



HAL
open science

Compromis efficacités énergétique et spectrale dans un réseau cellulaire de grande taille. De la consommation, des matrices aléatoires et de la géométrie stochastique.

Jean-Yves Baudais

► **To cite this version:**

Jean-Yves Baudais. Compromis efficacités énergétique et spectrale dans un réseau cellulaire de grande taille. De la consommation, des matrices aléatoires et de la géométrie stochastique.. 2018. hal-03562992

HAL Id: hal-03562992

<https://hal.science/hal-03562992>

Submitted on 9 Feb 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Compromis efficacités énergétique et spectrale dans un réseau cellulaire de grande taille

De la consommation, des matrices aléatoires et de la géométrie
stochastique

J.-Y. Baudais

IETR, COMM, SYSCOM

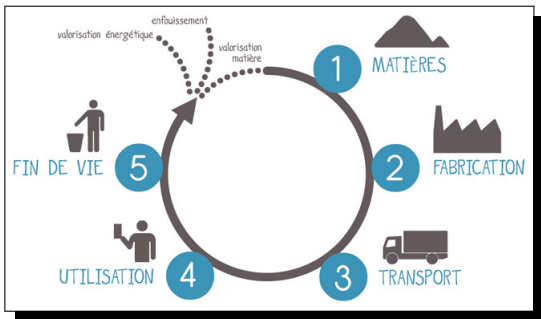
E3S'18 Fall

CentraleSupélec, Rennes, 22 novembre 2018

► Analyse du cycle de vie

1. extraction
2. fabrication
3. distribution
4. utilisation
5. recyclage

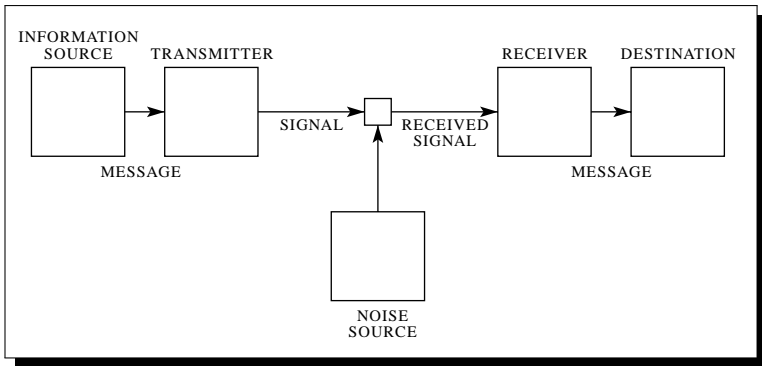
► *conception*



In 3&CO, « Analyse du cycle de vie », 3etco.com/

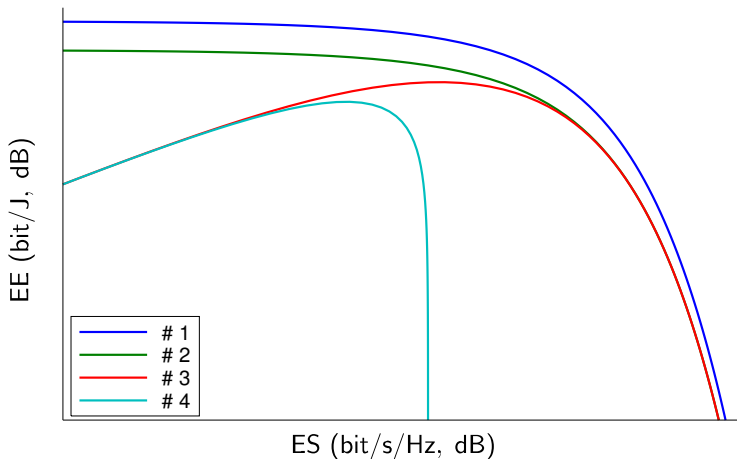
- Énergie grise
- Démarche holistique : partir de la fonction d'usage, du besoin

ISO 14040, *Environmental management, life cycle assessment, principles and framework*. Technical Comity ISO/TC 207, 2 éd., juillet 2006



In C. Shannon, « A mathematical theory of communication », The Bell System Technical Journal, vol. 27, p. 379–423, 623–656, juillet 1948

canal bruité



- ▶ Shannon-von Neumann-Landauer (traitement)

$$\varepsilon_{\text{BB}} = kT \ln 2 = 2,8 \cdot 10^{-21} \text{ J/bit}$$

opération irréversible

- ▶ Shannon-Hartley (transmission)

$$\varepsilon_{\text{RF}} = kT \ln 2$$

transmission sans perte

- ▶ Limite de la limite

$$\lim_{T \rightarrow 0} \varepsilon \stackrel{?}{=} 0$$

I. Markov, « Limits on fundamental limits to computation », *Nature*, vol. 512, p. 147–154, août 2014

L. Gammaitoni, « Computing with uncertainty can help lowering the minimum energy required? », *Nanoenergy Letters*, p. 10–11, février 2013

