

# Assimilation d'observations mobiles de la pollution sonore

Raphaël Ventura, Vivien Mallet, Valérie Issarny, Fadwa Rebhi,  
Pierre-Guillaume Raverdy, Cong-Kinh Nguyen

INRIA

Colloque national d'assimilation de données 2016

- 1 Cartes de bruit
- 2 Données mobiles : Ambiciti
- 3 Expérience

# Carte de bruit

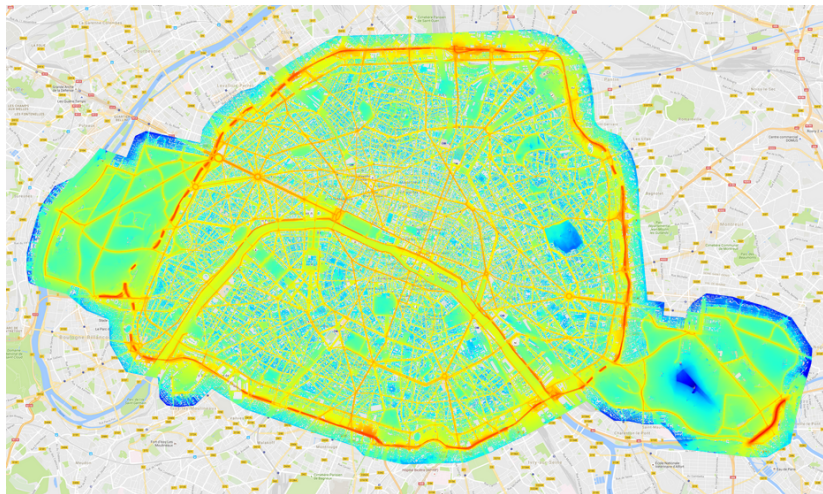


FIGURE: Carte simulée du bruit moyen ( $L_{den}$ ) à Paris.

## Variables d'intérêt

Niveau acoustique moyen « équivalent » en dB(A)

$$L_{eq} = 10 \log \left( \frac{\bar{p}}{p_0} \right)^2$$

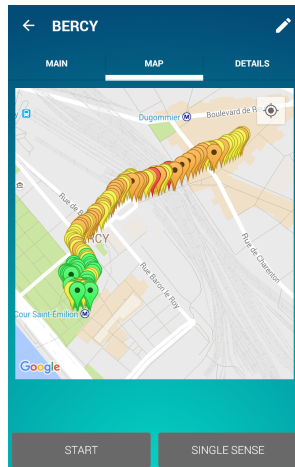
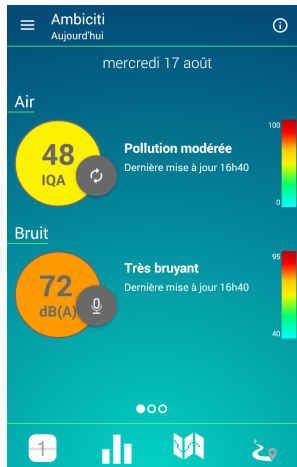
avec

$$p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa},$$

et

$$\bar{p} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p(t)^2 dt} \longrightarrow \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} p[n]^2}.$$

# Ambiciti - Présentation



# Ambiciti - Étalonnage

← Étalonnage

BIAIS    MESURE    HISTORIQUE

**BIAIS ACTUEL**

Le biais est l'erreur systématique qui doit être soustraite aux niveaux bruts mesurés par votre appareil.

-14.9 dB(A)

**SOURCE DU BIAIS ACTUEL**

BASE DE DONNÉES DE AMBICITI

INSTRUMENT DE RÉFÉRENCE

VALEUR PRESCRITE

← Étalonnage

BIAIS    MESURE    HISTORIQUE

Les couples de niveaux de bruit validés sont utilisés pour estimer le biais de votre appareil.

