental

ON COURT À LA CATASTROPHE

*scénario BAU*

Trois augmentations liées

1. Débits
2. Consommation d'énergie
3. Impact environnemental

ON COURT À LA CATASTROPHE

*scénario BAU*

Trois augmentations liées

1. Débits
2. Consommation d'énergie
3. Impact environnemental

ON COURT À LA CATASTROPHE

*scénario BAU*

## Trois augmentations liées

1. Débits ← *contrainte usage*
2. Consommation d'énergie ← *contrainte technique*
3. Impact environnemental ← *contrainte env.*



# Constat

?????

*scénario ECO*

## Trois augmentations liées

1. Débits ← *contrainte usage*
2. Consommation d'énergie ← ~~*contrainte technique*~~
3. Impact environnemental ← *contrainte env.*

# L'ÉCORADIO

# Une histoire ancienne

- ▶ Augmentation des flux de données, des applications, des équipements et maîtrise des coûts associés
- ▶ Problème d'optimisation à plusieurs variables
  - ▶ Débit, quantité d'information
  - ▶ Puissance, énergie
  - ▶ Bande de fréquence
  - ▶ Délais, retard
  - ▶ Taux d'erreur
  - ▶ Protocole de communication
  - ▶ Configuration réseau
  - ▶ Coopération
  - ▶ Matériel, technologie
  - ▶ Complexité des algorithmes
- ▶ Ex. : maximisation du débit et allocation de l'information sous contrainte de puissance (comm. ADSL, coût : complexité)
- ▶ Nouveauté : plus avec *beaucoup* moins !

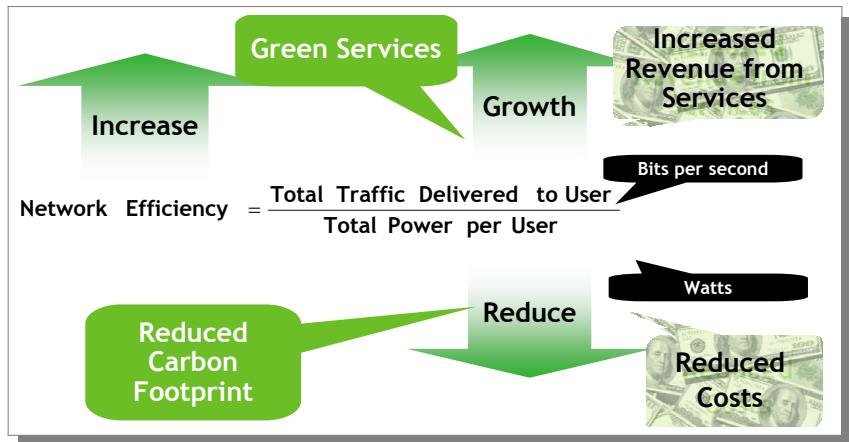
# Une histoire ancienne

- ▶ Augmentation des flux de données, des applications, des équipements et maîtrise des coûts associés
- ▶ Problème d'optimisation à plusieurs variables
  - ▶ Débit, quantité d'information
  - ▶ Puissance, énergie
  - ▶ Bande de fréquence
  - ▶ Délais, retard
  - ▶ Taux d'erreur
  - ▶ Protocole de communication
  - ▶ Configuration réseau
  - ▶ Coopération
  - ▶ Matériel, technologie
  - ▶ Complexité des algorithmes
- ▶ Ex. : maximisation du débit et allocation de l'information sous contrainte de puissance (comm. ADSL, coût : complexité)
- ▶ Nouveauté : plus avec *beaucoup* moins !

# Une histoire ancienne

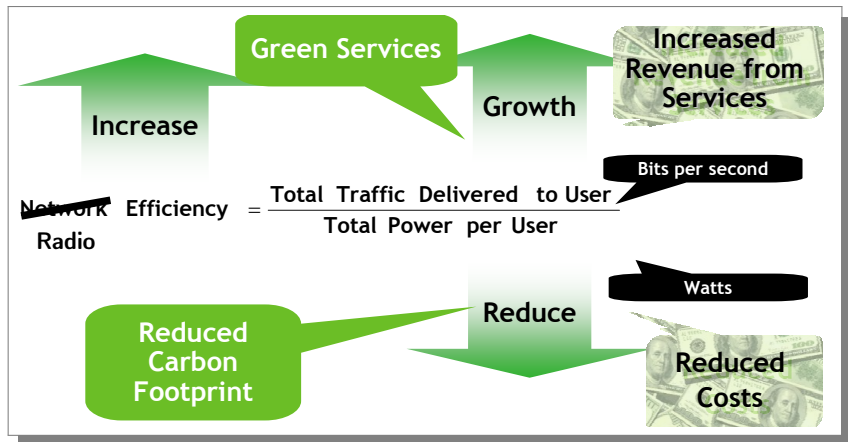
- ▶ Augmentation des flux de données, des applications, des équipements et maîtrise des coûts associés
- ▶ Problème d'optimisation à plusieurs variables
  - ▶ Débit, quantité d'information
  - ▶ Puissance, énergie
  - ▶ Bande de fréquence
  - ▶ Délais, retard
  - ▶ Taux d'erreur
  - ▶ Protocole de communication
  - ▶ Configuration réseau
  - ▶ Coopération
  - ▶ Matériel, technologie
  - ▶ Complexité des algorithmes
- ▶ Ex. : maximisation du débit et allocation de l'information sous contrainte de puissance (comm. ADSL, coût : complexité)
- ▶ Nouveauté : plus avec *beaucoup* moins !