► Consommation

$$\begin{aligned}
 P &= P_{BB} + P_{RF} \\
 &= \eta_{BB}^{-1} R \varepsilon_{BB} + \eta_{RF}^{-1} R \varepsilon_{RF}
 \end{aligned}$$

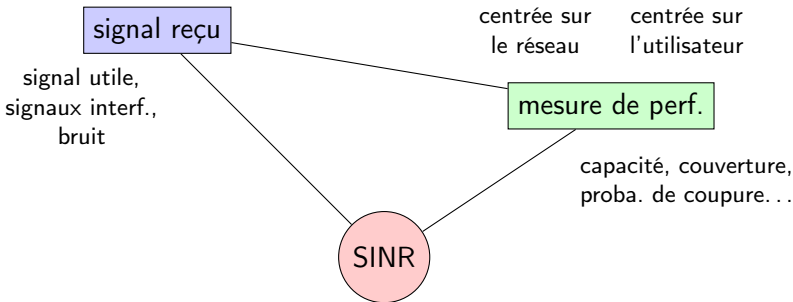
► Aujourd'hui

- ▶ 0,25 pJ/bit $\eta \propto 10^{-8}$
- ▶ Shoubu (RIKEN, Japon) 7 GFLOPS/W $\eta_{BB} \propto 10^{-9}$
- ▶ Macro-femtocell (EARTH, GreenTouch)... $\eta_{RF} \propto 10^{-17} \sim 10^{-13}$
- ▶ Canal CPL (Zimmermann, 140 μ J/Mbit)... $\eta_{RF} \propto 10^{-11}$

X. Yu, H. Rashtian, S. Mirabbasi, P. Pande et D. Heo, « An 18.7 Gb/s 60 GHz OOK demodulator in 65-nm CMOS for wireless network-on-chip », *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 62, p. 799–806, mars 2015

D. Zeller (coordinator) et M. Olsson (technical manager), « Energy aware radio and network technologies », FP7-ICT integrated project, European union, 2012

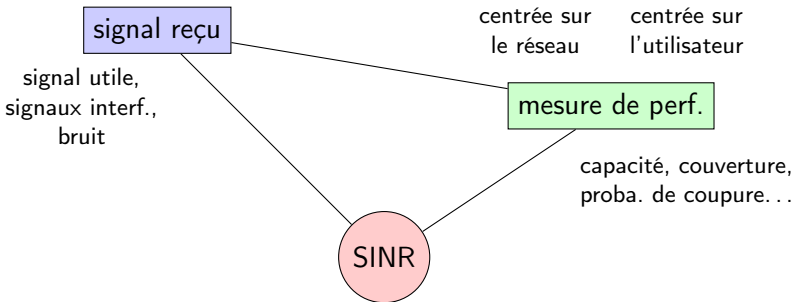
► Caractéristique des réseaux



► Paramètres

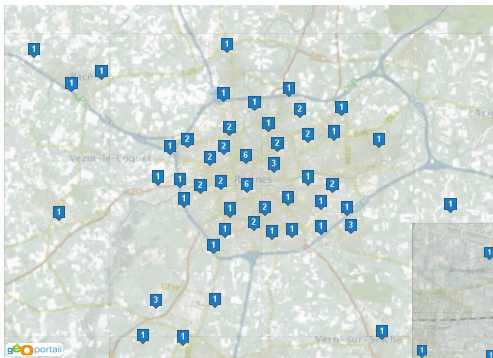
- Position BS, MS
- Canal de transmission (perte de propagation, masquage, évanouissement, filtre RF)
- Émetteur, récepteur

