

# Méthodologie d'évaluation de l'impact d'un PDU sur le bruit (projet ANR Eval-PDU)

## Département IM – UR EASE

Judicaël PICAUT, Nicolas FORTIN  
JTAV, Aix-en-Provence, 8-9 juin 2011



IFSTTAR

# Procédure générale

## SOURCES SONORES (L4.2)

Modèles de source sonore  
(sources sonores équivalentes)  
VL, PL

Base de données (2D)  
géographique du réseau  
routier

Modèle de trafic (CETE Ouest)  
Nombre de voies  
Sens de circulation des voies  
Vitesse et allure par voie



## PROPAGATION (L4.3)

Modèle de propagation  
« simplifié et rapide »

Base de données (3D)  
du bâti



## RÉCEPTION (L4.1)

Indicateurs acoustiques  
Niveaux sonores Lden  
[6h-18h], [18h-22h], [22h-6h]



# Principe générale de la production des cartes de bruit

- Développement d'une approche simplifiée pour la réalisation de cartographies sonores sous 
  1. Lecture des données d'entrée
  2. Calcul de l'émission acoustique (par tronçon)
  3. Réalisation du maillage (point de calcul)
  4. Calcul de la propagation acoustique

*Méthode inspirée de la NMPB (2D)*

## 1. Objectifs :

- Intégration complète dans OrbisGIS
- Limitation des temps de calcul pour produire une carte de bruit dans des « temps raisonnables »



# Données d'entrée

## Données de trafic (2002, 2008 au format XLS)

- Trafic pour le réseau principal
- Trafic pour le réseau secondaire
- Service des TC (bus, busway, tramway)

## Données géographiques

- Routes du département associés aux données de trafic
- BD TOPO® : routes et bâtiments de l'agglomération nantaise
- Zones de trafic de l'agglomération nantaise (réseau principal/secondaire)



# Lecture des données d'entrée

## **Données de trafic :** *script de lecture en langage Python™*

1. Chargement des fichiers de trafic
2. Extraction des données
3. Application d'un « filtre » pour les données manquantes
4. Chargement du fichier de coordonnées des tronçons
5. Sauvegarde des données au format dbf
6. Import des données de trafic sous OrbisGIS (pour requêtes SQL)

## **Données géographiques :**

1. Import des données de trafic sous OrbisGIS (pour requêtes SQL)



# Lecture des données d'entrée

**TABLE 2** — Description des sorties du modèle de trafic développé par le CETE de l'Ouest et lien avec le calcul de l'émission acoustique des tronçons. La mention « Sans objet » désigne les paramètres qui n'apportent pas d'informations spécifiques pour le calcul des émissions acoustiques. La mention « Non défini » désigne les paramètres dont la contribution pour le calcul des émissions acoustiques n'est pas clairement définie à la date de ce présent rapport. Note : la saturation est calculée à partir du nombre de UVP (1 pour un VL et 2 pour un PL) : la saturation est égale au nombre d'UVP divisé par la capacité.

| Libellé                                  | Description                                                                                                      | Lien avec le calcul des émissions acoustiques                                 |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Données générales</b>                 |                                                                                                                  |                                                                               |
| Numéro de Tronçon                        | Numéro de tronçon                                                                                                | Sans objet                                                                    |
| Num Noeud Origine                        | Numéro du noeud d'origine du tronçon                                                                             | Noeud d'origine de la ligne source                                            |
| Num Noeud Extrémité                      | Numéro du noeud d'extrémité du tronçon                                                                           | Noeud d'extrémité de la ligne source                                          |
| Sens (1/0)                               | Sens de circulation : 1 sens aller, 0 sens retour                                                                | Sans objet                                                                    |
| Surtype                                  | Type de tronçon (cf. tableau 3)                                                                                  | Utilisé pour la détermination des vitesses réglementaires de circulation      |
| Type                                     | Surtype + type de tronçon (cf. tableau 3)                                                                        | Utilisé pour la détermination des vitesses réglementaires de circulation      |
| Rang                                     | Priorité du tronçon. Plus le rang est élevé plus le tronçon est prioritaire                                      | Non défini                                                                    |
| Longueur (km)                            | Longueur du tronçon                                                                                              | Sans objet                                                                    |
| Nb Voies TI                              | Nombre de voies de circulation TI par sens                                                                       | Non renseigné                                                                 |
| Modes autorisés                          | Mode de transport autorisé sur le tronçon (cf. tableau 4)                                                        | Non défini                                                                    |
| Capacité (UVP/h)                         | Capacité nominale du tronçon (en unité de véhicules par heure) par sens et pour l'ensemble des voies             | Non défini                                                                    |
| Vitesse maxi                             | Vitesse maximale autorisée en mode TI (km/h). Elle est parfois supérieure à la vitesse autorisée pour le mode VL | Nécessaire au calcul du niveau de puissance acoustique                        |
| Num D/V                                  |                                                                                                                  | Non renseigné                                                                 |
| <b>Pour chaque période de la journée</b> |                                                                                                                  |                                                                               |
| Comptage TV                              | Comptage TV (VL + PL)                                                                                            | Sans objet                                                                    |
| Comptage PL                              | Comptage PL                                                                                                      | Sans objet                                                                    |
| Charge TV                                | Débit horaire TV (VL + PL)                                                                                       | Débit de référence pour le calcul de l'émission acoustique                    |
| Charge PL                                | Débit horaire PL                                                                                                 | Débit de référence pour le calcul de l'émission acoustique                    |
| Saturation (%)                           | Saturation du tronçon                                                                                            | Non défini                                                                    |
| Vitesse en charge VL tronçon             | Vitesse en charge des VL (km/h)                                                                                  | Vitesse de référence pour le calcul de l'émission acoustique                  |
| Temps supplém. dans carrefour (mn)       | Temps supplémentaire dans le carrefour (en mn)                                                                   | Utilisé par le modèle de trafic pour le calcul des longueurs de fil d'attente |
| Vitesse en charge VL avec carrefour      | Vitesse en charge des VL (km/h) avec prise en compte de la présence d'intersection                               | Vitesse de référence pour le calcul de l'émission acoustique                  |