# Un problème scientifique et économique



GreenTouch, Alcatel-Lucent, 2012

# Un problème scientifique et économique



GreenTouch, Alcatel-Lucent, 2012

# Une écoradio utopique





# Une écoradio utopique



# Une écoradio utopique



# Une écoradio utopique



IMPACT ENVIRONNEMENTAL NUL

# Une écoradio utopique

## Approche holistique de l'impact environnemental

- ▶ Conception
- ▶ Extraction, transport et transformation de la matière première, fabrication, commercialisation, mise en place
- ▶ Utilisation (fonctionnement, maintenance)
  - ▶ Support de l'information (OEM, signalisation, voie de retour, retransmission)
  - ▶ Traitement de l'information (composants émetteur, récepteur, transducteurs, têtes RF, traitement du signal)
  - ▶ Acheminement de l'information (routage, passerelles, relayage, protocoles d'échanges)
- ▶ Recyclage
- ▶ Choix des technologies
- ▶ Prise en compte des usages

# Une écoradio utopique

## Approche holistique de l'impact environnemental

- ▶ **Conception**
- ▶ Extraction, transport et transformation de la matière première, fabrication, commercialisation, mise en place
- ▶ Utilisation (fonctionnement, maintenance)
  - ▶ Support de l'information (OEM, signalisation, voie de retour, retransmission)
  - ▶ Traitement de l'information (composants émetteur, récepteur, transducteurs, têtes RF, traitement du signal)
  - ▶ Acheminement de l'information (routage, passerelles, relayage, protocoles d'échanges)
- ▶ Recyclage
- ▶ Choix des technologies
- ▶ Prise en compte des usages

# Une écoradio utopique

## Approche holistique de l'impact environnemental

- ▶ Conception
- ▶ Extraction, transport et transformation de la matière première, fabrication, commercialisation, mise en place
- ▶ Utilisation (fonctionnement, maintenance)
  - ▶ Support de l'information (OEM, signalisation, voie de retour, retransmission)
  - ▶ Traitement de l'information (composants émetteur, récepteur, transducteurs, têtes RF, traitement du signal)
  - ▶ Acheminement de l'information (routage, passerelles, relayage, protocoles d'échanges)
- ▶ Recyclage
- ▶ Choix des technologies
- ▶ Prise en compte des usages

# Une écoradio utopique

## Approche holistique de l'impact environnemental

- ▶ Conception
- ▶ Extraction, transport et transformation de la matière première, fabrication, commercialisation, mise en place
- ▶ Utilisation (fonctionnement, maintenance)
  - ▶ Support de l'information (OEM, signalisation, voie de retour, retransmission)
  - ▶ Traitement de l'information (composants émetteur, récepteur, transducteurs, têtes RF, traitement du signal)
  - ▶ Acheminement de l'information (routage, passerelles, relayage, protocoles d'échanges)
- ▶ Recyclage
- ▶ Choix des technologies
- ▶ Prise en compte des usages

# Une écoradio utopique

## Approche holistique de l'impact environnemental

- ▶ Conception
- ▶ Extraction, transport et transformation de la matière première, fabrication, commercialisation, mise en place
- ▶ Utilisation (fonctionnement, maintenance)
  - ▶ Support de l'information (OEM, signalisation, voie de retour, retransmission)
  - ▶ Traitement de l'information (composants émetteur, récepteur, transducteurs, têtes RF, traitement du signal)
  - ▶ Acheminement de l'information (routage, passerelles, relayage, protocoles d'échanges)
- ▶ Recyclage
  
- ▶ Choix des technologies
- ▶ Prise en compte des usages



# Une écoradio utopique

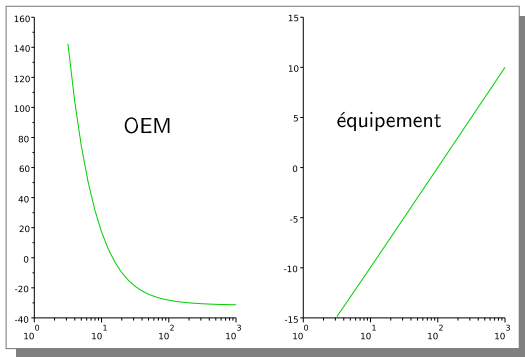
## Approche holistique de l'impact environnemental

- ▶ Conception
- ▶ Extraction, transport et transformation de la matière première, fabrication, commercialisation, mise en place
- ▶ Utilisation (fonctionnement, maintenance)
  - ▶ Support de l'information (OEM, signalisation, voie de retour, retransmission)
  - ▶ Traitement de l'information (composants émetteur, récepteur, transducteurs, têtes RF, traitement du signal)
  - ▶ Acheminement de l'information (routage, passerelles, relayage, protocoles d'échanges)
- ▶ Recyclage
  
- ▶ Choix des technologies
- ▶ Prise en compte des usages

# Une écoradio utopique

## Optimisation globale

- ▶ Énergie (dBJ) pour transmettre 1 Gbit dans 5 MHz en fonction du temps de transmission

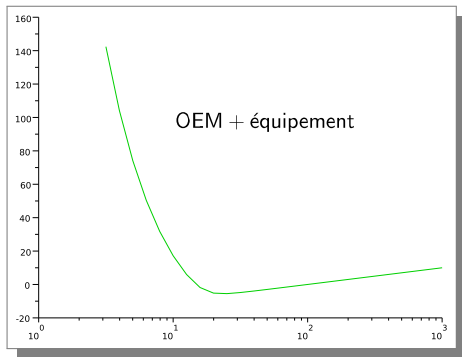


- ▶ Mise en équation de toutes les étapes (énergie grise) !

# Une écoradio utopique

## Optimisation globale

- ▶ Énergie (dBJ) pour transmettre 1 Gbit dans 5 MHz en fonction du temps de transmission

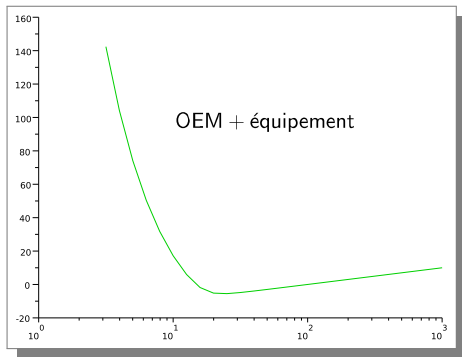


- ▶ Mise en équation de toutes les étapes (énergie grise) !