► Caractéristique des réseaux

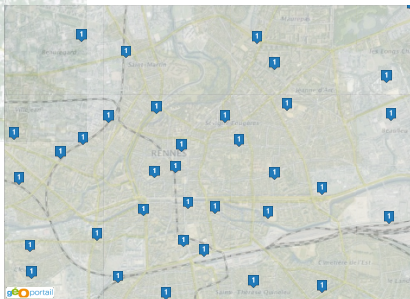


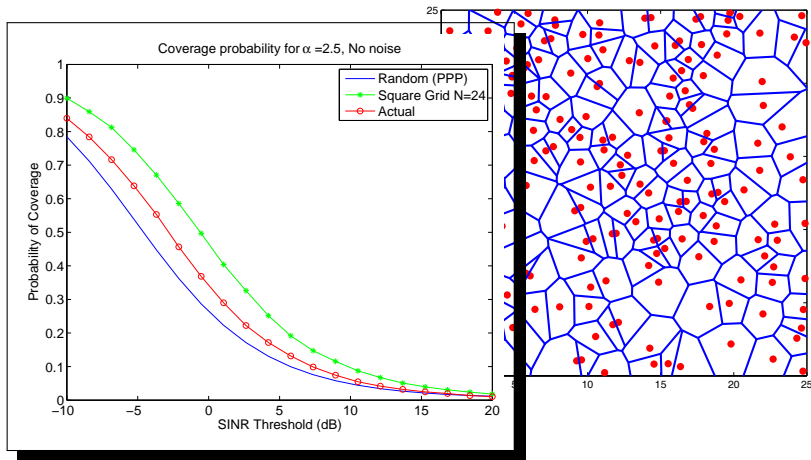
► Paramètres

- Position BS, MS
- Canal de transmission (perte de propagation, masquage, évanouissement, filtre RF)
- Émetteur, récepteur



<https://www.cartoradio.fr/>





In J. Andrews, F. Baccelli et R. Ganti, « A tractable approach to coverage and rate in cellular networks », *IEEE Transactions on Communications*, vol. 59, p. 3122–3134, novembre 2011

- ▶ Réseau cellulaire de grande taille
- ▶ Liaison descendante
- ▶ Distributions PPP indépendantes BS et MS, densités λ_b et λ_u
 - ▶ K MS
- ▶ BS à M antennes, MS à 1 antenne
 - ▶ précodage $\mathbf{w} \in \mathbb{C}^{M \times u}$, $u (\leq M)$ MS par canal d'accès par cellule
 - ▶ λ_{au} , distribution p_u des MS par BS
- ▶ Modèle de consommation BS

$$\frac{1}{\eta} P_t + MP_C + P_0 \text{ (linéaire)}, \quad \frac{P_t}{u} \text{ (uniforme)}$$

- ▶ Canal de transmission : exposant d'atténuation α , coefficients Rayleigh $\mathbf{h} \sim \mathcal{CN}(0, \mathbf{I}_M)$, bruit σ^2
- ▶ CSI, synchro parfaites
- ▶ Paquets de grande taille, signaux de com. gaussiens

- ▶ Réseau cellulaire de grande taille
- ▶ Liaison descendante
- ▶ Distributions PPP indépendantes BS et MS, densités λ_b et λ_u
 - ▶ K MS
- ▶ BS à M antennes, MS à 1 antenne
 - ▶ précodage $\mathbf{w} \in \mathbb{C}^{M \times u}$, $u (\leq M)$ MS par canal d'accès par cellule
 - ▶ λ_{au} , distribution p_u des MS par BS
- ▶ Modèle de consommation BS

$$\frac{1}{\eta} P_t + MP_C + P_0 \text{ (linéaire)}, \quad \frac{P_t}{u} \text{ (uniforme)}$$

- ▶ Canal de transmission : exposant d'atténuation α , coefficients Rayleigh $\mathbf{h} \sim \mathcal{CN}(0, \mathbf{I}_M)$, bruit σ^2
- ▶ CSI, synchro parfaites
- ▶ Paquets de grande taille, signaux de com. gaussiens

- ▶ Signal MS k , BS 0 à u_0 MS

$$y_k = \underbrace{\sqrt{\frac{P_t r_{0k}^{-\alpha}}{u_0}} \mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k} x_{0k}}_{\text{signal utile}} + \underbrace{\sum_{i \neq 0 \wedge j \neq k} \sqrt{\frac{P_t r_{ik}^{-\alpha}}{u_i}} \mathbf{h}_{ik}^H \mathbf{w}_{ij} x_{ij}}_{\text{interférences}} + \underbrace{n_k}_{\text{bruit}}$$

- ▶ SINR typique MS k

$$\gamma(u_0) = \frac{\frac{P_t r_{0k}^{-\alpha}}{u_0} |\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}|^2}{\underbrace{\sum_{j \neq k} \frac{P_t r_{0k}^{-\alpha}}{u_0} |\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0j}|^2}_{\text{interférence intra-cellule}} + \underbrace{\sum_{\substack{i \neq 0 \\ j' \neq j, k}} \frac{P_t r_{ik}^{-\alpha}}{u_i} |\mathbf{h}_{ik}^H \mathbf{w}_{ij'}|^2}_{\text{interférence extra-cellule}} + \sigma^2}$$