Données issues du modèle de trafic (CETE Ouest) et visualisation sous OrbisGIS

| the_geom                          | NUM | CODE | NOM | NUMTYPE | COORDX      | COORDY      |
|-----------------------------------|-----|------|-----|---------|-------------|-------------|
| POINT (231470.98082454104 2275... | 1   |      |     | 0       | 231470.9807 | 2275801.949 |
| POINT (233546.94327028602 2272... | 2   |      |     | 3       | 233546.943  | 2272910.953 |
| POINT (234643.00997958402 2264... | 3   |      |     | 0       | 234643.0099 | 2264730.035 |
| POINT (235049.95324730204 2272... | 4   |      |     | 3       | 235049.9535 | 2272099.014 |
| POINT (235731.05715781453 2263... | 5   |      |     | 7       | 235731.057  | 2263972.973 |
| POINT (235804.03652650004 2264... | 6   |      |     | 0       | 235804.0365 | 2264255.039 |

(a) Extrémité des tronçons : table noeuds

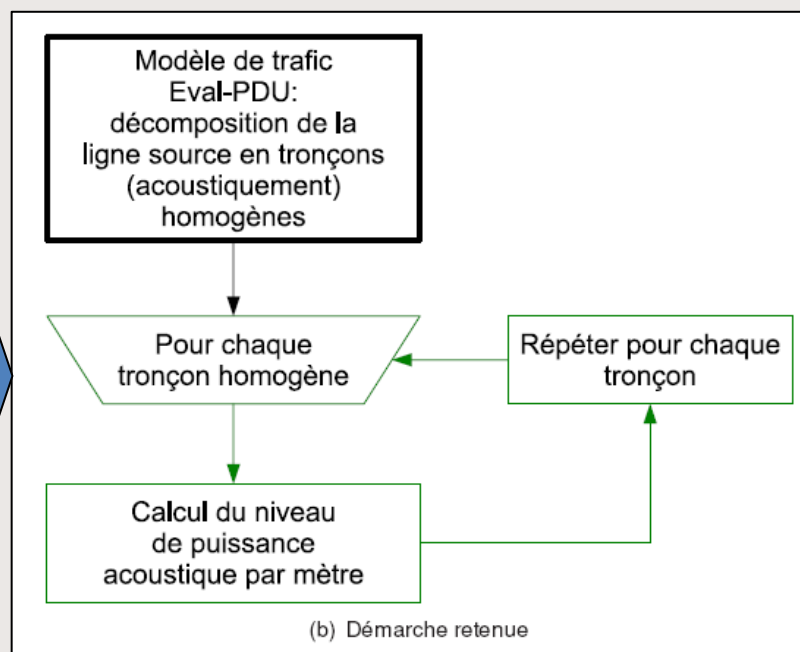
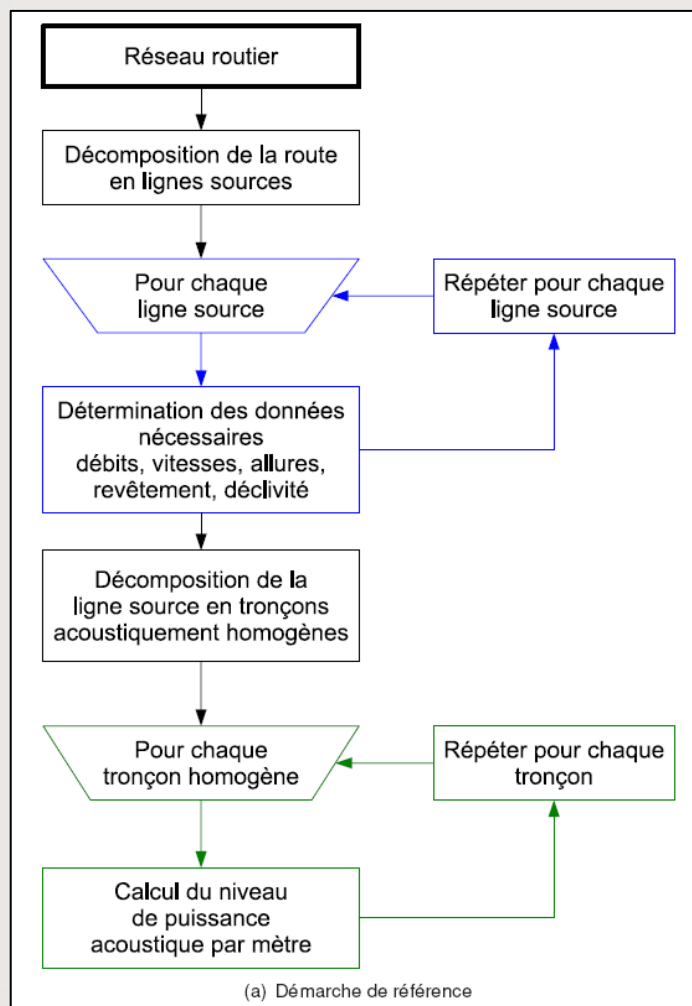
| id_tronc | from_node | to_node | direction | surtype | type | length | capacity | speedmax | tv    | pl   | speedload |
|----------|-----------|---------|-----------|---------|------|--------|----------|----------|-------|------|-----------|
| 1        | 3470      | 3471    | 1         | 5       | 53   | 0.068  | 1000     | 50       | 38.19 | 2.97 | 50        |
| 1        | 3471      | 3470    | 0         | 5       | 53   | 0.068  | 1000     | 50       | 39.84 | 3.15 | 50        |
| 2        | 3457      | 3458    | 1         | 5       | 53   | 0.046  | 1200     | 50       | 82.72 | 8.04 | 50        |
| 2        | 3458      | 3457    | 0         | 5       | 53   | 0.046  | 1200     | 50       | 78.9  | 7.62 | 50        |