# Une écoradio utopique

## Optimisation globale

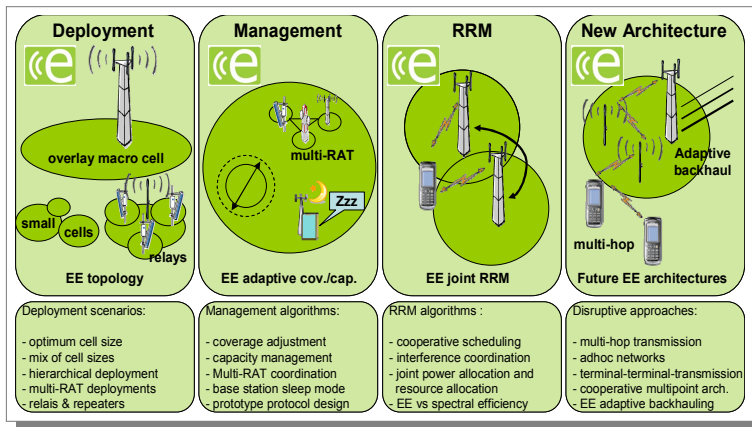
- ▶ Énergie (dBJ) pour transmettre 1 Gbit dans 5 MHz en fonction du temps de transmission



- ▶ Mise en équation de toutes les étapes (énergie grise) !

# Quelques résultats

- ▶ Source d'énergie renouvelable
- ▶ Mesure d'efficacité énergétique à tous les niveaux

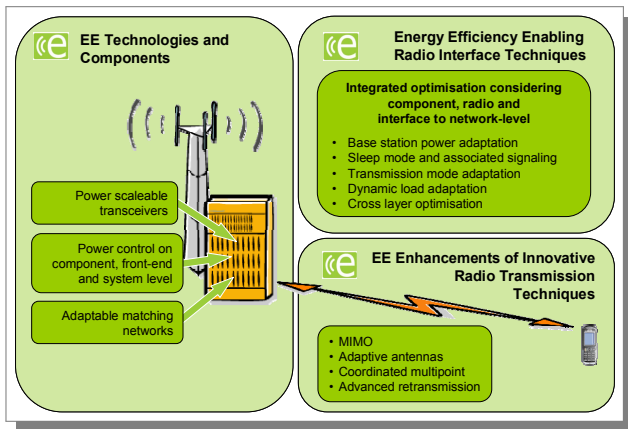


<https://www.ict-earth.eu/>

- ▶ *Vision global, holistique*

## Quelques résultats

- ▶ Source d'énergie renouvelable
- ▶ Mesure d'efficacité énergétique à tous les niveaux

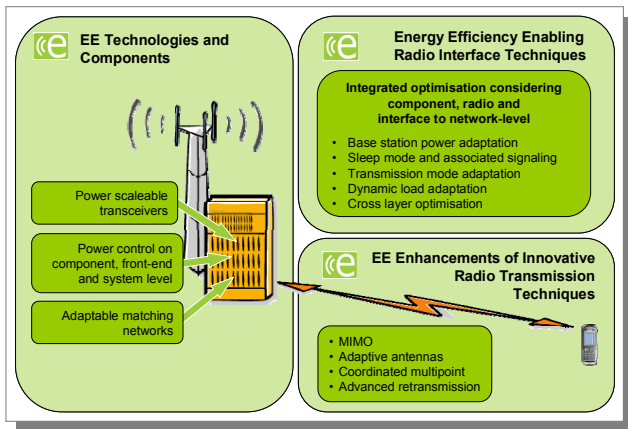


<https://www.ict-earth.eu/>

- ▶ *Vision global, holistique*

## Quelques résultats

- ▶ Source d'énergie renouvelable
- ▶ Mesure d'efficacité énergétique à tous les niveaux



<https://www.ict-earth.eu/>

- ▶ *Vision global, holistique*

# Une histoire de limite

- ▶ Shannon 1948<sup>2</sup>

$$R \leq B \log_2(1 + \text{SNR}), \quad \text{SNR} = \frac{P}{N_0 B} = \frac{E_b R}{N_0 B}$$

- ▶ Fonction d'efficacité (bénéfice sur coût)<sup>3</sup>

$$E(x) = \frac{f(x)}{g(x)}$$

- ▶ Efficacité spectrale

$$\text{ES} = \frac{f(B)}{B} = \frac{R}{B}$$

- ▶ Efficacité énergétique

$$\text{EE} = \frac{f(P)}{P} = \frac{R}{P} = \frac{1}{E_b}$$

---

2. *A Mathematical Theory of Communication*, The Bell System Technical Journal, vol. 27, 1948.

3. E. Belmega et al. *A survey on energy-efficient communications*, PIMRC, 2010



# Une histoire de limite

- ▶ Shannon 1948<sup>2</sup>

$$R \leq B \log_2(1 + \text{SNR}), \quad \text{SNR} = \frac{P}{N_0 B} = \frac{E_b R}{N_0 B}$$

- ▶ Fonction d'efficacité (bénéfice sur coût)<sup>3</sup>

$$E(x) = \frac{f(x)}{g(x)}$$

- ▶ Efficacité spectrale

$$\text{ES} = \frac{f(B)}{B} = \frac{R}{B}$$

- ▶ Efficacité énergétique

$$\text{EE} = \frac{f(P)}{P} = \frac{R}{P} = \frac{1}{E_b}$$

---

2. *A Mathematical Theory of Communication*, The Bell System Technical Journal, vol. 27, 1948.

3. E. Belmega et al. *A survey on energy-efficient communications*, PIMRC, 2010

# Une histoire de limite

- ▶ Shannon 1948<sup>2</sup>

$$R \leq B \log_2(1 + \text{SNR}), \quad \text{SNR} = \frac{P}{N_0 B} = \frac{E_b R}{N_0 B}$$

- ▶ Fonction d'efficacité (bénéfice sur coût)<sup>3</sup>

$$E(x) = \frac{f(x)}{g(x)}$$

- ▶ Efficacité spectrale

$$\text{ES} = \frac{f(B)}{B} = \frac{R}{B}$$

- ▶ Efficacité énergétique

$$\text{EE} = \frac{f(P)}{P} = \frac{R}{P} = \frac{1}{E_b}$$

---

2. *A Mathematical Theory of Communication*, The Bell System Technical Journal, vol. 27, 1948.