- ▶ Optimal $\arg \max_{\mathbf{w}_{0k}} \gamma(u_0)$ complexité
- ▶ Optimal linéaire : MMSE complexité
- ▶ Sous-optimal : SLNR + contrainte puissance moyenne

$$\theta(k) = \frac{\frac{P_t}{u_0} r_{0k}^{-\alpha} \mathbf{w}_{0k}^H \mathbf{h}_{0k} \mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}}{\underbrace{\sum_{j \neq k} \frac{P_t}{u_0} r_{0j}^{-\alpha} \mathbf{w}_{0j}^H \mathbf{h}_{0j} \mathbf{h}_{0j}^H \mathbf{w}_{0j}}_{\text{fuite}} + \underbrace{\sigma^2}_{\text{bruit}}}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\mathbf{H}}_k = [\mathbf{h}_{01}, \dots, \mathbf{h}_{0(k-1)}, \mathbf{h}_{0(k+1)}, \dots, \mathbf{h}_{0K}] \\ \bar{\mathbf{D}}_k = \text{diag}(r_{01}^{-\alpha}, \dots, r_{0(k-1)}^{-\alpha}, r_{0(k+1)}^{-\alpha}, \dots, r_{0K}^{-\alpha}) \\ \mathbf{w}_{0k}^* = \arg \max_{\mathbf{w}_{0k}} \theta(k) = \frac{(\bar{\mathbf{H}}_k \bar{\mathbf{D}}_k \bar{\mathbf{H}}_k^H + \frac{\sigma^2 u_0}{P_t} \mathbf{I}_M)^{-1} \mathbf{h}_{0k}}{\sqrt{E \left[\left\| (\bar{\mathbf{H}}_k \bar{\mathbf{D}}_k \bar{\mathbf{H}}_k^H + \frac{\sigma^2 u_0}{P_t} \mathbf{I}_M)^{-1} \mathbf{h}_{0k} \right\|_2^2 \right]}} \end{array} \right.$$

- ▶ Optimal $\arg \max_{\mathbf{w}_{0k}} \gamma(u_0)$ complexité
- ▶ Optimal linéaire : MMSE complexité
- ▶ Sous-optimal : SLNR + contrainte puissance moyenne

$$\theta(k) = \frac{\frac{P_t}{u_0} r_{0k}^{-\alpha} \mathbf{w}_{0k}^H \mathbf{h}_{0k} \mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}}{\underbrace{\frac{P_t}{u_0} \mathbf{w}_{0k}^H \bar{\mathbf{H}}_k \bar{\mathbf{D}}_k \bar{\mathbf{H}}_k \mathbf{w}_{0k}}_{\text{fuite}} + \underbrace{\sigma^2}_{\text{bruit}}}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\mathbf{H}}_k = [\mathbf{h}_{01}, \dots, \mathbf{h}_{0(k-1)}, \mathbf{h}_{0(k+1)}, \dots, \mathbf{h}_{0K}] \\ \bar{\mathbf{D}}_k = \text{diag}(r_{01}^{-\alpha}, \dots, r_{0(k-1)}^{-\alpha}, r_{0(k+1)}^{-\alpha}, \dots, r_{0K}^{-\alpha}) \\ \mathbf{w}_{0k}^* = \arg \max_{\mathbf{w}_{0k}} \theta(k) = \frac{(\bar{\mathbf{H}}_k \bar{\mathbf{D}}_k \bar{\mathbf{H}}_k^H + \frac{\sigma^2 u_0}{P_t} \mathbf{I}_M)^{-1} \mathbf{h}_{0k}}{\sqrt{E \left[\left\| (\bar{\mathbf{H}}_k \bar{\mathbf{D}}_k \bar{\mathbf{H}}_k^H + \frac{\sigma^2 u_0}{P_t} \mathbf{I}_M)^{-1} \mathbf{h}_{0k} \right\|_2^2 \right]}} \end{array} \right.$$

- ▶ Efficacité spectrale ergodique par unité de surface (BS)

$$ASE = \lambda_b SE = \lambda_b \sum_{u_0=1}^M u_0 \times E_{\gamma} \left[\log_2 \left(1 + \gamma(u_0) \right) \right] \times p_u(u_0)$$

- ▶ Efficacité énergétique (BS)

$$EE = \frac{SE}{p_u(0)P_0 + (1 - p_u(0))\left(\frac{1}{\eta}P_t + MP_C + P_0\right)}$$

- ▶ Approximation

$$E_{\gamma} \left[\log_2 \left(1 + \gamma(u_0) \right) \right] \leq E_{r_{0k}} \left[\log_2 \left(1 + E_{\mathbf{h}, r_{ik}} [\gamma(u_0) | r_{0k}] \right) \right]$$

$$E[\gamma] \approx \frac{E[N]}{E[D]}$$

$$\lim_{K, M \rightarrow \infty} \frac{K}{M} = c^{\text{te}} : \text{ régime asymptotique}$$

- ▶ Efficacité spectrale ergodique par unité de surface (BS)

$$ASE = \lambda_b SE = \lambda_b \sum_{u_0=1}^M u_0 \times E_{\gamma} \left[\log_2 \left(1 + \gamma(u_0) \right) \right] \times p_u(u_0)$$