(b) Données de trafic : table tron

Figure 5 — Exemple de données sources issues du modèle de trafic.



# Calcul des émissions acoustiques



Méthode simplifiée  
(cohérence avec le modèle de trafic)

Méthode de référence : **Guide du Sétra**

# Calcul des émissions acoustiques

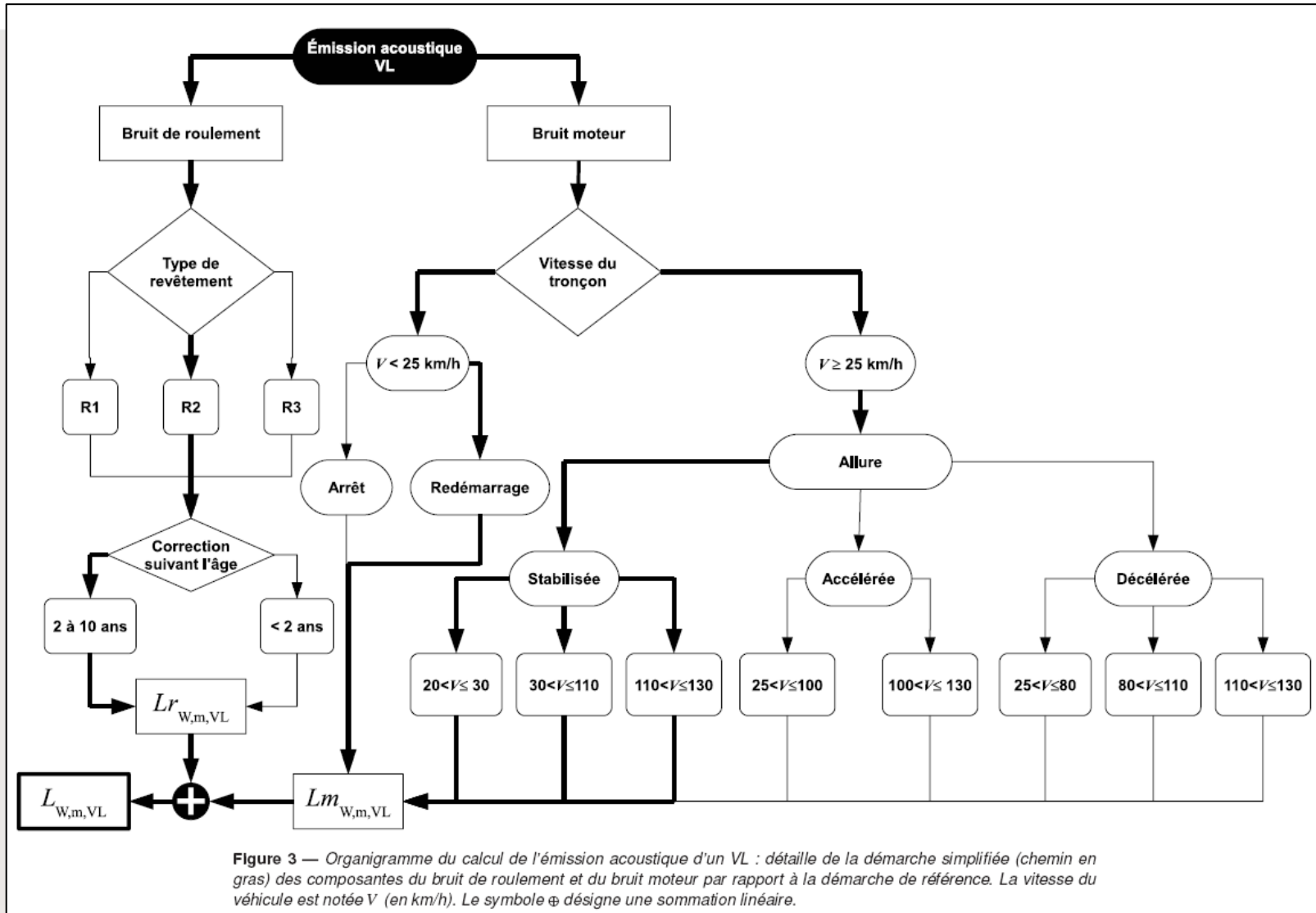
## Principe du calcul des émissions acoustiques :

- Calcul par bande de fréquence  $j$
- Calcul des émissions par véhicule (VL, PL-Bus, tramway)
- Pondération par le spectre normalisé du véhicule  $R(j)$
- Affectation du trafic  $Q$  pour chaque véhicule