3. E. Belmega et al. *A survey on energy-efficient communications*, PIMRC, 2010

# Une histoire de limite

- ▶ Shannon 1948<sup>2</sup>

$$R \leq B \log_2(1 + \text{SNR}), \quad \text{SNR} = \frac{P}{N_0 B} = \frac{E_b R}{N_0 B}$$

- ▶ Fonction d'efficacité (bénéfice sur coût)<sup>3</sup>

$$E(x) = \frac{f(x)}{g(x)}$$

- ▶ Efficacité spectrale

$$\text{ES} = \frac{f(B)}{B} = \frac{R}{B}$$

- ▶ Efficacité énergétique

$$\text{EE} = \frac{f(P)}{P} = \frac{R}{P} = \frac{1}{E_b}$$

---

2. *A Mathematical Theory of Communication*, The Bell System Technical Journal, vol. 27, 1948.

3. E. Belmega et al. *A survey on energy-efficient communications*, PIMRC, 2010

# Une histoire de limite

- ▶ Shannon 1948<sup>2</sup>

$$R \leq B \log_2(1 + \text{SNR}), \quad \text{SNR} = \frac{P}{N_0 B} = \frac{E_b R}{N_0 B}$$

- ▶ Fonction d'efficacité (bénéfice sur coût)<sup>3</sup>

$$E(x) = \frac{f(x)}{g(x)}$$

- ▶ Efficacité spectrale

$$\text{ES} = \frac{f(B)}{B} = \frac{R}{B}$$

- ▶ Efficacité énergétique

$$\text{EE} = \frac{f(P)}{P} = \frac{R}{P} = \frac{1}{E_b}$$

---

2. *A Mathematical Theory of Communication*, The Bell System Technical Journal, vol. 27, 1948.

3. E. Belmega et al. *A survey on energy-efficient communications*, PIMRC, 2010

# Une histoire de limite

- ▶ Shannon 1948<sup>2</sup>

$$R \leq B \log_2(1 + \text{SNR}), \quad \text{SNR} = \frac{P}{N_0 B} = \frac{E_b R}{N_0 B}$$

- ▶ Fonction d'efficacité (bénéfice sur coût)<sup>3</sup>

$$E(x) = \frac{f(x)}{g(x)}$$

- ▶ Efficacité spectrale

$$\text{ES} = \frac{f(B)}{B} = \frac{R}{B}$$

- ▶ Efficacité énergétique

$$\text{EE} = \frac{f(P)}{P} = \frac{R}{P} = \frac{1}{E_b}$$

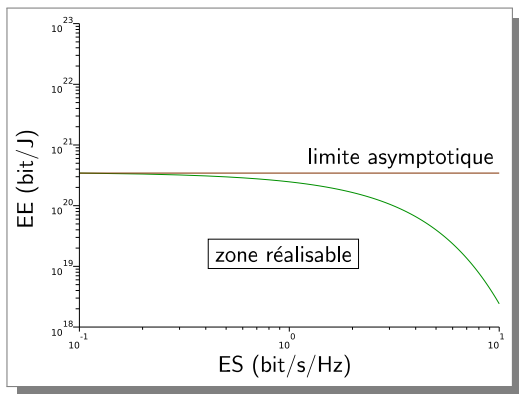
---

2. *A Mathematical Theory of Communication*, The Bell System Technical Journal, vol. 27, 1948.

3. E. Belmega et al. *A survey on energy-efficient communications*, PIMRC, 2010

# Une histoire de limite

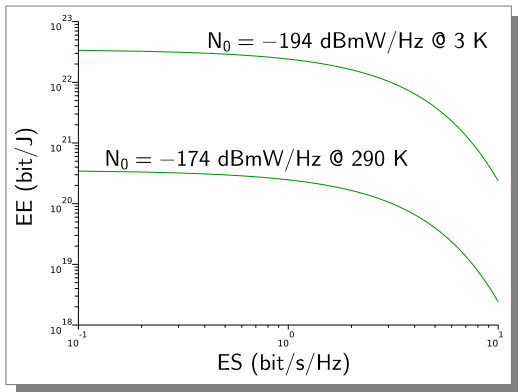
- ▶ Efficacités énergétique et spectrale



- ▶ Limite de  $N_0$  ?
  - ▶ Bruit interne : bruit électronique → bruit quantique ?
- ▶ Limite des puissances émise-reçue, utile-consommée

# Une histoire de limite

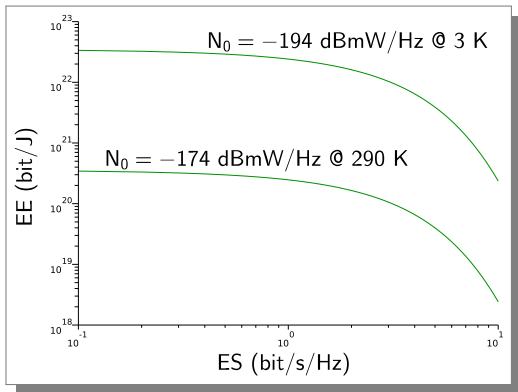
- ▶ Efficacités énergétique et spectrale



- ▶ Limite de  $N_0$  ?
  - ▶ Bruit interne : bruit électronique → bruit quantique ?
- ▶ Limite des puissances émise-reçue, utile-consommée

# Une histoire de limite

- ▶ Efficacités énergétique et spectrale

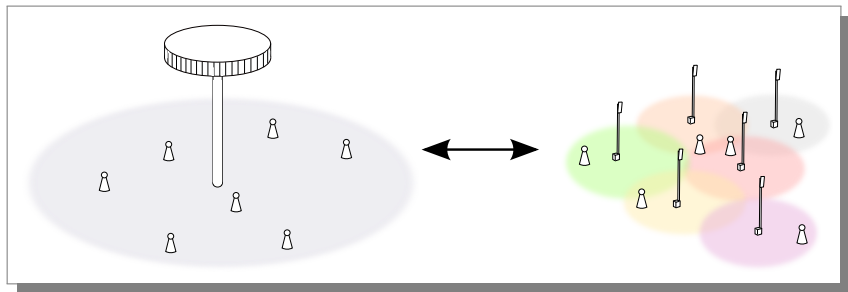


- ▶ Limite de  $N_0$  ?
  - ▶ Bruit interne : bruit électronique  $\rightarrow$  bruit quantique ?
- ▶ Limite des puissances émise-reçue, utile-consommée