**MESURES**

Votre mesure 37.7 dB(A)  
Mesure de référence 52.4 dB(A)  
Différence -14.7 dB(A)

Votre mesure 45.7 dB(A)  
Mesure de référence 60.8 dB(A)  
Différence -15.1 dB(A)

Votre mesure 56.5 dB(A)  
Mesure de référence 71.3 dB(A)  
Différence -14.8 dB(A)

**BIAIS ESTIMÉ**

-14.9 dB(A)

ACCEPTER    TOUT SUPPRIMER



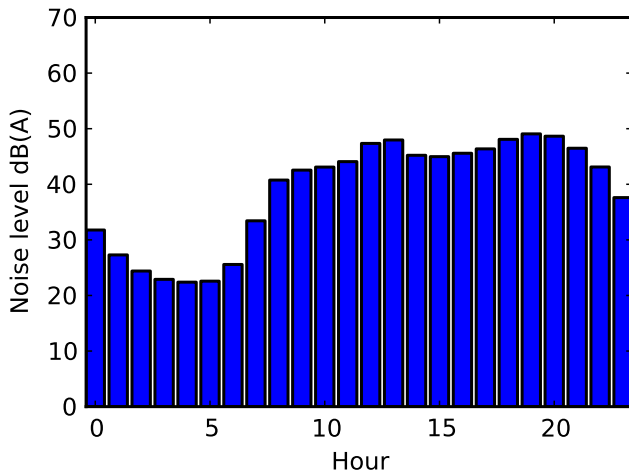


FIGURE: Profile horaire (données brutes)

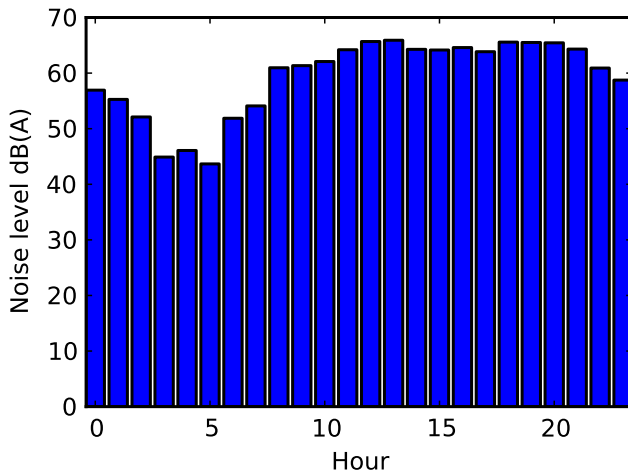


FIGURE: Profile horaire (données filtrées)



## Description

- Parcours dans une zone urbaine de 0.3 km<sup>2</sup>.
- $\mathbf{x}^b \in \mathbb{R}^n$  : ébauche.  
 $n \simeq 20\,000$ .
- Niveau moyen simulé  
 $LA_{eq1h}$ .
- Deux créneaux horaires
  - 9h - 10h
  - 18h - 19h

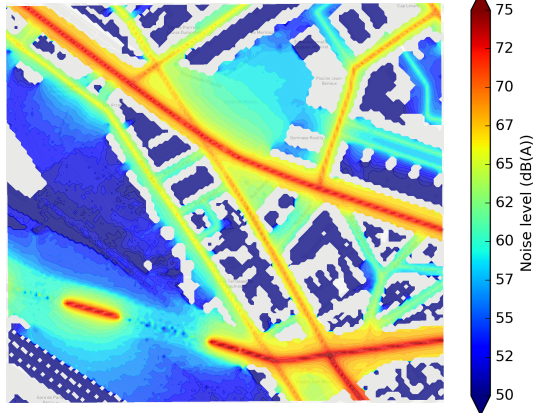


FIGURE: Ébauche. Niveau de bruit en dB(A)

## Problème

Nous avons une carte moyenne

$$L_I = 10 \log \left( \frac{1}{|I|} \sum_{h \in I} 10^{\frac{L_h}{10}} \right).$$

Comment trouver  $L_h$  ?

## Hypothèses

- Le niveau acoustique  $L_h$ , à une heure et un point donnés, est proportionnel à  $(r_h)_{h \in I}$ , profil observé des données mobiles.
- Bruit de fond.

## Vecteur d'observations

- $\mathbf{y} \in \mathbb{R}^p$  : observations.  
 $p \simeq 4000$ .
- $\mathbf{H}$  : plus proche voisin dans le vecteur d'état.
- Niveaux de bruits mesurés en continu (tranches de 5 s).