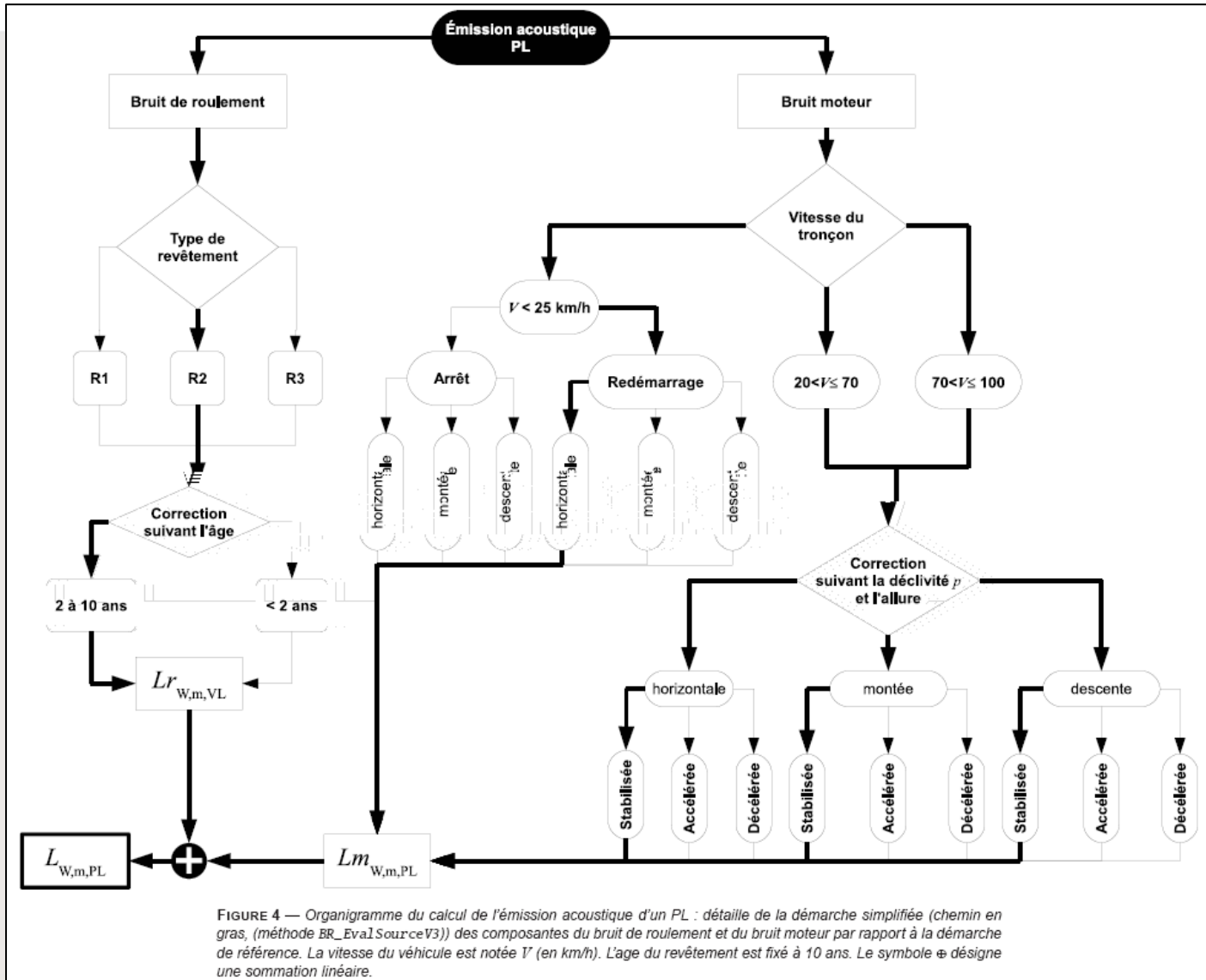
$$L_{W,m}(j) = \oplus \sum_u (L_{W,m,u} + 10 \log Q_u + R_u(j)) ,$$



