



Lire les Lignes de la Ville

Méthodologie de caractérisation des graphes spatiaux

Claire Lagesse

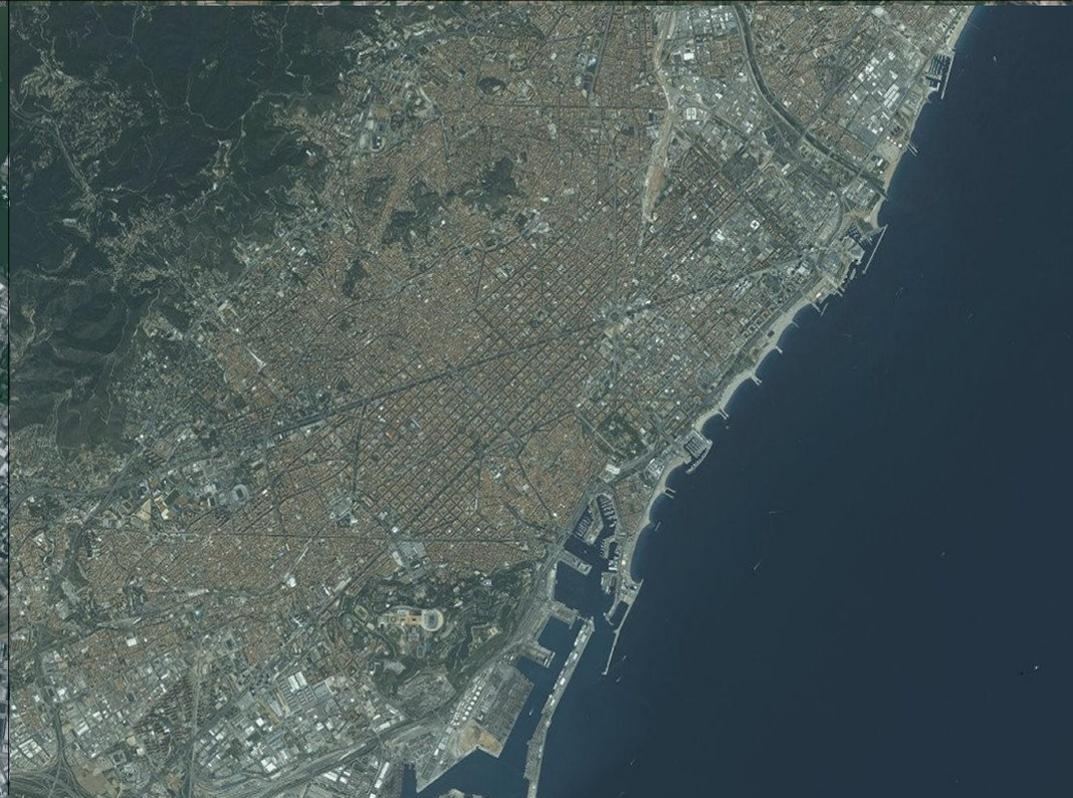
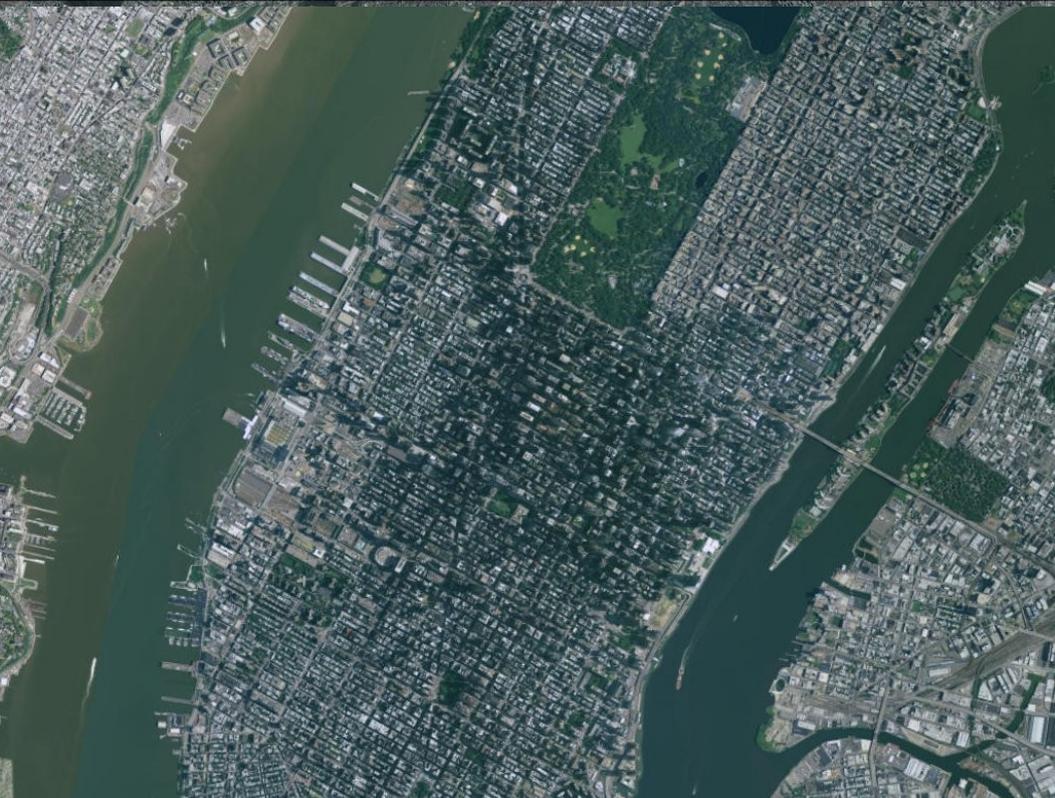
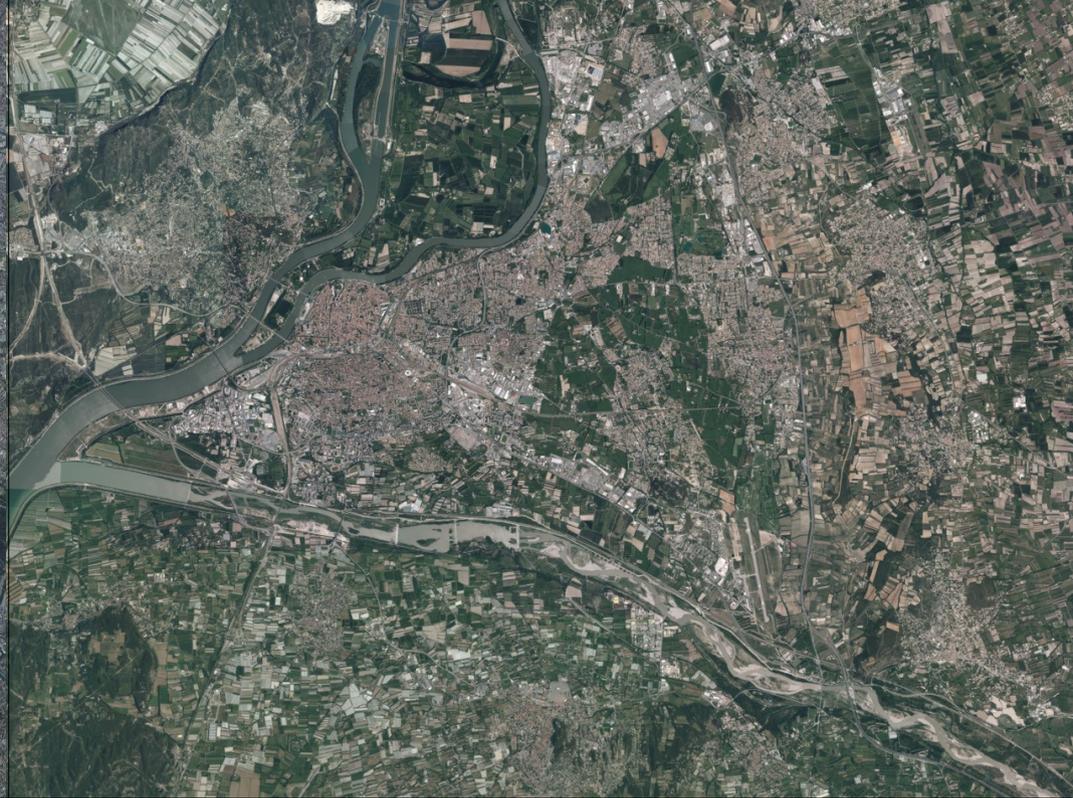
Laboratoire Matière et Systèmes Complexes