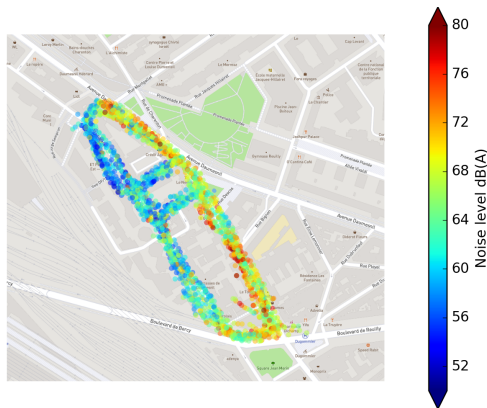


FIGURE: Lieux des observations

## BLUE

$$\mathbf{x}^a = \mathbf{x}^b + \mathbf{K}(\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{x}^b)$$

$$\mathbf{K} = \mathbf{B}\mathbf{H}^T (\mathbf{H}\mathbf{B}\mathbf{H}^T + \mathbf{R})^{-1}$$

$$\mathbb{E}(\mathbf{e}^b) = \mathbb{E}(\mathbf{e}^o) = \mathbf{0}$$

$$\mathbb{E}(\mathbf{e}^b(\mathbf{e}^o)^T) = \mathbf{0}$$

## Erreur d'ébauche

$$e^b = x^b - x^t$$

- Incertitudes sur les entrées modèle.
- Carte moyennée → carte horaire.
- Sources non-considérées dans la simulation.

Basé sur TILLOY et al., 2013

## Hypothèses

$e^b$  est supposée dépendre essentiellement de l'estimation du trafic routier.  $e_i^b$  et  $e_j^b$  sont d'autant plus corrélés qu'ils sont

- proches le long du réseau routier.
- à une distance similaire de ce réseau.

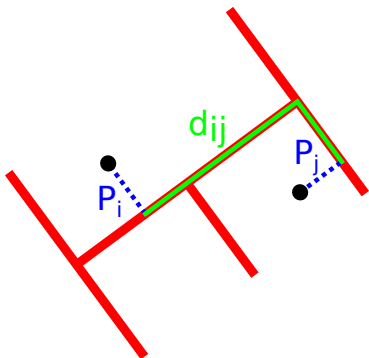
## Paramétrisation

$$B_{ij} = b \exp\left(-\frac{|P_i - P_j|}{L_p}\right) \exp\left(-\frac{d_{ij}}{L_d}\right)$$

avec

- $P_i$  et  $P_j$  les distances géographiques au réseau routier
- $d_{ij}$  le plus court chemin entre les projections des points  $i$  et  $j$  le long du réseau routier.
- $L_p, L_d$  des distances caractéristiques associées.
- $b$  estimée par comparaison avec le réseau BruitParif.

$$B_{ij} = b \exp\left(-\frac{|P_i - P_j|}{L_p}\right) \exp\left(-\frac{d_{ij}}{L_d}\right),$$



## Erreur d'observation

$$\mathbf{e}^o = \mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{x}^t$$
$$\mathbf{e}^o = \mathbf{e}^i + \mathbf{e}^r + \mathbf{e}^l$$

- $\mathbf{e}^i$  : erreur d'instrumentation :  $\sigma^i \sim 2 \text{ dB(A)}$
- $\mathbf{e}^r$  : erreur de représentativité temporelle (5s vs. 1h).
- $\mathbf{e}^l$  : erreur de représentativité spatiale (imprécision de la localisation GPS).



## Problème

- Mesures de 5 s vs. vecteur d'état  $LA_{eq1h}$
- Quelle variabilité de mesure pour des durées différentes ?

$$\sigma^r \simeq 5 \text{ dB(A)}$$

Exp. n°	Moyenne	1/8 s	1/2 s	1 s	5 s
1	63.1	6.7	6.3	6.2	6.1
2	62.2	5.0	4.3	4.3	4.2
3	71.2	6.2	5.4	5.4	5.1
4	70.8	6.6	5.9	5.9	5.6
5	71.4	7.0	6.4	6.3	5.9
6	61.2	6.1	5.5	5.4	5.3

TABLE: Moyennes et écarts types dB(A)