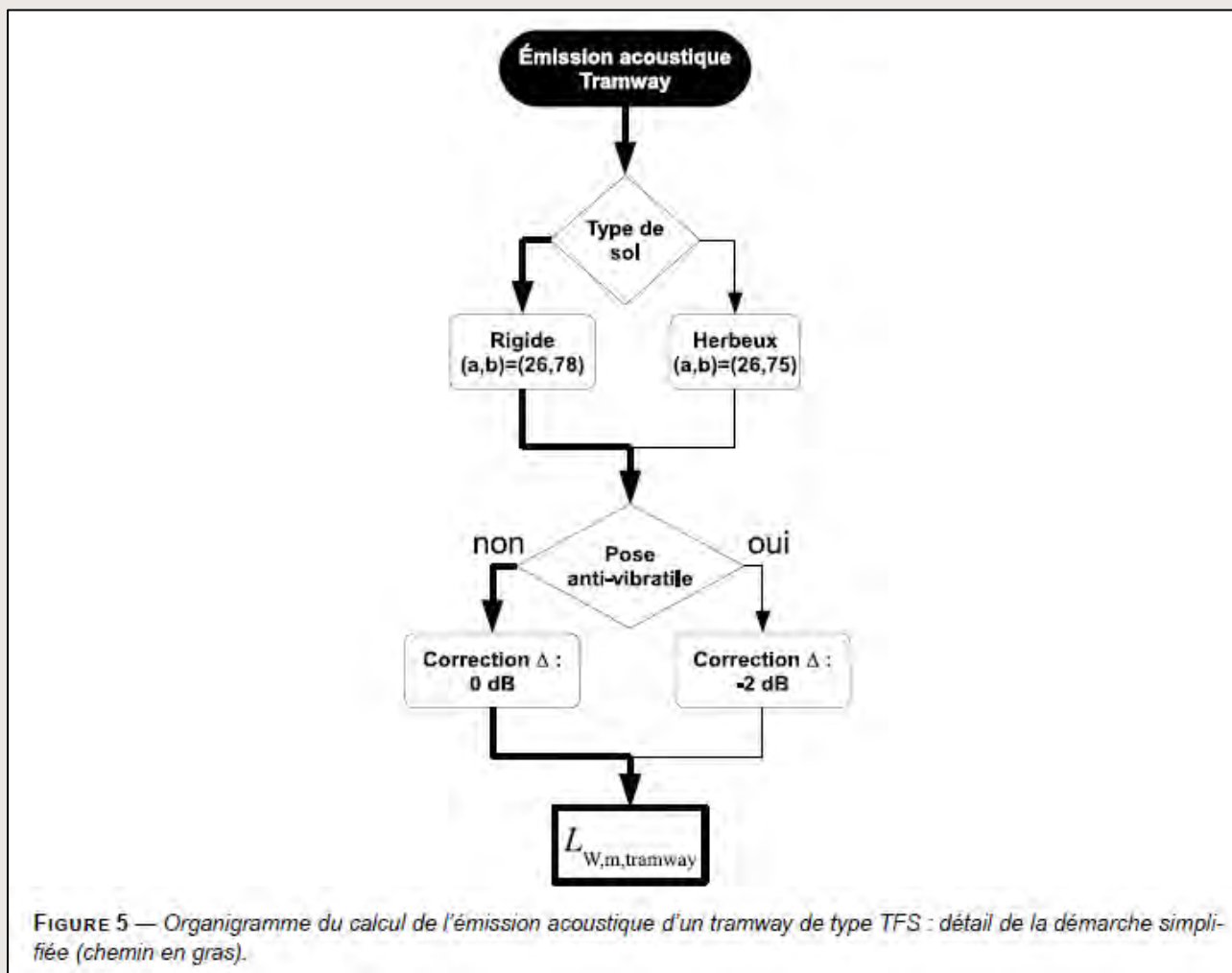
# Calcul des émissions acoustiques (VL)



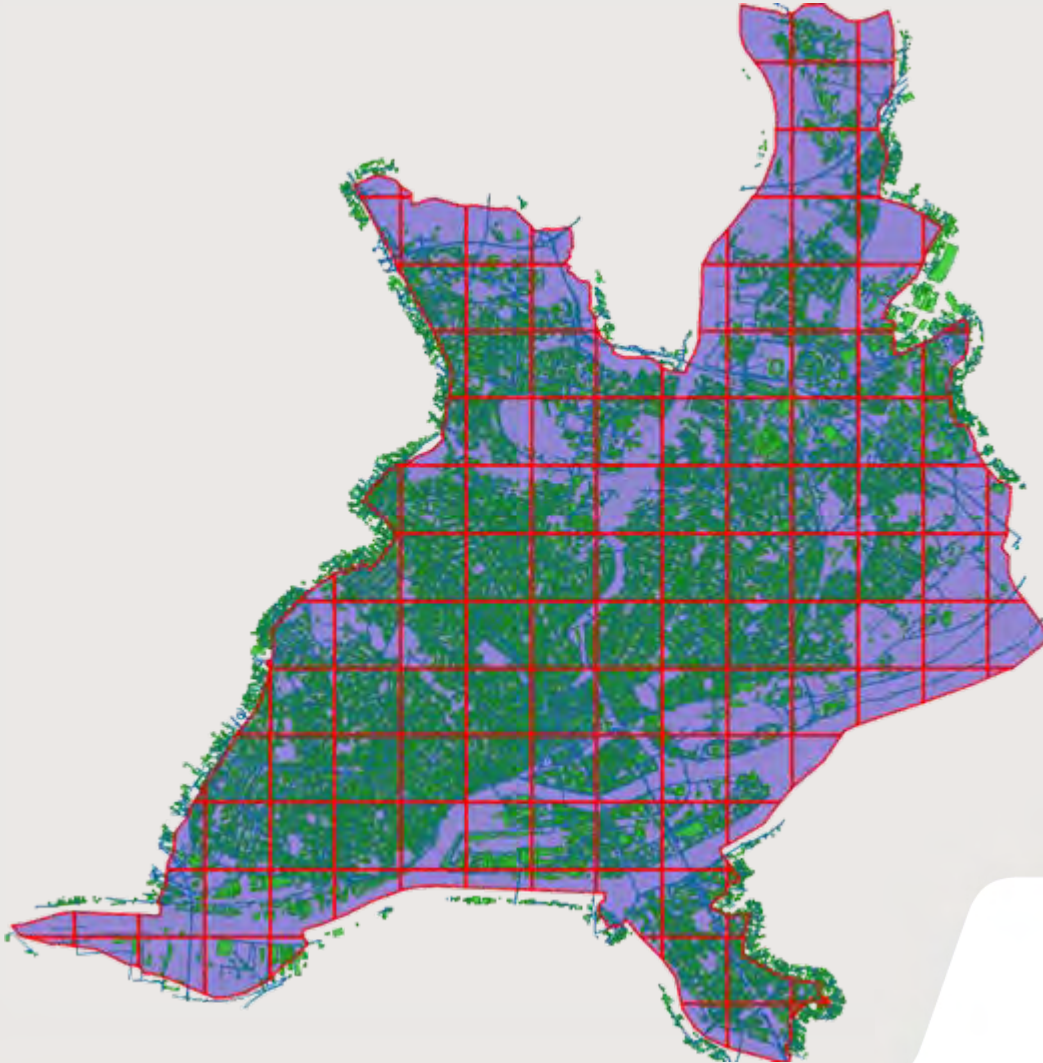
# Calcul des émissions acoustiques (PL-Bus)