Université Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité

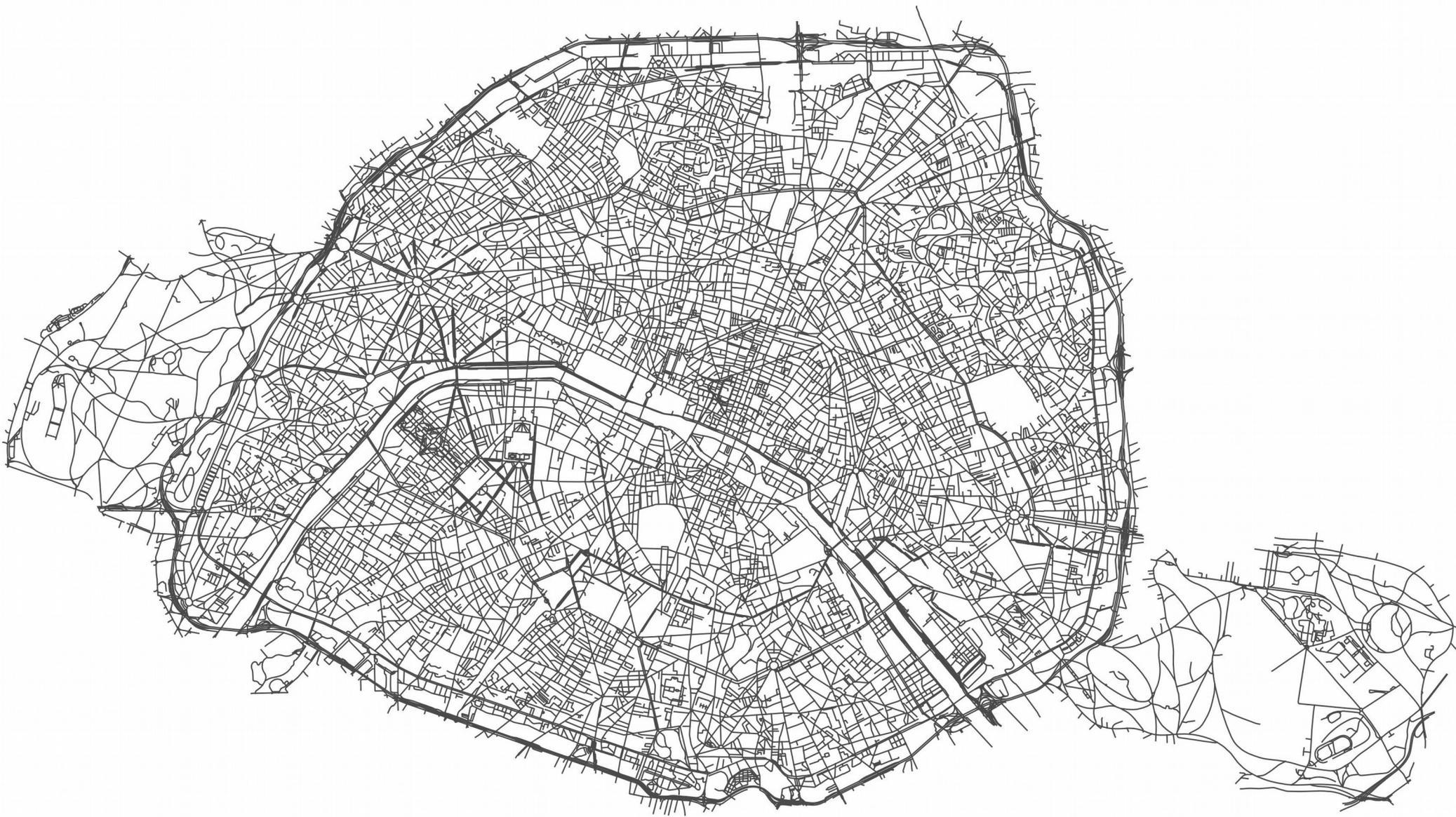
Directeurs : **S. Douady** (CNRS, P7) **P. Bordin** (ESTP, LIED)