# Système à grand nombre d'antennes

- ▶ Augmenter le rapport  $\frac{\text{puissance reçue}}{\text{puissance transmise}}$
- ▶ Antennes colocalisées ou distribuées

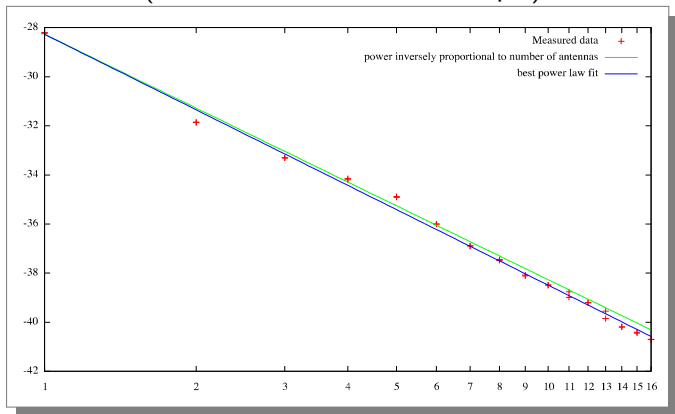


M. Debbah, *Green Networks: Small Cells or Massive MIMO*, GDR-ISIS 2012

# Système à grand nombre d'antennes

- ▶ Antennes colocalisées

Puissance transmise en fonction du nombre d'antennes  
(mesure en chambre anéchoïque)