- ▶ Efficacité énergétique (BS)

$$EE = \frac{SE}{p_u(0)P_0 + (1 - p_u(0))\left(\frac{1}{\eta}P_t + MP_C + P_0\right)}$$

- ▶ Approximation

$$E_{\gamma} \left[\log_2 \left(1 + \gamma(u_0) \right) \right] \leq E_{r_{0k}} \left[\log_2 \left(1 + E_{h,r_{ik}} [\gamma(u_0) | r_{0k}] \right) \right]$$

$$E[\gamma] \approx \frac{E[N]}{E[D]}$$

$$\lim_{K, M \rightarrow \infty} \frac{K}{M} = c^{\text{te}} : \text{ régime asymptotique}$$

1. $E[\gamma(u_0)|r_{0k}]$
 - 1.1. $\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}$
 - 1.1.1. Numérateur
 - 1.1.1.1. Moyenne

$$E[\gamma(u_0)|r_{0k}] \approx \frac{\frac{P_t r_{0k}^{-\alpha}}{u_0} E \left[|\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}|^2 \right]}{P_t r_{0k}^{-\alpha} \frac{u_0 - 1}{u_0} E \left[|\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0j}|^2 \right] + E \left[\sum_{\substack{i \neq 0 \\ j' \neq j, k}} \frac{P_t r_{ik}^{-\alpha}}{u_i} |\mathbf{h}_{ik}^H \mathbf{w}_{ij'}|^2 \right] + \sigma^2}$$

A. Alam, P. Mary, J.-Y. Baudais et X. Lagrange, « Asymptotic analysis of area spectral efficiency and energy efficiency in PPP networks with SLNR precoder », *IEEE Transactions on Communications*, vol. 65, p. 3172–3185, juillet 2017

1. $E[\gamma(u_0)|r_{0k}]$
 - 1.1. $\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}$
 - 1.1.1. Numérateur
 - 1.1.1.1. Moyenne

$$E[\gamma(u_0)|r_{0k}] \approx \frac{\frac{P_t r_{0k}^{-\alpha}}{u_0} E \left[|\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}|^2 \right]}{P_t r_{0k}^{-\alpha} \frac{u_0 - 1}{u_0} E \left[|\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0j}|^2 \right] + E \left[\sum_{\substack{i \neq 0 \\ j' \neq j, k}} \frac{P_t r_{ik}^{-\alpha}}{u_i} |\mathbf{h}_{ik}^H \mathbf{w}_{ij'}|^2 \right] + \sigma^2}$$

A. Alam, P. Mary, J.-Y. Baudais et X. Lagrange, « Asymptotic analysis of area spectral efficiency and energy efficiency in PPP networks with SLNR precoder », *IEEE Transactions on Communications*, vol. 65, p. 3172–3185, juillet 2017

1. $E[\gamma(u_0)|r_{0k}]$
 - 1.1. $\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}$
 - 1.1.1. Numérateur
 - 1.1.1.1. Moyenne

$$\left| \mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k} \right|^2 = \frac{\left| \mathbf{h}_{0k}^H \left(\bar{\mathbf{H}}_{0k} \bar{\mathbf{D}}_{0k} \mathbf{H}_{0k}^H + \frac{u_0 \sigma^2}{P_t} \mathbf{I}_M \right)^{-1} \mathbf{h}_{0k} \right|^2}{E \left[\left\| \left(\bar{\mathbf{H}}_{0k} \bar{\mathbf{D}}_{0k} \mathbf{H}_{0k}^H + \frac{u_0 \sigma^2}{P_t} \mathbf{I}_M \right)^{-1} \mathbf{h}_{0k} \right\|_2^2 \right]}$$

A. Alam, P. Mary, J.-Y. Baudais et X. Lagrange, « Asymptotic analysis of area spectral efficiency and energy efficiency in PPP networks with SLNR precoder », *IEEE Transactions on Communications*, vol. 65, p. 3172–3185, juillet 2017

1. $E[\gamma(u_0)|r_{0k}]$
 - 1.1. $\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}$: normalisation
 - 1.1.1. Numérateur
 - 1.1.1.1. Moyenne

$$\left| \mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k} \right|^2 = \frac{\left| \mathbf{h}_{0k}^H \left(\frac{1}{M} \bar{\mathbf{H}}_{0k} M^{\frac{\alpha}{2}} \bar{\mathbf{D}}_{0k} \mathbf{H}_{0k}^H + M^{\frac{\alpha}{2}-1} \frac{u_0 \sigma^2}{P_t} \mathbf{I}_M \right)^{-1} \mathbf{h}_{0k} \right|^2}{E \left[\left\| \left(\frac{1}{M} \bar{\mathbf{H}}_{0k} M^{\frac{\alpha}{2}} \bar{\mathbf{D}}_{0k} \mathbf{H}_{0k}^H + M^{\frac{\alpha}{2}-1} \frac{u_0 \sigma^2}{P_t} \mathbf{I}_M \right)^{-1} \mathbf{h}_{0k} \right\|_2^2 \right]}$$