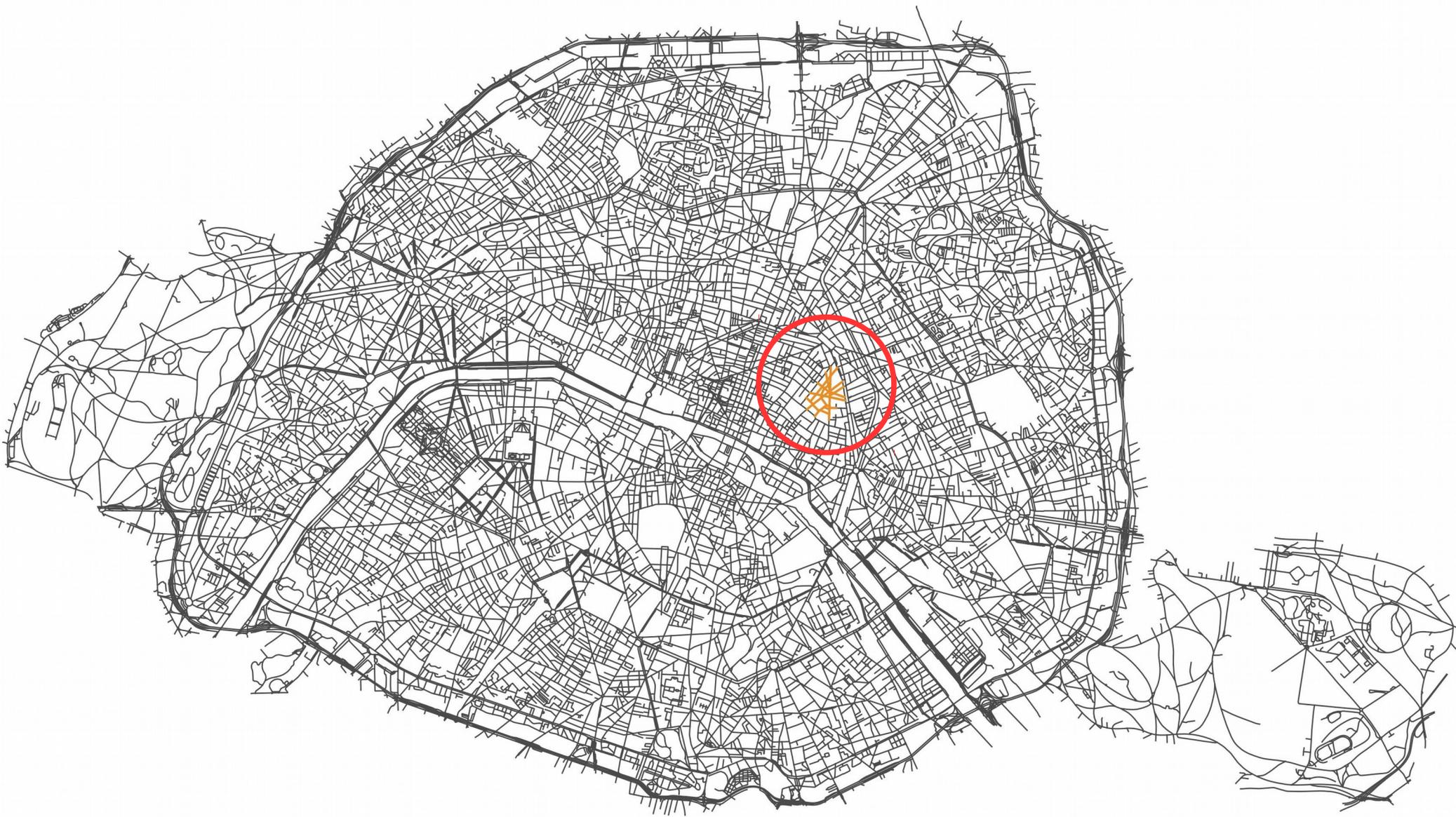
Soutenance de thèse - 25 septembre 2015