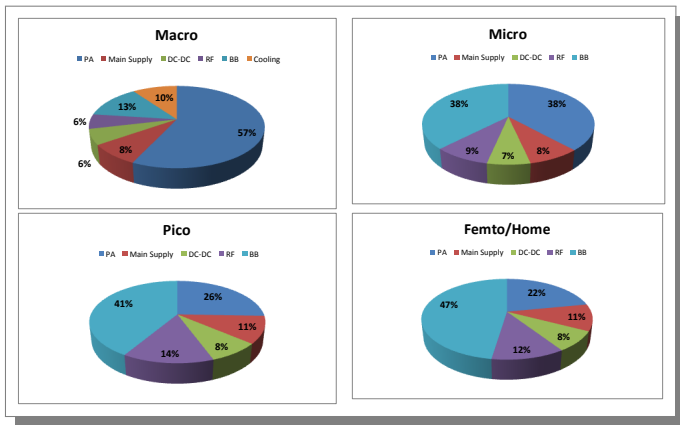


GreenTouch, Alcatel-Lucent, 2012

# Système à grand nombre d'antennes

## ▶ Antennes distribuées

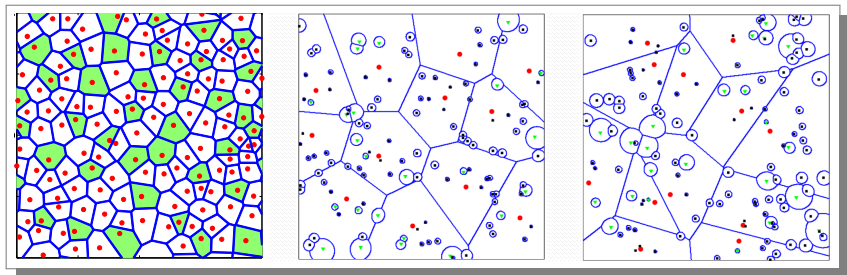
▶ 1500 W → 150 W → 15 W → 10 W



Livrable D2.3 projet EARTH

# Système à grand nombre d'antennes

- Réseau hétérogène

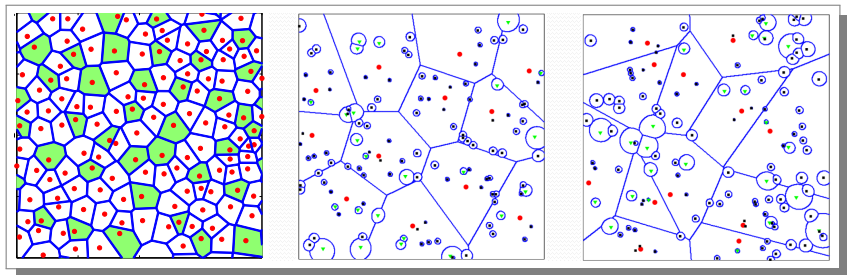


M. Kountouris, *Analysis and design of energy-efficient heterogeneous networks using stochastic geometry*, GDR-ISI, 2011

- Exploiter le mode veille des stations de base

# Système à grand nombre d'antennes

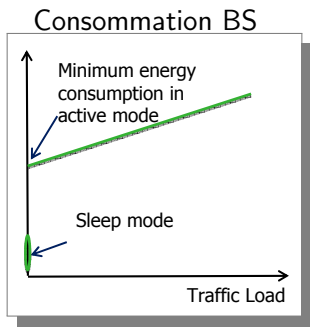
- Réseau hétérogène



M. Kountouris, *Analysis and design of energy-efficient heterogeneous networks using stochastic geometry*, GDR-ISI, 2011

- Exploiter le mode veille des stations de base

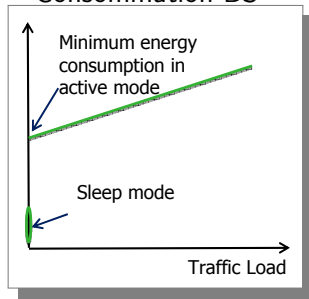
# Système à grand nombre d'antennes



GreenTouch, Alcatel-Lucent, 2012

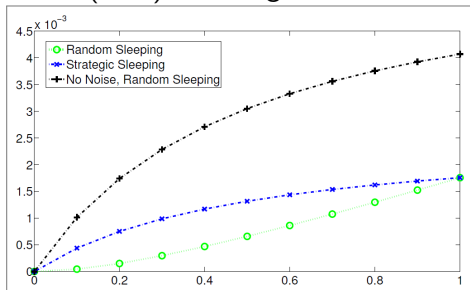
# Système à grand nombre d'antennes

## Consommation BS



GreenTouch, Alcatel-Lucent, 2012

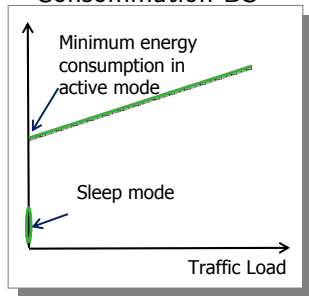
## EE ( $W^{-1}$ ) vs. charge du réseau



M. Kountouris, *op. cit.*

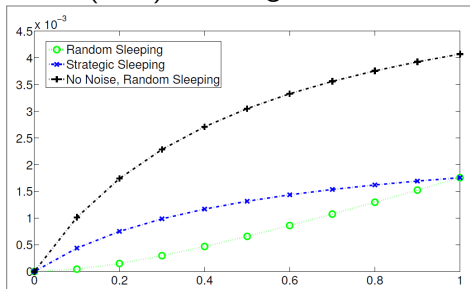
# Système à grand nombre d'antennes

## Consommation BS



GreenTouch, Alcatel-Lucent, 2012

## EE ( $W^{-1}$ ) vs. charge du réseau



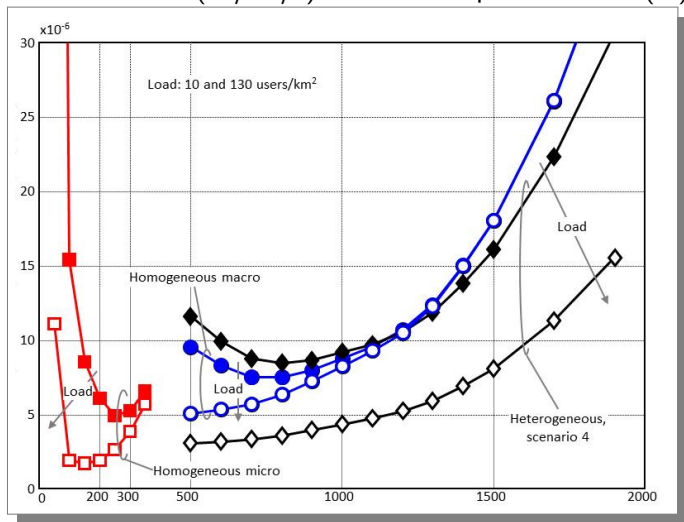
M. Kountouris, *op. cit.*

- ▶ Séparer
  - ▶ Données/signalisation
  - ▶ Couverture/capacité du réseau
- ▶ Optimiser la transmission des signaux de signalisation
- ▶ Améliorer la réactivité des réseaux



# Système à grand nombre d'antennes

Consommation (W/bit/s) vs. distance point d'accès (m)

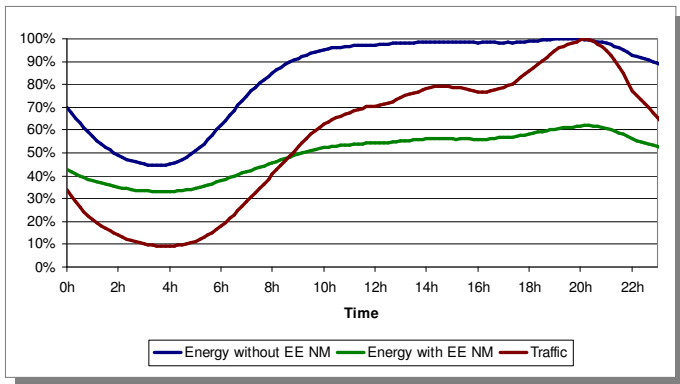


Livable D3.1 projet EARTH

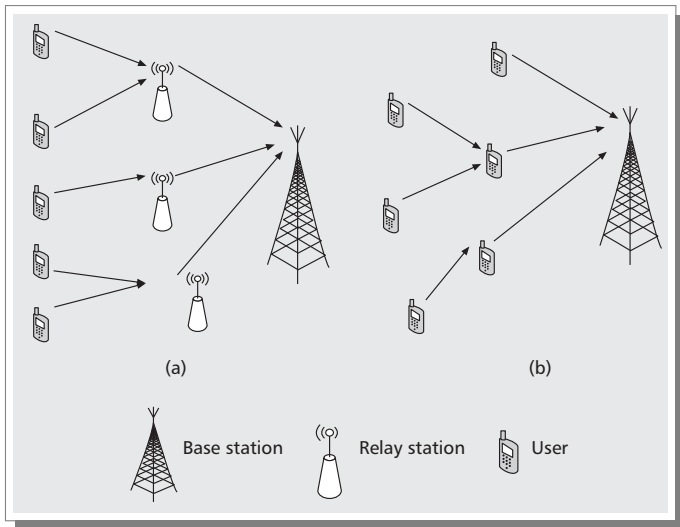
# Réseau adaptatif

## ▸ Adaptation au trafic

- Partie radio en mode veille lorsque le trafic est nul
- Ajustement de la bande de fréquence
- Point de fonctionnement de l'AP adaptatif
- Taille des cellules adaptative

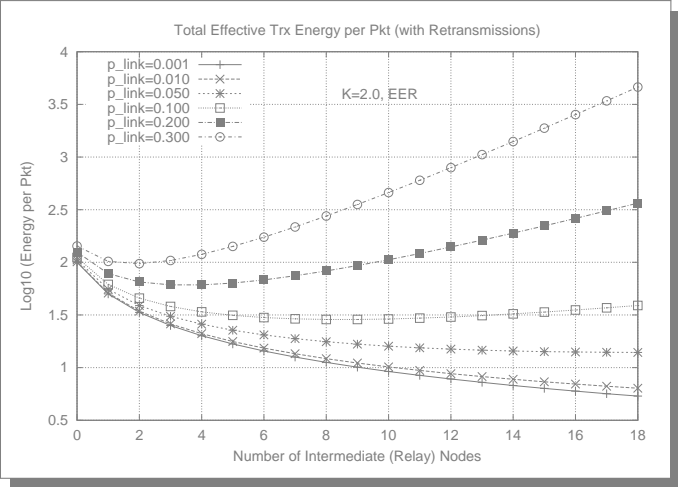


# Relais



G.Y. LI et al., *Energy-efficient wireless communications: Tutorial, survey and open issues*, IEEE WC, déc. 2011