# Erreurs d'observation - localisation

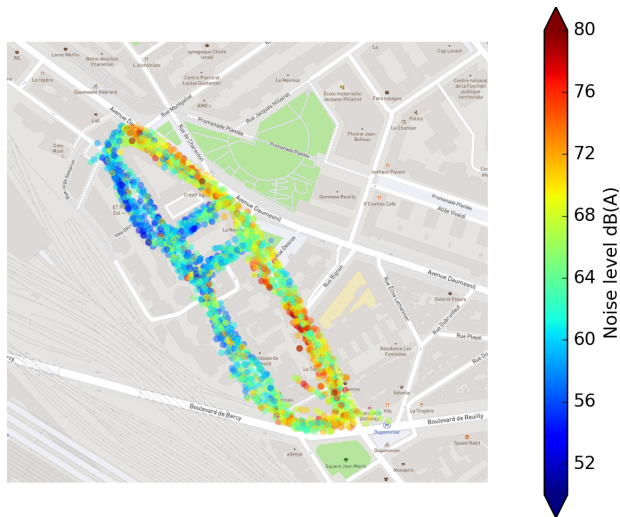


FIGURE: Positions des observations (localisation brute)

# Erreurs d'observation - localisation

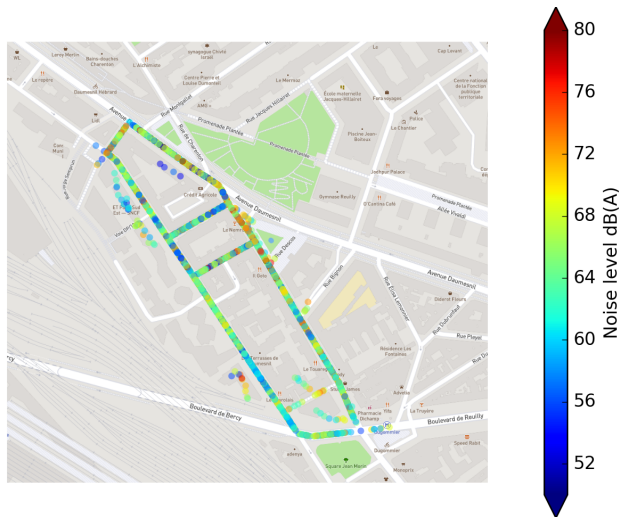


FIGURE: Positions des observations (localisation corrigée)

## Distribution de $\mathbf{e}^l$ ?

Erreur GPS

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}^t + \mathbf{w}^{GPS} \quad \mathbf{w}^{GPS} \rightsquigarrow \mathcal{N}(\mathbf{0}, \boldsymbol{\Sigma})$$

On estime la variance de  $\mathbf{e}^l$  en chaque point de  $\mathbf{x}^b$  (Monte Carlo)  
 $\text{diag}(\boldsymbol{\Sigma}^l) \simeq \text{diag}(\text{var}(\mathbf{x}^b(\mathbf{X})))$

Résultat :  $\text{var}(\mathbf{e}^l)$  faible. La moitié des valeurs est inférieure à  $1 \text{ dB}(A)^2$ . La variance est parfois élevée localement.

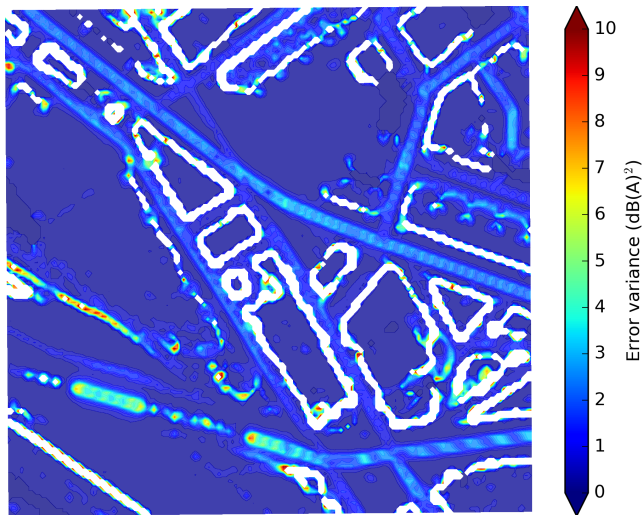


FIGURE: Estimation de la valeur de  $\text{var}(\mathbf{e}^l)$  sur le domaine

## Erreur ébauche

$$B_{ij} = b \exp\left(-\frac{|P_i - P_j|}{L_p}\right) \exp\left(-\frac{d_{ij}}{L_d}\right)$$

$$b = 15 \text{ dB(A)}^2, L_p = 10 \text{ m}, L_d = 50 \text{ m}$$

## Erreurs observation

$$\mathbf{R} = \boldsymbol{\Sigma}^i + \boldsymbol{\Sigma}^r + \boldsymbol{\Sigma}^l,$$