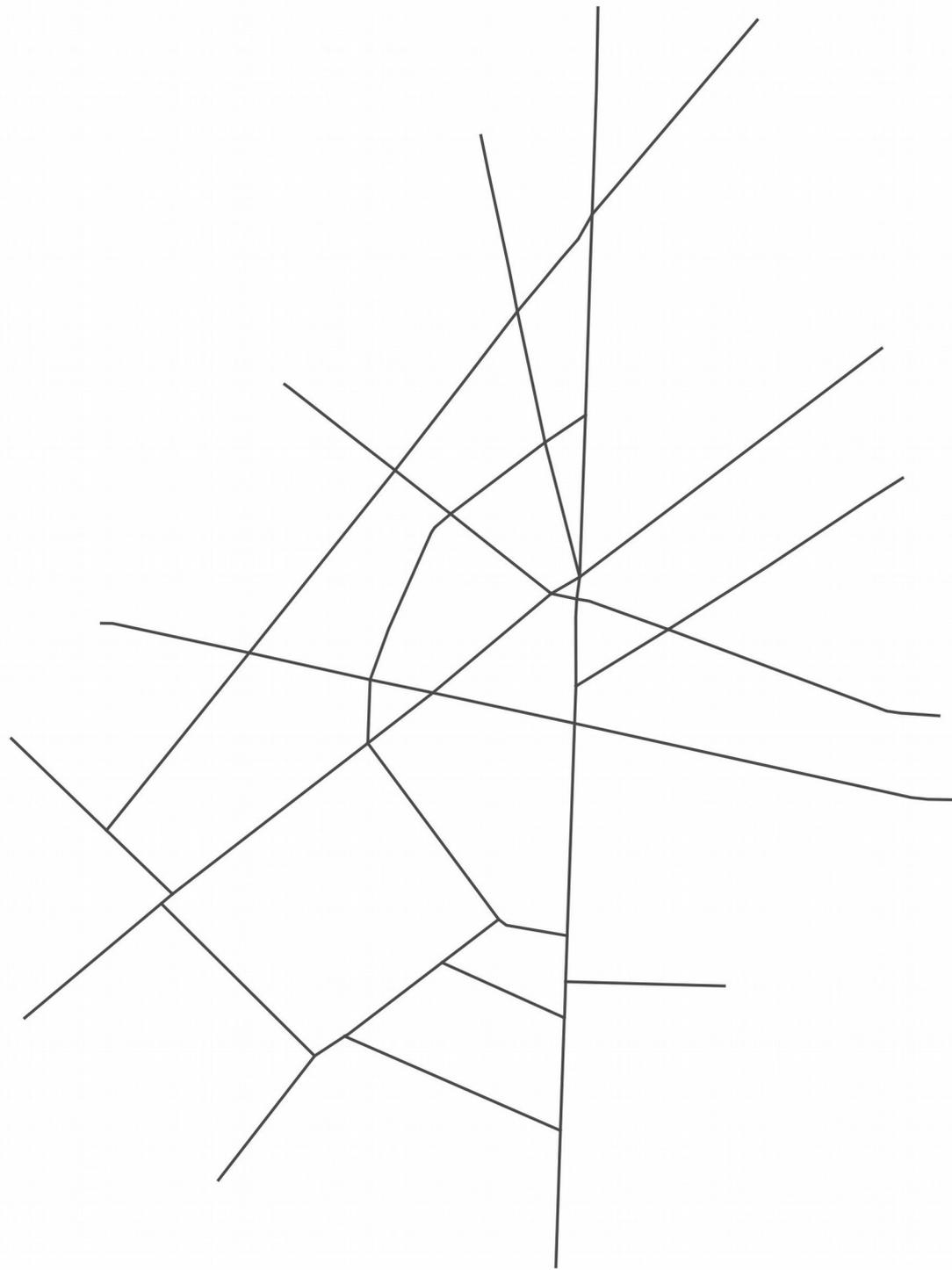




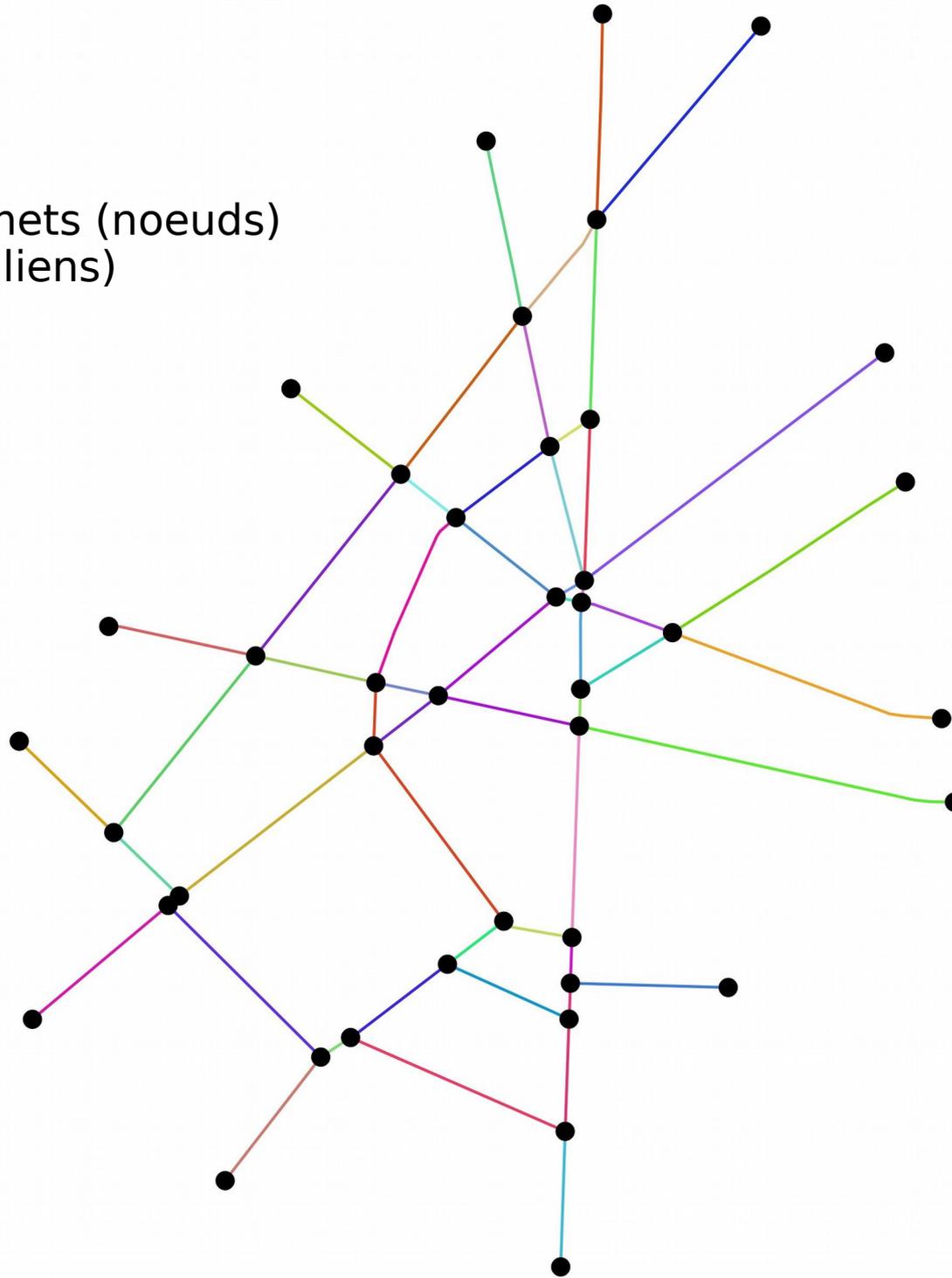




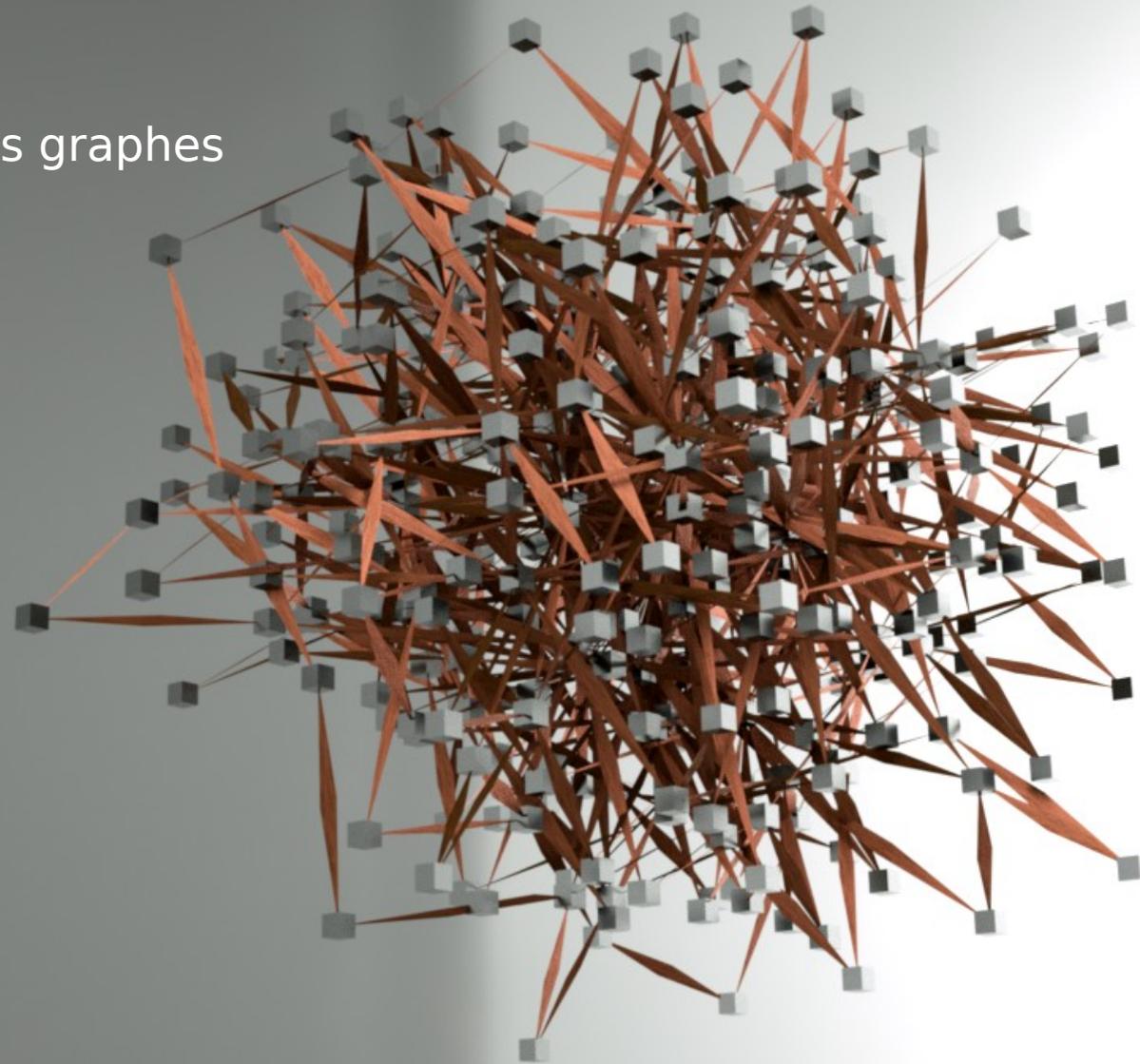