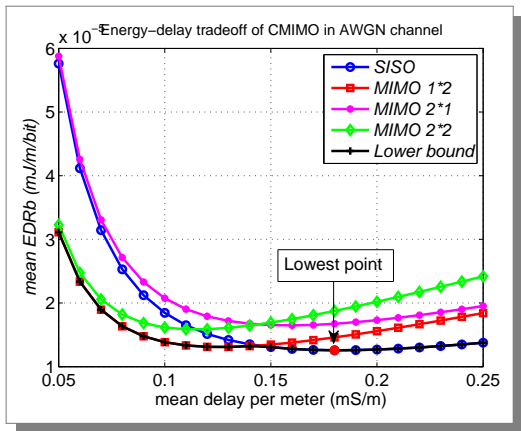
# Relais



S. Banerjee, A. Misra, *Minimum energy paths for reliable communication in multi-hop wireless networks*, MobiHoc'02

# Relais

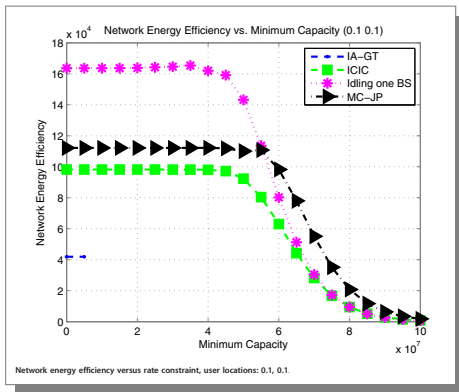
- ▶ Coopération dans les réseaux de capteurs
- ▶ Compromis temps-efficacité énergétique



R. Zhang, *Analysis of energy-delay performance in multi-hop wireless sensor networks*, rapport de thèse, 2009

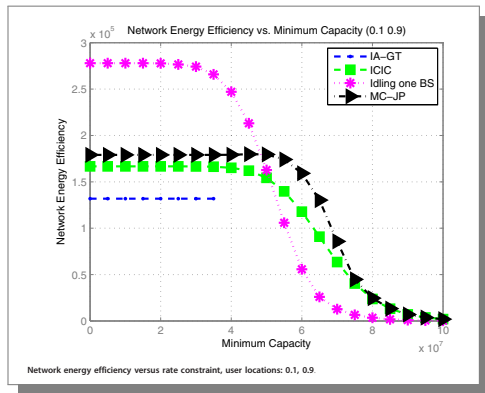
# Coopération

- ▶ Gestion des interférences entre cellules
  - ▶ Théorie des jeux
  - ▶ Annulation d'interférence
  - ▶ Traitement multicellulaire
- ▶ Veille coopérative



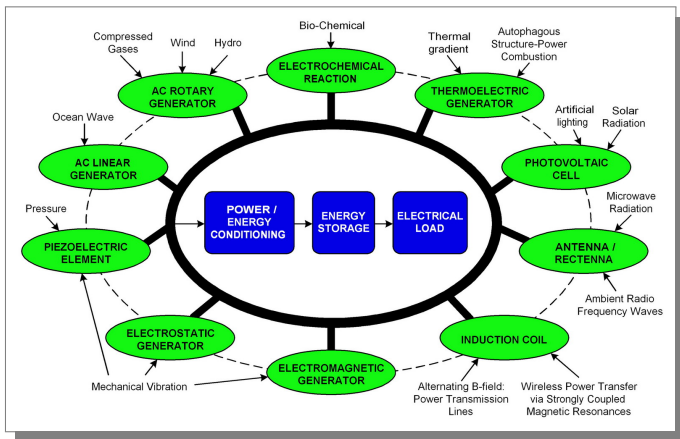
# Coopération

- ▶ Gestion des interférences entre cellules
  - ▶ Théorie des jeux
  - ▶ Annulation d'interférence
  - ▶ Traitement multicellulaire
- ▶ Veille coopérative



# Récupération d'énergie

- ▶ Énergie thermique (corps humain), mécanique (mouvement), lumineuse. . .
- ▶ Réseau de capteurs

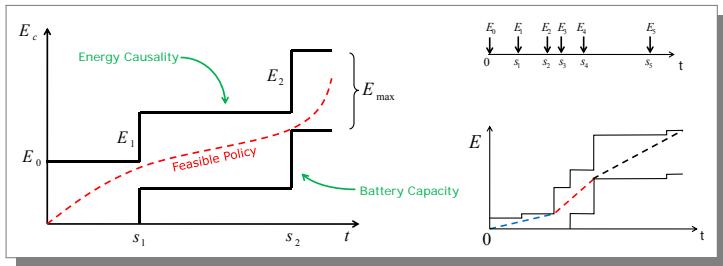


Y.K. Tan et S.K. Panda, *Review of Energy Harvesting Technologies for Sustainable Wireless Sensor Network*, Chap.2, *Wireless sensor network*, Intechbook, 2010



# Récupération d'énergie

- ▶ Prédiction et gestion

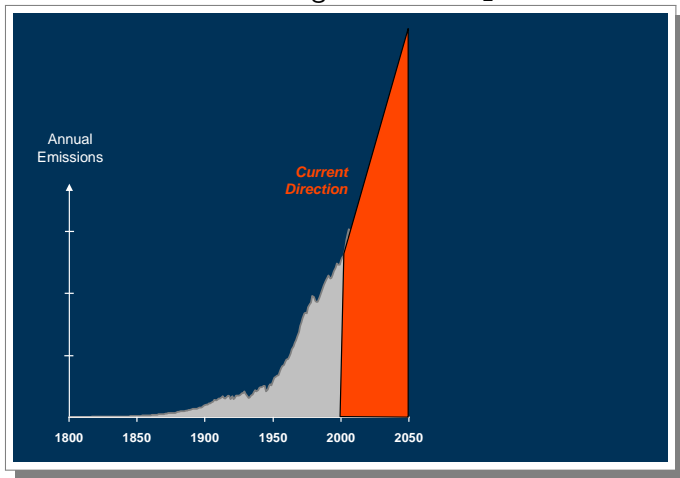


A. Yener, *Green wireless networking with energy harvesting nodes*, GDR-ISIS, 2012

- ▶ Arrivée d'énergie  $E_i$  au temps  $s_i$ 
  - ▶ Principe de causalité
  - ▶ Énergie limité par la capacité de la batterie  $E_{\max}$