A. Alam, P. Mary, J.-Y. Baudais et X. Lagrange, « Asymptotic analysis of area spectral efficiency and energy efficiency in PPP networks with SLNR precoder », *IEEE Transactions on Communications*, vol. 65, p. 3172–3185, juillet 2017

1. $E[\gamma(u_0)|r_{0k}]$
 - 1.1. $\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}$: normalisation, EVD
 - 1.1.1. Numérateur
 - 1.1.1.1. Moyenne

$$|\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}|^2 = \frac{\left| \mathbf{h}_{0k}^H \left(\mathbf{U}_{0k} \left(\Lambda_{0k} + \frac{M^{\frac{\alpha}{2}-1} \sigma^2 u_0}{P_t} I_M \right) \mathbf{U}_{0k}^H \right)^{-1} \mathbf{h}_{0k} \right|^2}{E \left[\left\| \left(\mathbf{U}_{0k} \left(\Lambda_{0k} + \frac{M^{\frac{\alpha}{2}-1} \sigma^2 u_0}{P_t} I_M \right) \mathbf{U}_{0k}^H \right)^{-1} \mathbf{h}_{0k} \right\|_2^2 \right]}$$

A. Alam, P. Mary, J.-Y. Baudais et X. Lagrange, « Asymptotic analysis of area spectral efficiency and energy efficiency in PPP networks with SLNR precoder », *IEEE Transactions on Communications*, vol. 65, p. 3172–3185, juillet 2017

1. $E[\gamma(u_0)|r_{0k}]$
 - 1.1. $\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}$: normalisation, EVD, recombinaison
 - 1.1.1. Numérateur
 - 1.1.1.1. Moyenne

$$|\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}|^2 = \frac{\left| \mathbf{t}_{0k}^H \left(\Lambda_{0k} + \frac{M^{\frac{\alpha}{2}-1} \sigma^2 u_0}{P_t} I_M \right)^{-1} \mathbf{t}_{0k} \right|^2}{E \left[\mathbf{t}_{0k}^H \left(\Lambda_{0k} + \frac{M^{\frac{\alpha}{2}-1} \sigma^2 u_0}{P_t} I_M \right)^{-2} \mathbf{t}_{0k} \right]}$$

A. Alam, P. Mary, J.-Y. Baudais et X. Lagrange, « Asymptotic analysis of area spectral efficiency and energy efficiency in PPP networks with SLNR precoder », *IEEE Transactions on Communications*, vol. 65, p. 3172–3185, juillet 2017

1. $E[\gamma(u_0)|r_{0k}]$
 - 1.1. $\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}$: normalisation, EVD, recombinaison, somme
 - 1.1.1. Numérateur
 - 1.1.1.1. Moyenne

$$\left| \mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k} \right|^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^M \frac{|t_{0ki}|^2}{\lambda_{0ki} + \frac{M^{\frac{\alpha}{2}-1} \sigma^2 u_0}{P_t}} \right)^2}{E \left[\sum_{i=1}^M \frac{|t_{0ki}|^2}{\left(\lambda_{0ki} + \frac{M^{\frac{\alpha}{2}-1} \sigma^2 u_0}{P_t} \right)^2} \right]}$$

A. Alam, P. Mary, J.-Y. Baudais et X. Lagrange, « Asymptotic analysis of area spectral efficiency and energy efficiency in PPP networks with SLNR precoder », *IEEE Transactions on Communications*, vol. 65, p. 3172–3185, juillet 2017

1. $E[\gamma(u_0)|r_{0k}]$
 - 1.1. $\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}$: normalisation, EVD, recombinaison, somme
 - 1.1.1. Numérateur
 - 1.1.1.1. Moyenne

$$E \left[\left| \mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k} \right|^2 \right] = \frac{E \left[\left(\sum_{i=1}^M \frac{|t_{0ki}|^2}{\lambda_{0ki} + \frac{M^{\frac{\alpha}{2}-1} \sigma^2 u_0}{P_t}} \right)^2 \right]}{E \left[\sum_{i=1}^M \frac{|t_{0ki}|^2}{\left(\lambda_{0ki} + \frac{M^{\frac{\alpha}{2}-1} \sigma^2 u_0}{P_t} \right)^2} \right]}$$

A. Alam, P. Mary, J.-Y. Baudais et X. Lagrange, « Asymptotic analysis of area spectral efficiency and energy efficiency in PPP networks with SLNR precoder », *IEEE Transactions on Communications*, vol. 65, p. 3172–3185, juillet 2017