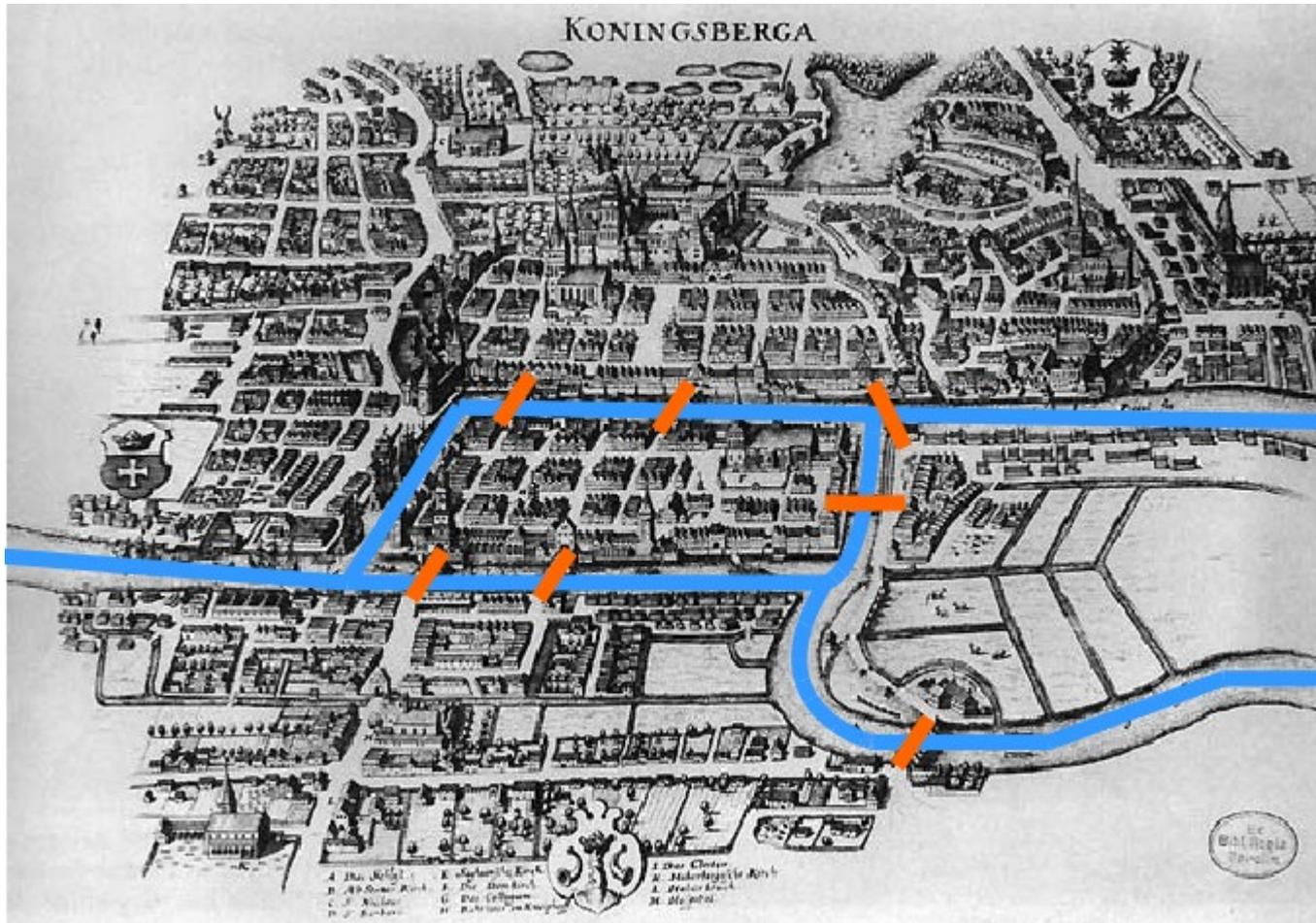
● Sommets (noeuds)
— Arcs (liens)