# Calcul des émissions acoustiques (tramway)



# Réalisation du maillage (points de calcul)



Décomposition  
du domaine en  
sous-domaines :

- *minimisation de l'espace mémoire utilisé*
- *$4^N$  cellules de même taille*



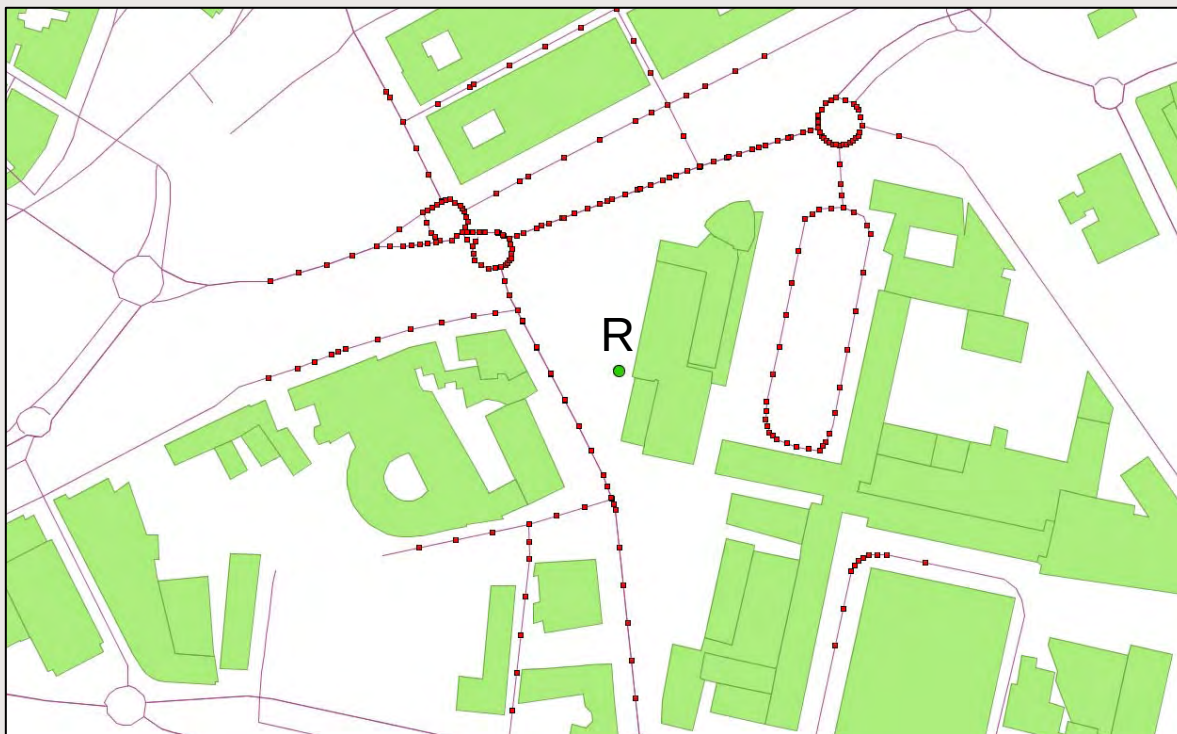
# Réalisation du maillage (points de calcul)



## Triangulation (Delaunay) d'un sous-domaine :

- *plusieurs « passes »*
- *continuité entre sous-domaines*
- *intégration des lignes sources et du bâti*
- *maillage avec contrainte sur la forme des mailles*
- *ajout de points de Steiner*

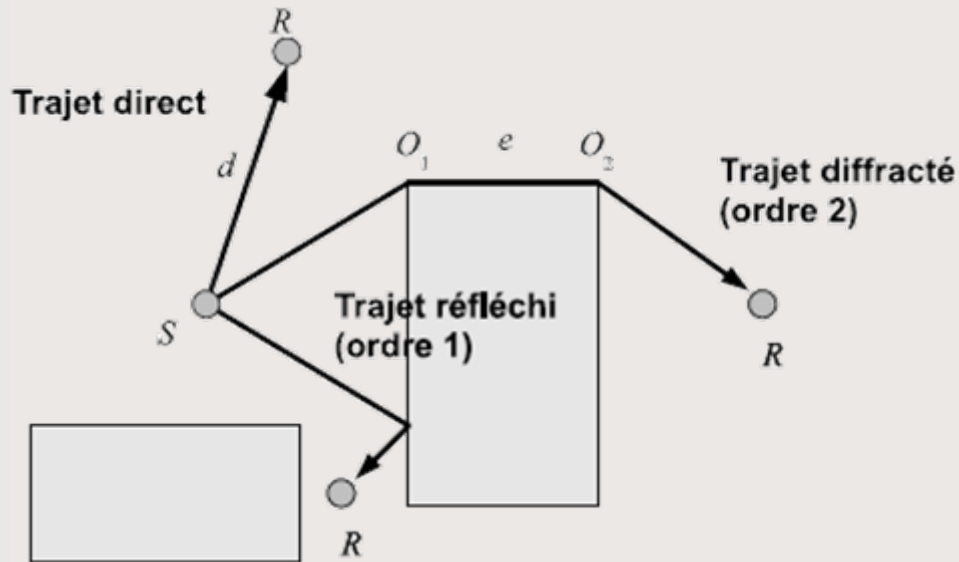
# Calcul de la propagation acoustique



Décomposition  
des lignes  
sources en  
points sources :