1. $E[\gamma(u_0)|r_{0k}]$
 - 1.1. $\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}$: normalisation, EVD, recombinaison, somme
 - 1.1.1. Numérateur : carré de la moyenne plus variance
 - 1.1.1.1. Moyenne

$$E \left[\left| \mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k} \right|^2 \right] = \frac{E \left[\left(\sum_{i=1}^M \frac{|t_{0ki}|^2}{\lambda_{0ki} + \frac{M^{\frac{\alpha}{2}-1} \sigma^2 u_0}{P_t}} \right)^2 \right]}{E \left[\sum_{i=1}^M \frac{|t_{0ki}|^2}{\left(\lambda_{0ki} + \frac{M^{\frac{\alpha}{2}-1} \sigma^2 u_0}{P_t} \right)^2} \right]}$$

A. Alam, P. Mary, J.-Y. Baudais et X. Lagrange, « Asymptotic analysis of area spectral efficiency and energy efficiency in PPP networks with SLNR precoder », *IEEE Transactions on Communications*, vol. 65, p. 3172–3185, juillet 2017

1. $E[\gamma(u_0)|r_{0k}]$
 - 1.1. $\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}$: normalisation, EVD, recombinaison, somme
 - 1.1.1. Numérateur : carré de la moyenne plus variance
 - 1.1.1.1. Moyenne

$$E \left[\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{|t_{0ki}|^2}{\lambda_{0ki} + \frac{M^{\frac{\alpha}{2}-1} \sigma^2 u_0}{P_t}} \right]$$

A. Alam, P. Mary, J.-Y. Baudais et X. Lagrange, « Asymptotic analysis of area spectral efficiency and energy efficiency in PPP networks with SLNR precoder », *IEEE Transactions on Communications*, vol. 65, p. 3172–3185, juillet 2017

1. $E[\gamma(u_0)|r_{0k}]$
 - 1.1. $\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}$: normalisation, EVD, recombinaison, somme
 - 1.1.1. Numérateur : carré de la moyenne plus variance
 - 1.1.1.1. Moyenne : Stieltjes, Silverstein

$$E \left[\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{|t_{0ki}|^2}{\lambda_{0ki} + \frac{M^{\frac{\alpha}{2}-1} \sigma^2 u_0}{P_t}} \right] \xrightarrow{\text{r.a.}} \int_0^\infty \frac{dF_\lambda(x)}{x-z}$$

A. Alam, P. Mary, J.-Y. Baudais et X. Lagrange, « Asymptotic analysis of area spectral efficiency and energy efficiency in PPP networks with SLNR precoder », *IEEE Transactions on Communications*, vol. 65, p. 3172–3185, juillet 2017

1. $E[\gamma(u_0)|r_{0k}]$
 - 1.1. $\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}$: normalisation, EVD, recombinaison, somme
 - 1.1.1. Numérateur : carré de la moyenne plus variance
 - 1.1.1.1. Moyenne : Stieltjes, Silverstein

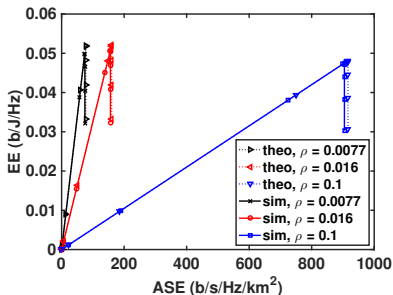
$$\int_0^\infty \frac{dF_\lambda(x)}{x-z} = \text{solution équation intégrale de } dF_{M^{\frac{\alpha}{2}} r^{-\alpha}}$$

A. Alam, P. Mary, J.-Y. Baudais et X. Lagrange, « Asymptotic analysis of area spectral efficiency and energy efficiency in PPP networks with SLNR precoder », *IEEE Transactions on Communications*, vol. 65, p. 3172–3185, juillet 2017

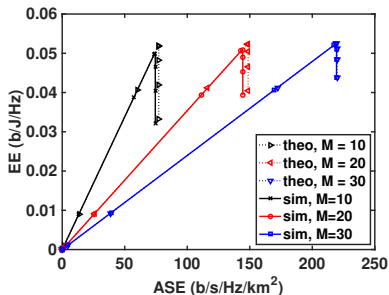
1. $E[\gamma(u_0)|r_{0k}]$
 - 1.1. $\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0k}$
 - 1.1.1. Numérateur
 - 1.1.1.1. Moyenne
 - 1.1.1.2. Variance
 - 1.1.2. Dénominateur
 - 1.2. $\mathbf{h}_{ik}^H \mathbf{w}_{ij'}$
 - 1.3. $\mathbf{h}_{0k}^H \mathbf{w}_{0j}$
2. $E[\gamma(u_0)]$
3. ASE, EE