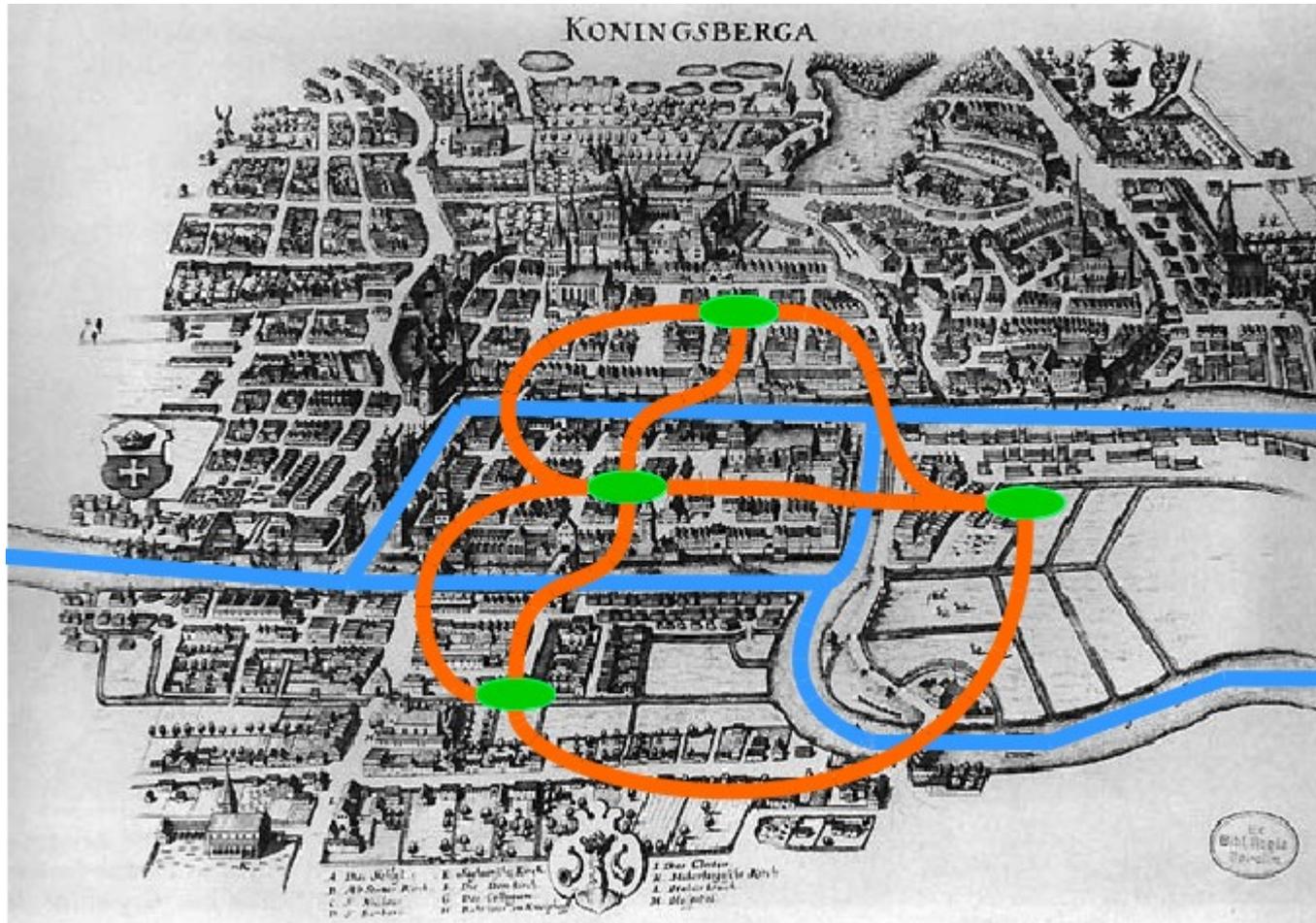


■ L'univers de la théorie des graphes

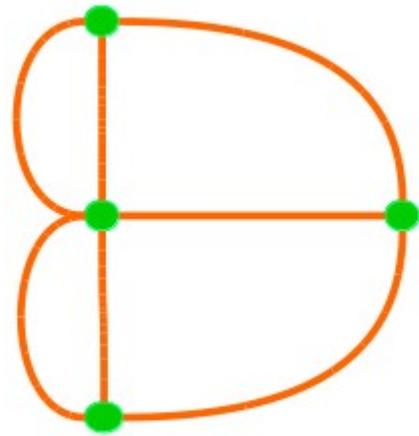






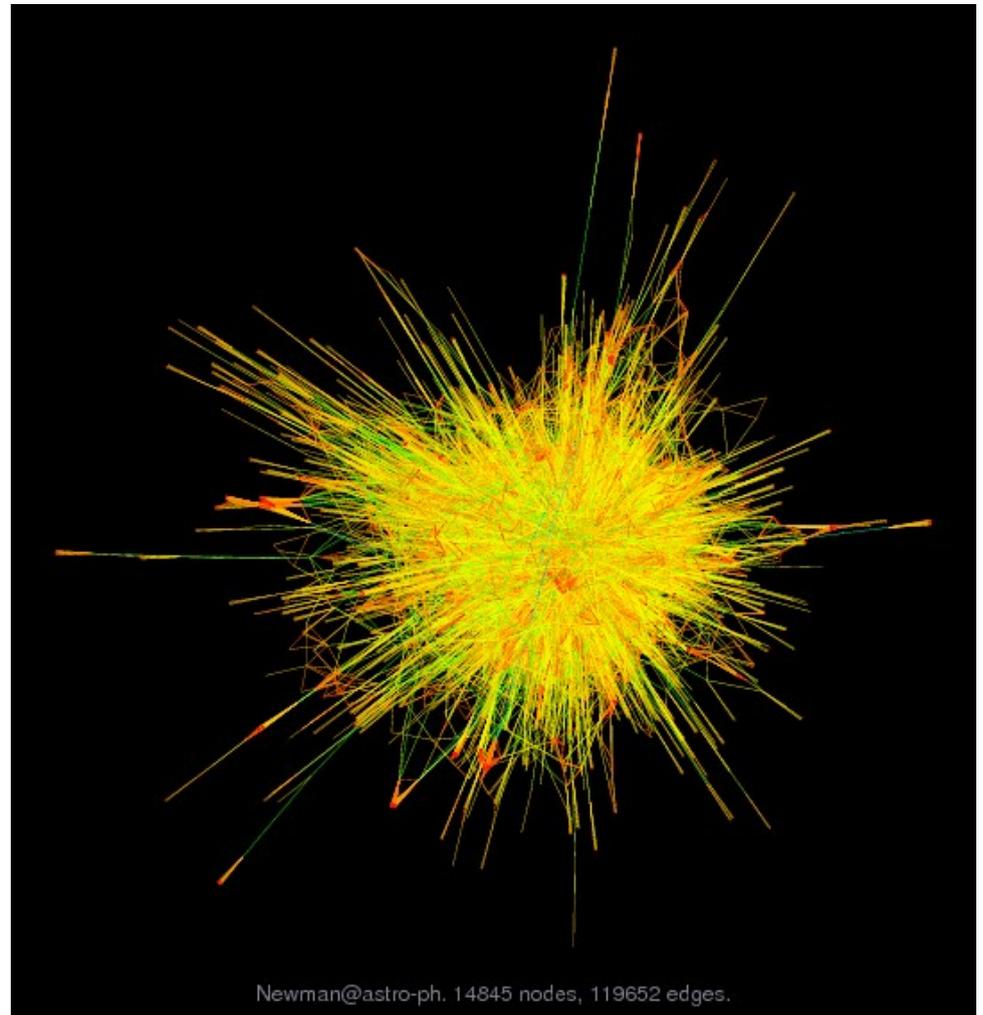


Euler (1736)





Réseau de liens sociaux (Mark Zuckerberg)

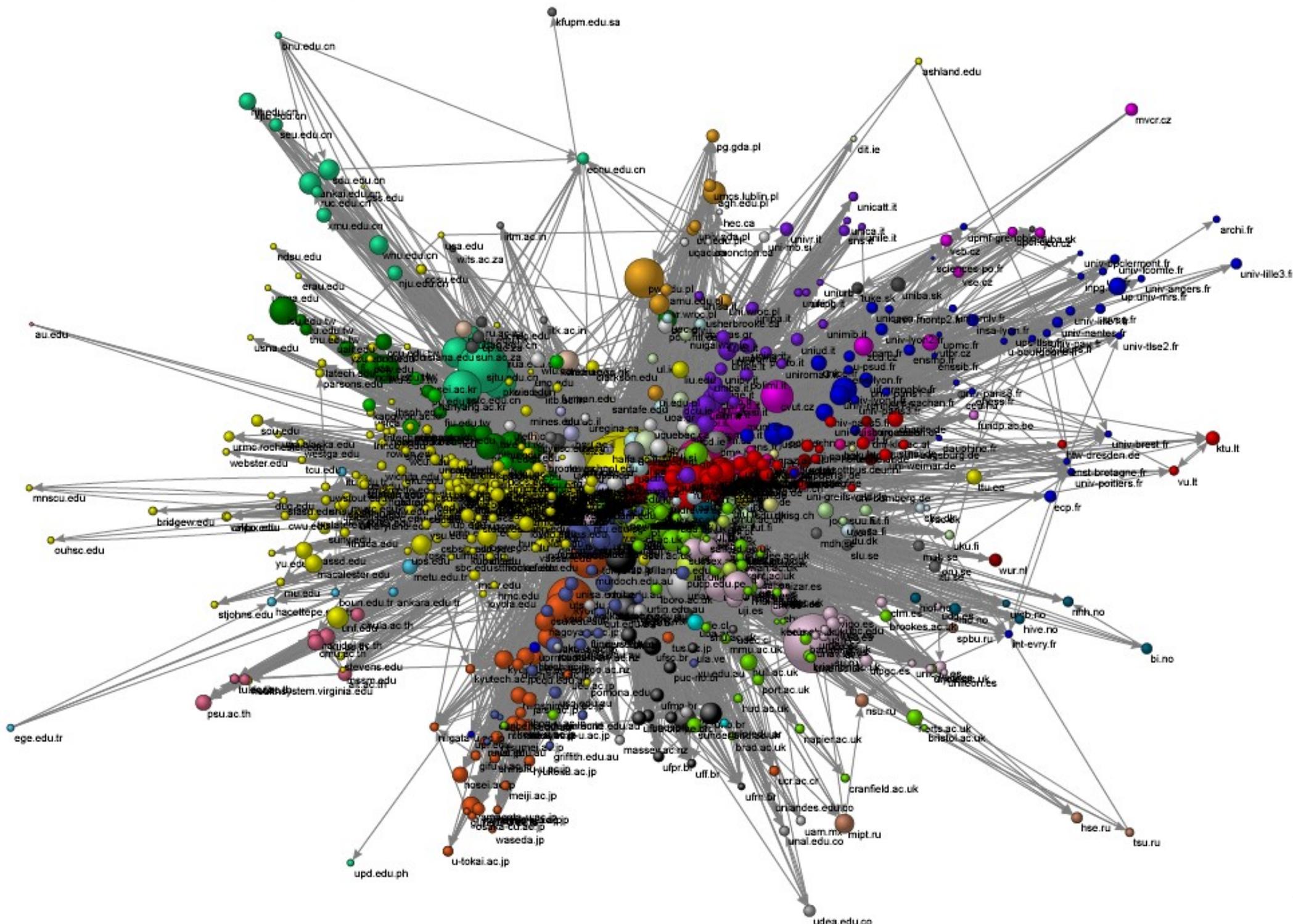


Réseau de collaborations (Mark Newman)
preprints in astrophysics archive, www.arxiv.org