- *Décomposition propre à chaque point de calcul (optimisation)*
- *prise en compte des sources hors du sous-domaine*

# Calcul de la propagation acoustique



$$L_{R,A} = L_W - A_{\text{div}} - A_{\text{atm}} - A_{\text{sol}} - A_{\text{dif}},$$

$$L_W \Leftarrow L_{2W} = L_W + 3 \text{ dB} = L_W - A_{\text{sol}},$$

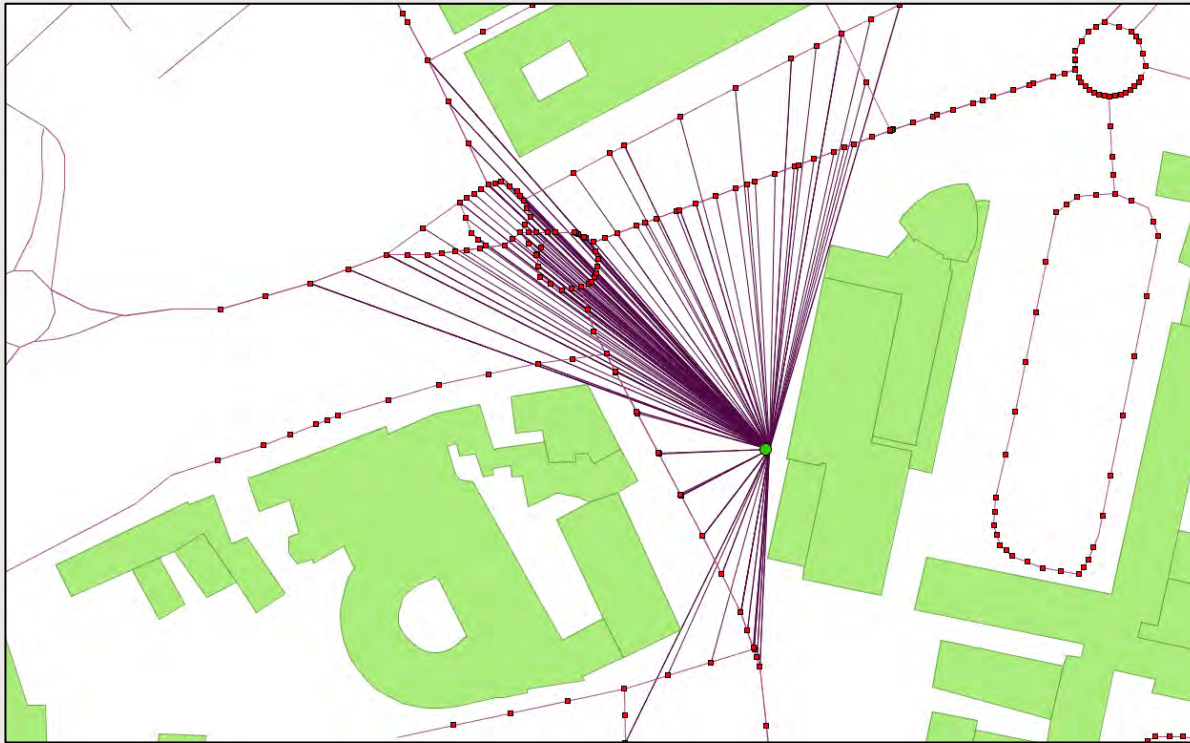
$$A_{\text{atm}}(R) = \frac{10}{\ln 10} m_{\text{air}} R = \alpha_{\text{air}} \frac{R}{1000},$$

## Principe du calcul :

- Calcul du **champ direct** :
  - Test de collision « maille à maille »
- Calcul du **champ réfléchi** (réflexion spéculaire à l'ordre  $n$ )
  - Méthode des sources-images
- Calcul du **champ diffracté** (diffraction à l'ordre  $m$ )
  - Détection des arêtes



# Calcul de la propagation acoustique



Détection du champ direct entre les points sources et le maillage :

- *méthode d'optimisation*

$$A_{\text{div}}(R) = 10 \log 4\pi + 20 \log R \approx 11 + 20 \log R.$$

# Calcul de la propagation acoustique



$n=1$

Détermination du champ réfléchi (spéculaire) entre les points sources et le maillage :