A. Alam, P. Mary, J.-Y. Baudais et X. Lagrange, « Asymptotic analysis of area spectral efficiency and energy efficiency in PPP networks with SLNR precoder », *IEEE Transactions on Communications*, vol. 65, p. 3172–3185, juillet 2017

- ▶ Compromis ASE-EE
- ▶ Comparaison : analyse, simulation
- ▶ $\lambda_u = 10 \text{ km}^{-2}$, $\alpha = 4$, $\sigma^2 = -97,5 \text{ dBm}$, $P_c = 35 \text{ W}$, $P_0 = 34 \text{ W}$, $\eta = 0,32$, $\rho = \frac{\lambda_b}{\lambda_u}$, $P_t \in [-60, 60] \text{ dBm}$

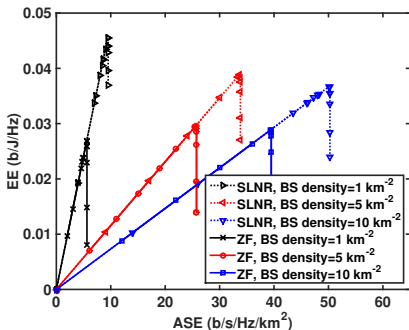
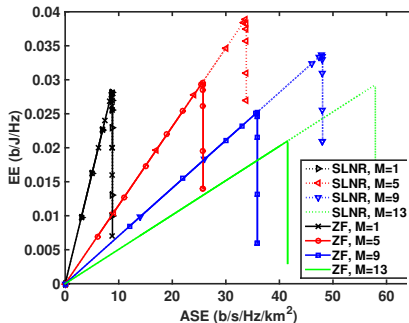


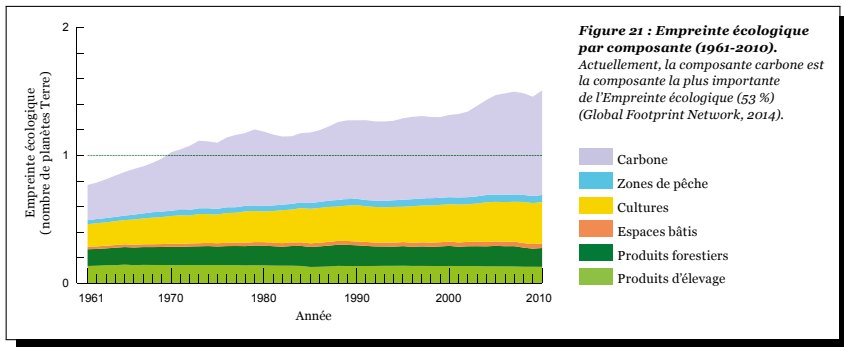
(a) $M = 10$, $\lambda_u = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-2}$



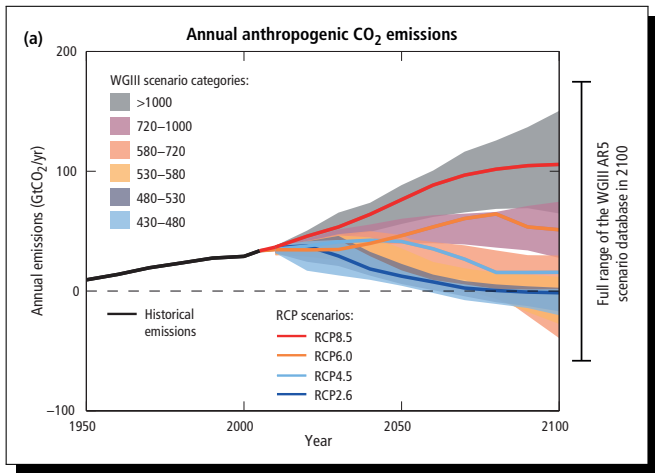
(b) $\rho = 0.0077$, $\lambda_u = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-2}$

- Comparaison SNLR, ZF, $\lambda_u = 10 \text{ km}^{-2}$, $\lambda_b = 5 \text{ km}^{-2}$, $M = 5$



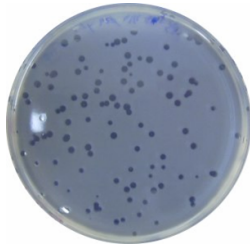


In R. McLellan (ed.), « Planète vivante », rap. tech., World Wide Fund, 2014



In Core Writing Team, R. Pachauri et L. Meyer (eds.), « Climate change 2014: Synthesis report », rap. tech., IPCC, Geneva, Switzerland, 2014

La vie : un processus instable ?



La vie : un processus instable ?



MERCI WEBCI

A.M. Alam^{*}, P. Mary^{*}, J.-Y. Baudais^{*} et X. Lagrange[†]

^{*}IETR, [†]IRISA

Toward energy proportional networks, Cominlabs

E3S'18 Fall

CentraleSupélec Rennes, 22 novembre 2018