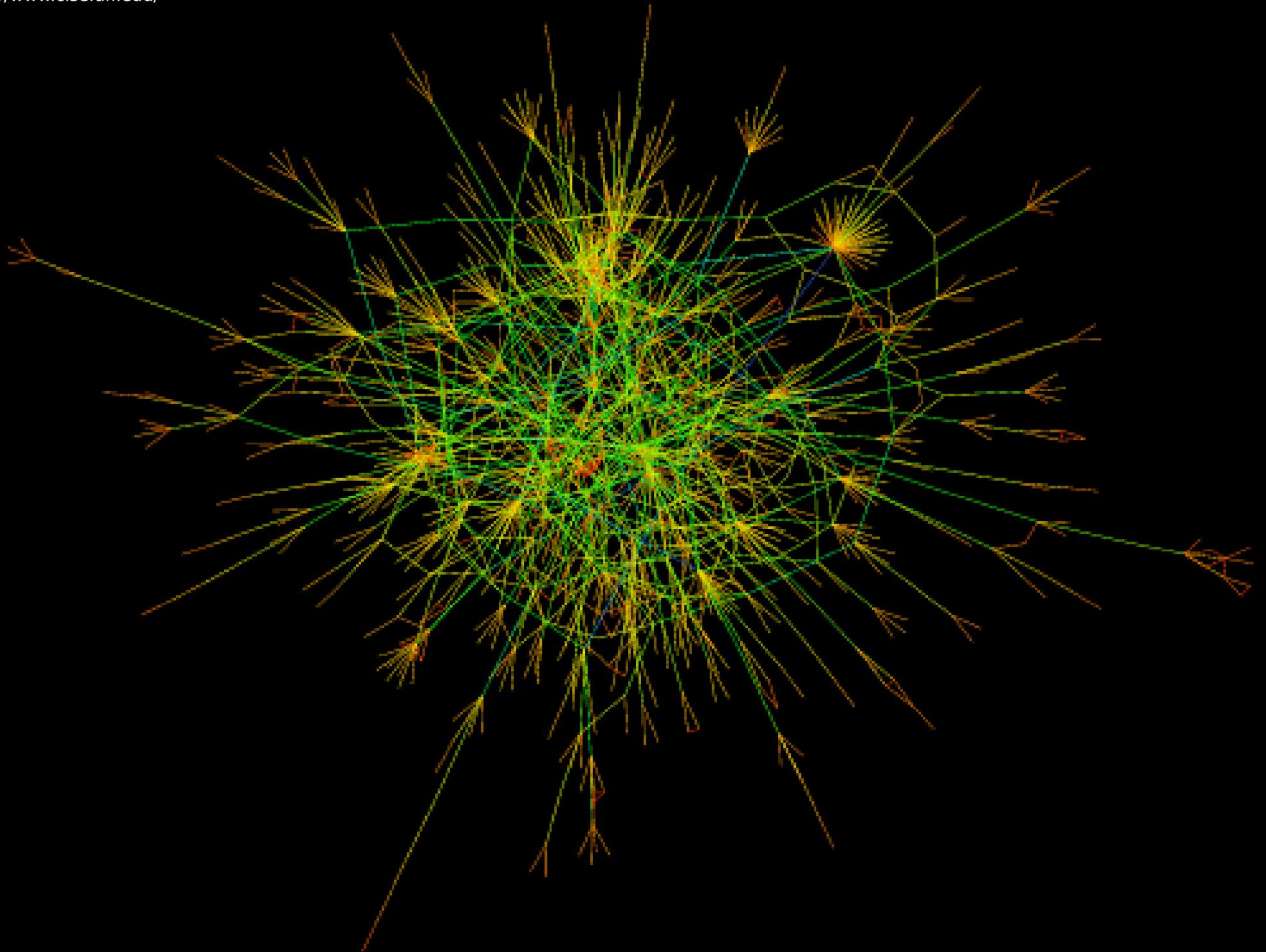
Réseau de collaborations entre Universités (Ortega, Aguillo)

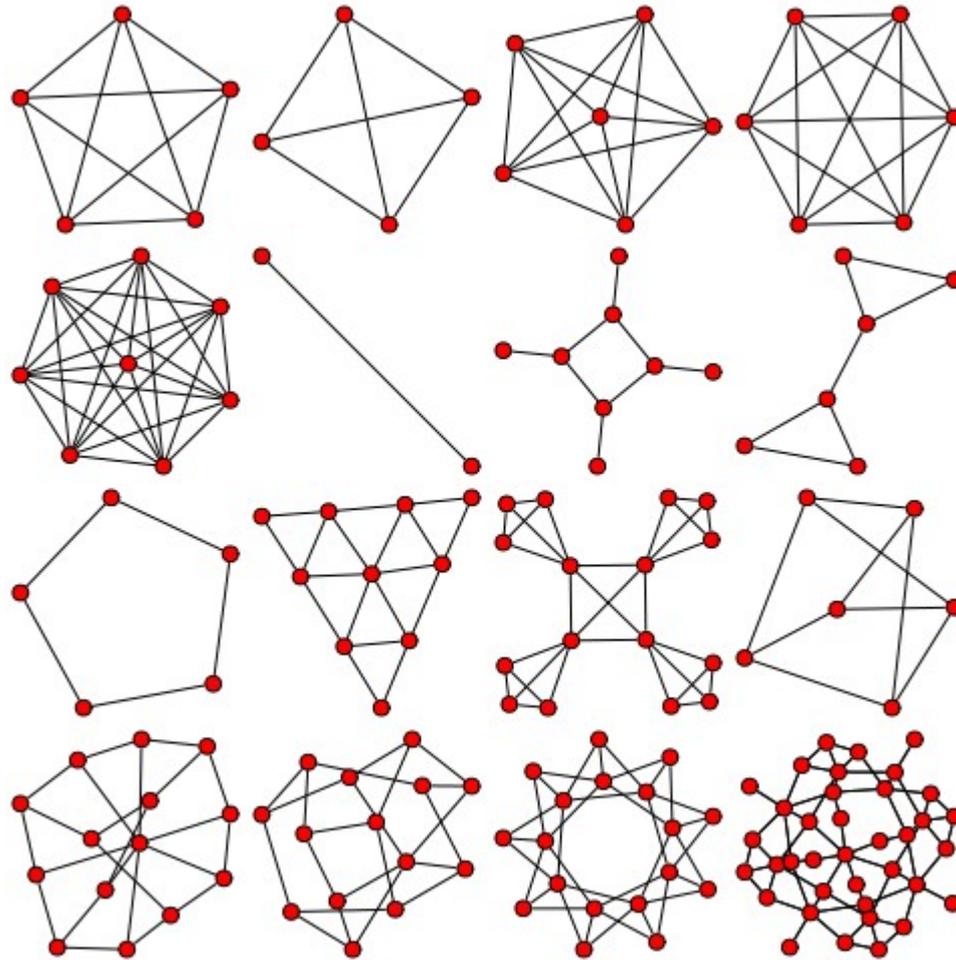
Published at Information Processing & Management, 2009. Vol 2 (March), 45: 272-279