- *Méthodes des sources-images*



$n=2$

$$L'_W = L_W + n \times 10 \log (1 - \alpha_{\text{bâti}}) .$$

# Calcul de la propagation acoustique



$m=1$



$m=2$

## Détermination du champ diffracté

- *Détermination des arêtes de diffraction*

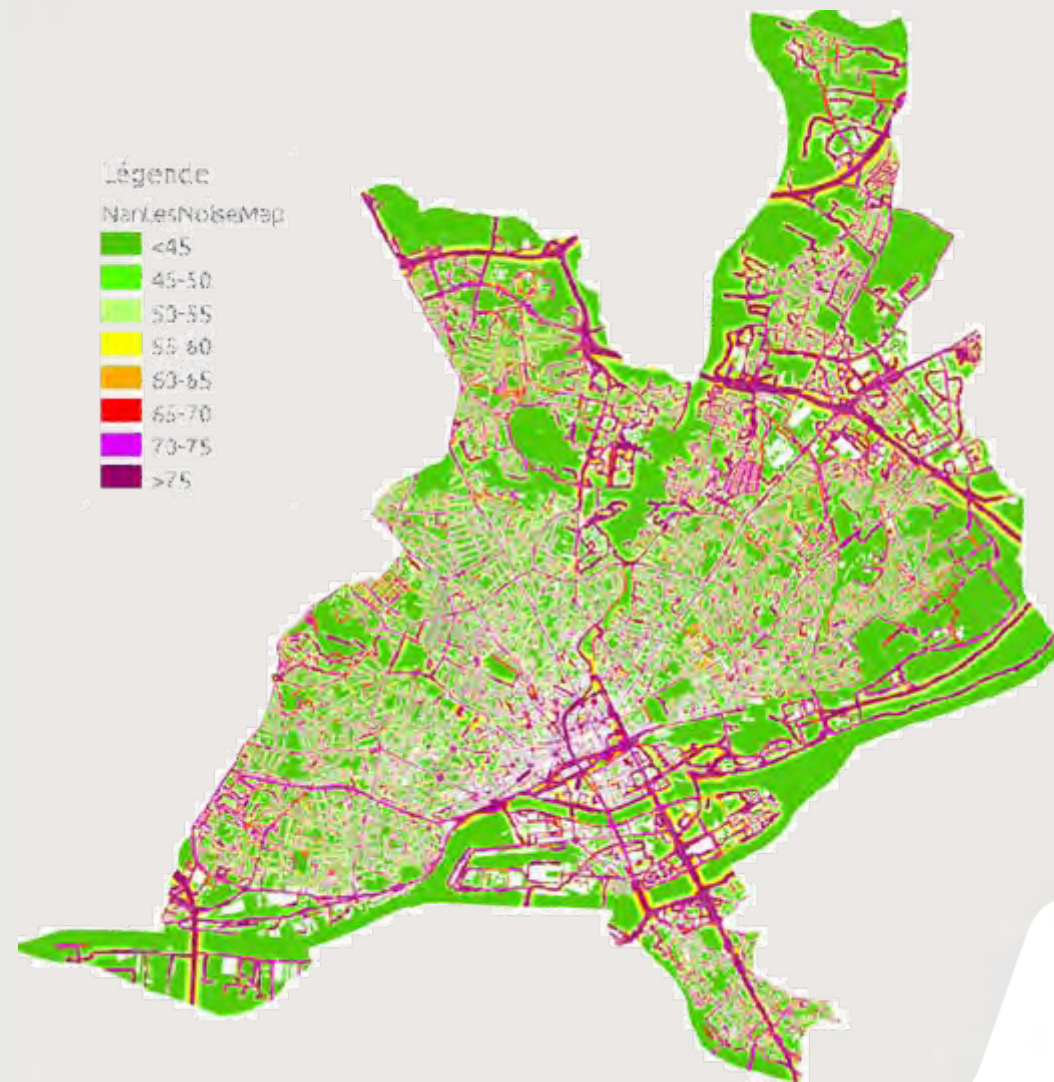
$$A_{\text{dif}}(R_m, d) = \begin{cases} 10 \log \left( 3 + \frac{40}{\lambda} C'' \delta \right) & \text{si } \frac{40}{\lambda} C'' \delta \geq -2 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\delta = S O_1 + \sum_{i=1}^{N-1} (O_i O_{i+1}) + O_N R - d = S O_1 + e + O_N R - d = R_m - d,$$

$$C'' = \begin{cases} 1 & \text{si } M = 1 \\ \frac{1 + (5\lambda/e)^2}{1/3 + (5\lambda/e)^2} & \text{sinon} \end{cases}$$



# Production des cartes de bruit



## Calcul et représentation graphique avec iso-contours

**Calcul pour l'agglomération nantaise ( $n=1$ ,  $m=1$ )**  
**Station de calcul PC double cœur 2.13 GHz sous linux.**

Temps de traitement des polygones :  
100 963 ms  
Temps de calcul de Delaunay :  
1 340 149 ms  
Temps de calcul d'intersection bâtiment :  
875 870 ms  
Temps de calcul de réflexion spéculaire :  
7 666 800 ms  
Nombre de récepteurs :  
1 699 556  
Nombre de couples récepteur-source :  
345 458 979  
Nombre de tests d'intersection ligne bâtiment :  
1 260 477 849

**Temps total de calcul :**  
**4 850 secondes soit 1h20**



# Poursuite des travaux (ANR Eval-PDU)

- **Méthode de calcul :**
  - **Calcul du champ diffus** : détermination du coefficient de diffusion (analyse morphologique) et intégration dans OrbisGIS
  - Prise en compte plus spécifique des **bus** à envisager (suivant disponibilité des lois d'émission)
- **Validation de la méthode globale de production des cartes de bruit :**
  - Comparaison « qualitative » avec les cartes de bruit produites par Nantes Métropole (2002)
- **Application de la méthode :**
  - Production de cartes de bruit pour différents scénarii d'un PDU sur Nantes Métropole (*i.e.* plusieurs fichiers de trafic)



# Poursuite des travaux (OrbisGIS)

- **Intégration du module de production des cartes de bruit dans OrbisGIS**
  - Calcul acoustique sur serveur (Cloud computing)
  - Visualisation des cartes « à distance » et utilisation des nombreux outils de représentation graphique en ligne

[Lien web](#)



**Merci  
pour  
Votre  
attention**

**Ifsttar**

Centre de Nantes  
Route de Bouaye, CS 4  
44344 Bouguenais Cedex  
Tél. +33 (0)2 40 84 57 89  
Fax. +33 (0)2 40 84 59 92  
[www.ifsttar.fr](http://www.ifsttar.fr)  
[Judicael.Picaut@ifsttar.fr](mailto:Judicael.Picaut@ifsttar.fr)