avec

$$\boldsymbol{\Sigma}^i = (\sigma^i)^2 * \mathbf{I} \quad \sigma^i = 1 \text{ dB(A)}$$

$$\boldsymbol{\Sigma}^r = (\sigma^r)^2 * \mathbf{I} \quad \sigma^r = 5 \text{ dB(A)}$$

$$\boldsymbol{\Sigma}^l = \text{diag}(\text{var}(\mathbf{x}^b(\mathbf{X}))) * \mathbf{I} \quad \sigma^l \in [0; 2] \text{ dB(A)}$$

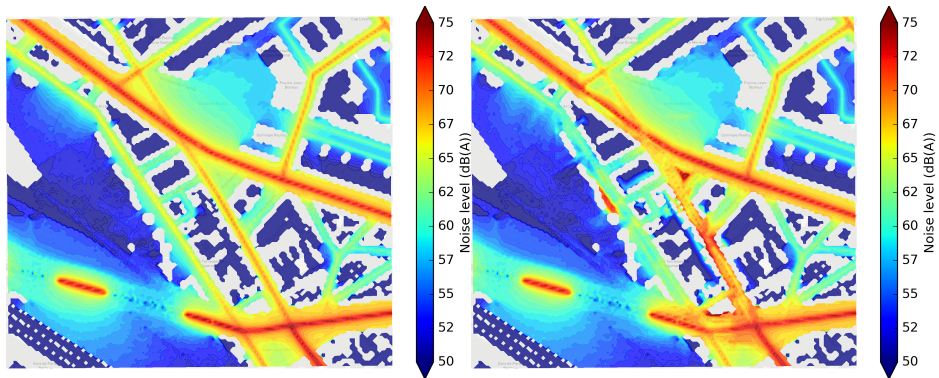


FIGURE: Ébauche (g) et analyse (d)

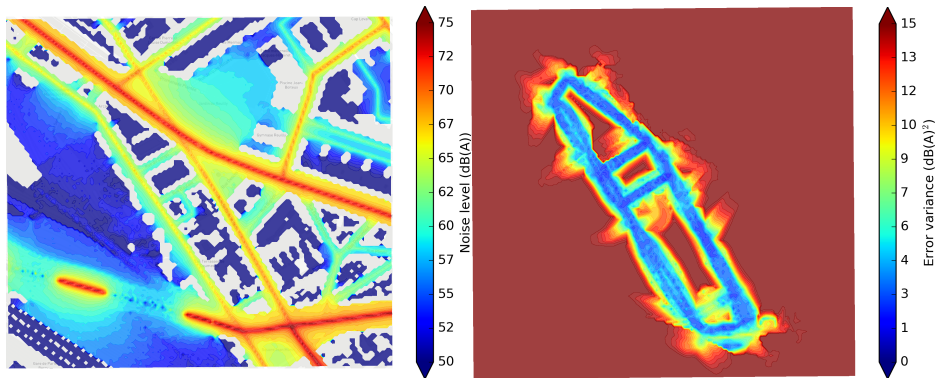


FIGURE: Ébauche (g) et variance a posteriori (d)



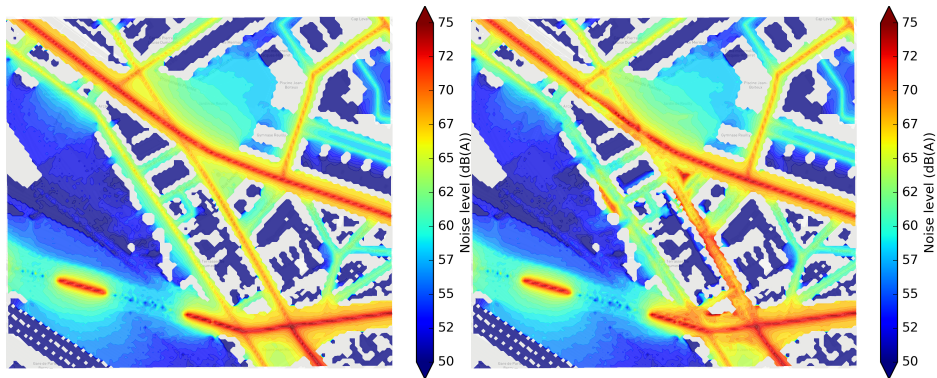


FIGURE: Ébauche (g) et analyse 1/2 (d)