# Conclusion

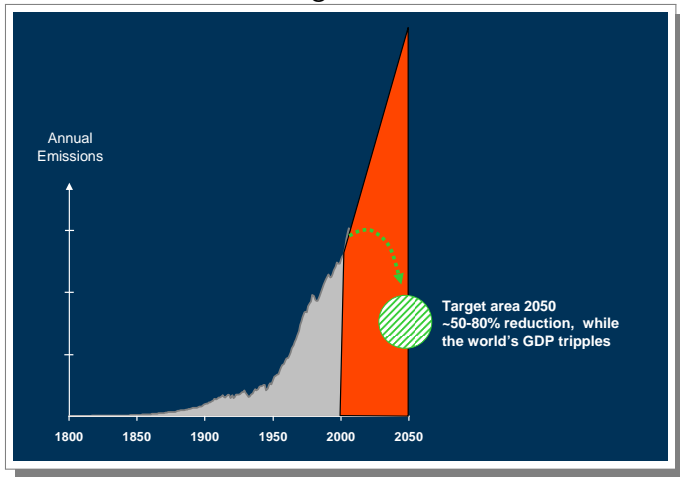
## Émission globale de CO<sub>2</sub>



Ericsson, WWRP 2008

# Conclusion

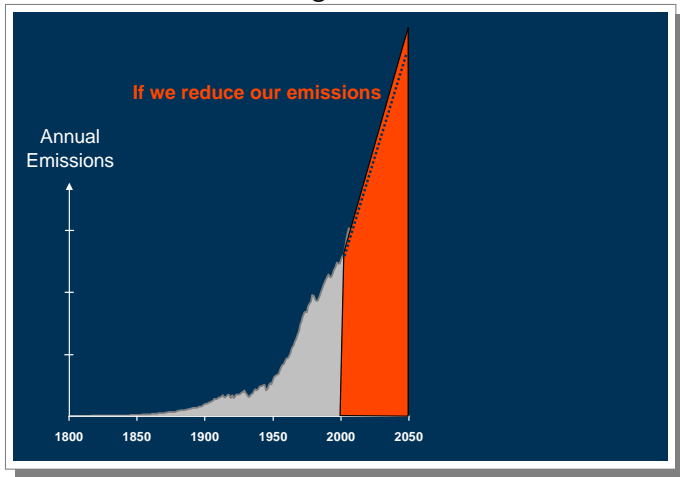
## Émission globale de CO<sub>2</sub>



Ericsson, WWRP 2008

# Conclusion *Green IT*

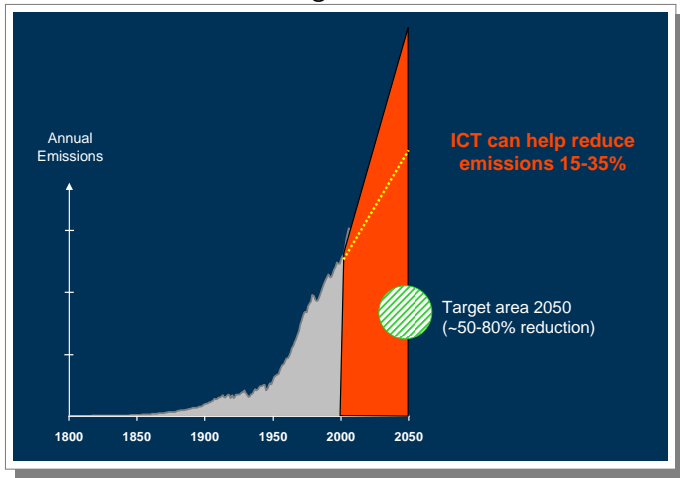
## Émission globale de CO<sub>2</sub>



Ericsson, WWRF 2008

# Conclusion *IT for Green*

## Émission globale de CO<sub>2</sub>



Ericsson, WWRF 2008

# ANNEXES

# Organisations

- ▶ Intergouvernementales
  - ▶ **ITU**, *Telecommunication Standardization Advisory Group 5, Joint Coordination Activity*, aspect environnemental des phénomènes électromagnétiques et changement climatique
    - ▶ **ITU-T L.1410, ITU-T L.1420** : méthodes pour évaluer l'impact environnemental des biens, services et organisations des TIC
  - ▶ **ETSI**, Comité technique EE (*environmental engineering*)
    - ▶ EN 300 019, EN 300 132, EN 300 119, EN 300 253 : tests, alimentation, fonctionnement des équipements et des centres de télécommunication
    - ▶ **ETSI TS 103 199** : spécification pour l'évaluation du cycle de vie des équipements, réseaux et services
  - ▶ **GHG Protocol**, empreinte carbone des organisations, des projets et des produits
  - ▶ **IEC, CENELEC**...
- ▶ Consortiums, alliances, forums
  - ▶ **ATIS**, comité STEP *Sustainability in Telecom: Energy and Protection*, efficacité énergétique équipements
    - ▶ ATIS-0600015.06.2011
  - ▶ **GeSI, WWRF, Mobile VCE, GreenTouch**

# Projets

- ▶ Européen (FP7-ICT, CELTIC)
  - ▶ **TREND**, *towards real energy-efficient network design*
  - ▶ **EARTH**, *energy aware radio and network technologies*
  - ▶ **C2POWER**, *cognitive radio and cooperative strategies for power saving in multi-standard wireless devices*
  - ▶ **ECONET**, *low energy consumption networks*
  - ▶ **SACRA**, *spectrum and energy efficiency through multi-band cognitive radio*
  - ▶ **GREEN-T**, *green terminals for next generation wireless systems*
  - ▶ **SPECTRA**, *spectrum and energy efficiency through multi-band cognitive radio*
  - ▶ **OPERA-Net2**, *optimising power efficiency in mobile radio networks 2*
- ▶ Nationaux (ANR)
  - ▶ EcoSCells, *efficient cooperating small cells*
  - ▶ **GRECO**, *green wireless communicating objects*
  - ▶ TRIMARAN, *communications MIMO OFDM vertes à base d'antennes micro-structurées et de retournement temporel*