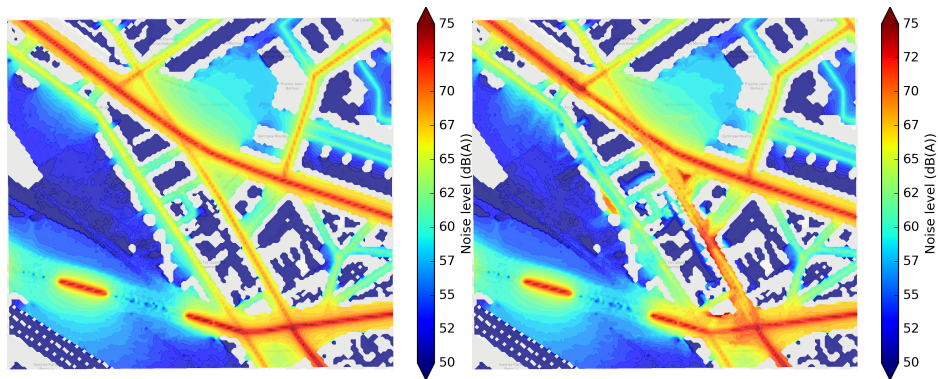


FIGURE: Ébauche (g) et analyse 2/2 (d)

## Diagnostics

Utilisation des diagnostics décrits dans DESROZIERS et al., 2005.

- innovations :

$$\mathbb{E}((\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{x}^b)(\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{x}^b)^T) = \mathbf{R} + \mathbf{H}\mathbf{B}\mathbf{H}^T$$
$$\frac{1}{N_{obs}} \mathbb{E}((\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{x}^b)^T (\mathbf{R} + \mathbf{H}\mathbf{B}\mathbf{H}^T)^{-1} (\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{x}^b)) = 1$$

- observations :

$$\mathbb{E}((\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{x}^a)(\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{x}^b)^T) = \mathbf{R}$$
$$\frac{1}{N_{obs}} \mathbb{E}((\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{x}^a)^T (\mathbf{R})^{-1} (\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{x}^b)) = 1$$

### Résultats 9h - 10h

- innovations 1.05
- observations 0.81

### Résultats 18h - 19h

- innovations 1.19
- observations 0.89

- Exploitation des mesures automatiques.
- Nombre d'observations optimal ?
- Problèmes inverses (Projet ANR Sense).

DESROZIERS, G. et al. (2005). “Diagnosis of observation, background and analysis-error statistics in observation space”. Dans : *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 131.613, p. 3385–3396. ISSN : 1477-870X.

TILLOY, Anne et al. (2013). “BLUE-based NO<sub>2</sub> data assimilation at urban scale”. Dans : *Journal of Geophysical Research : Atmospheres* 118.4, p. 2031–2040. ISSN : 2169-8996.

## Niveaux moyennés

$L_{den}$  (day, evening, night), moyenne pondérée sur 24 heures.

$$L_{den} = 10 \log \left( \frac{12}{24} 10^{L_d/10} + \frac{4}{24} 10^{(L_e+5)/10} + \frac{8}{24} 10^{(L_n+10)/10} \right).$$

$$\frac{L_{h+1} - \min(L_I)}{L_h - \min(L_I)} = \frac{r_{h+1} - \min(L_I)}{r_h - \min(L_I)} \Rightarrow \forall h, \frac{L_h - \min(L_I)}{r_h - \min(L_I)} = \mu$$

$$L_I = 10 \log \left( \frac{1}{|I|} \sum_{h \in I} 10^{\frac{L_h}{10}} \right)$$

$$L_I = 10 \log \left( \frac{1}{|I|} \sum_{h \in I} 10^{(\mu(r_h - \min L_I) + \min L_I)/10} \right)$$

$$|I| 10^{(L_I - \min L_I)/10} = \sum_{h \in I} 10^{\mu(r_h - \min L_I)/10}$$

$$f(\mu) = \sum_{h \in I} 10^{\mu(r_h - \min L_I)/10} - |I| 10^{(L_I - \min L_I)/10}$$

On résout numériquement  $f(\mu) = 0$ .