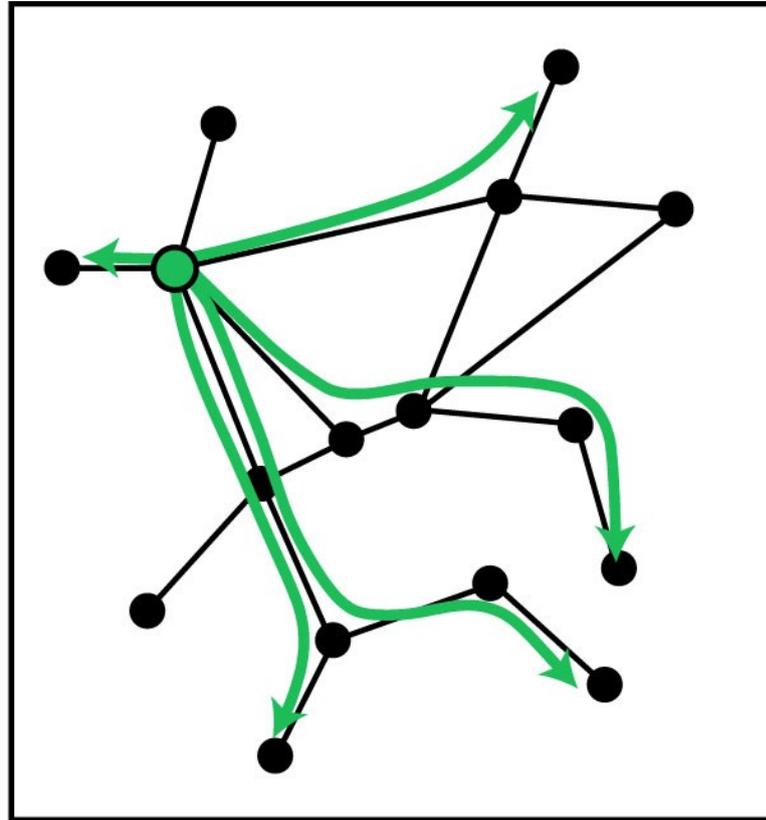
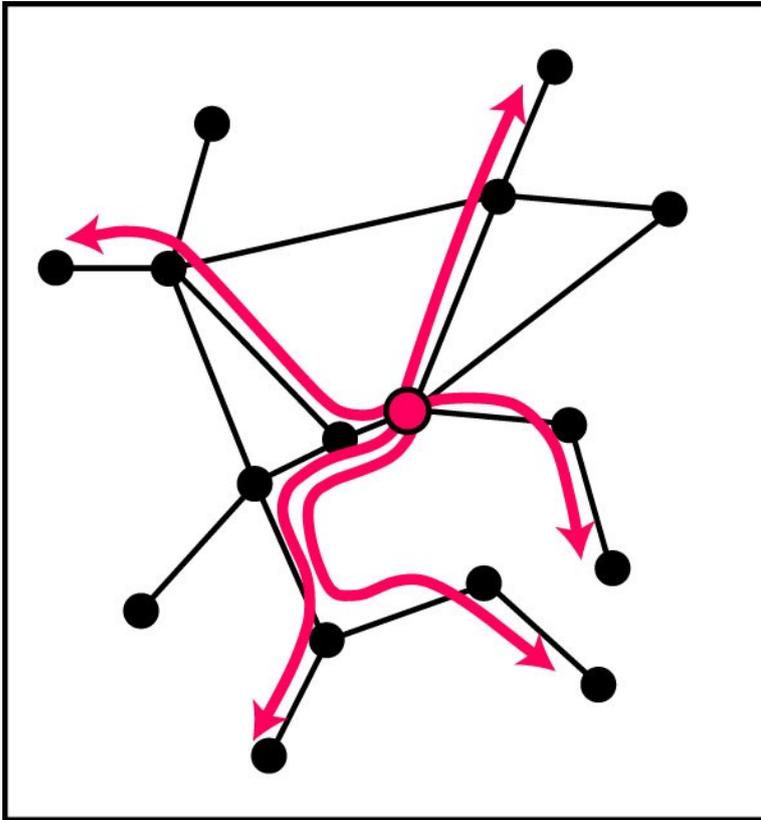


Réseau d'interactions entre protéines (Barabasi)

<http://www.cise.ufl.edu/>



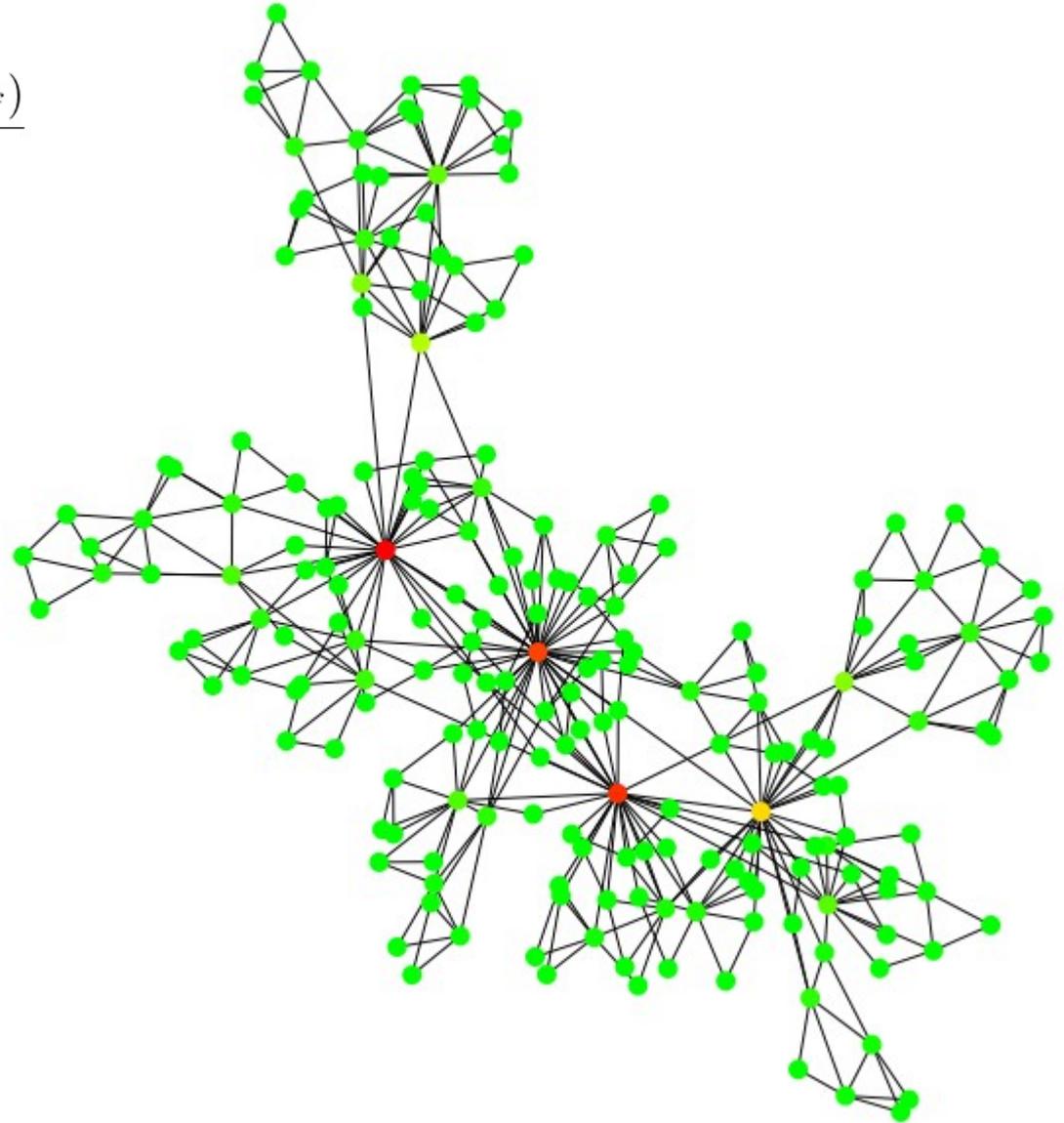
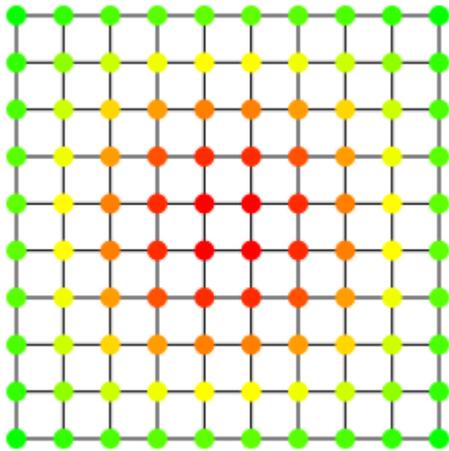




Jean-François Gleyze, « Effets spatiaux et effets réseau dans l'évaluation d'indicateurs sur les nœuds d'un réseau d'infrastructure », *Cybergeog* : European Journal of Geography

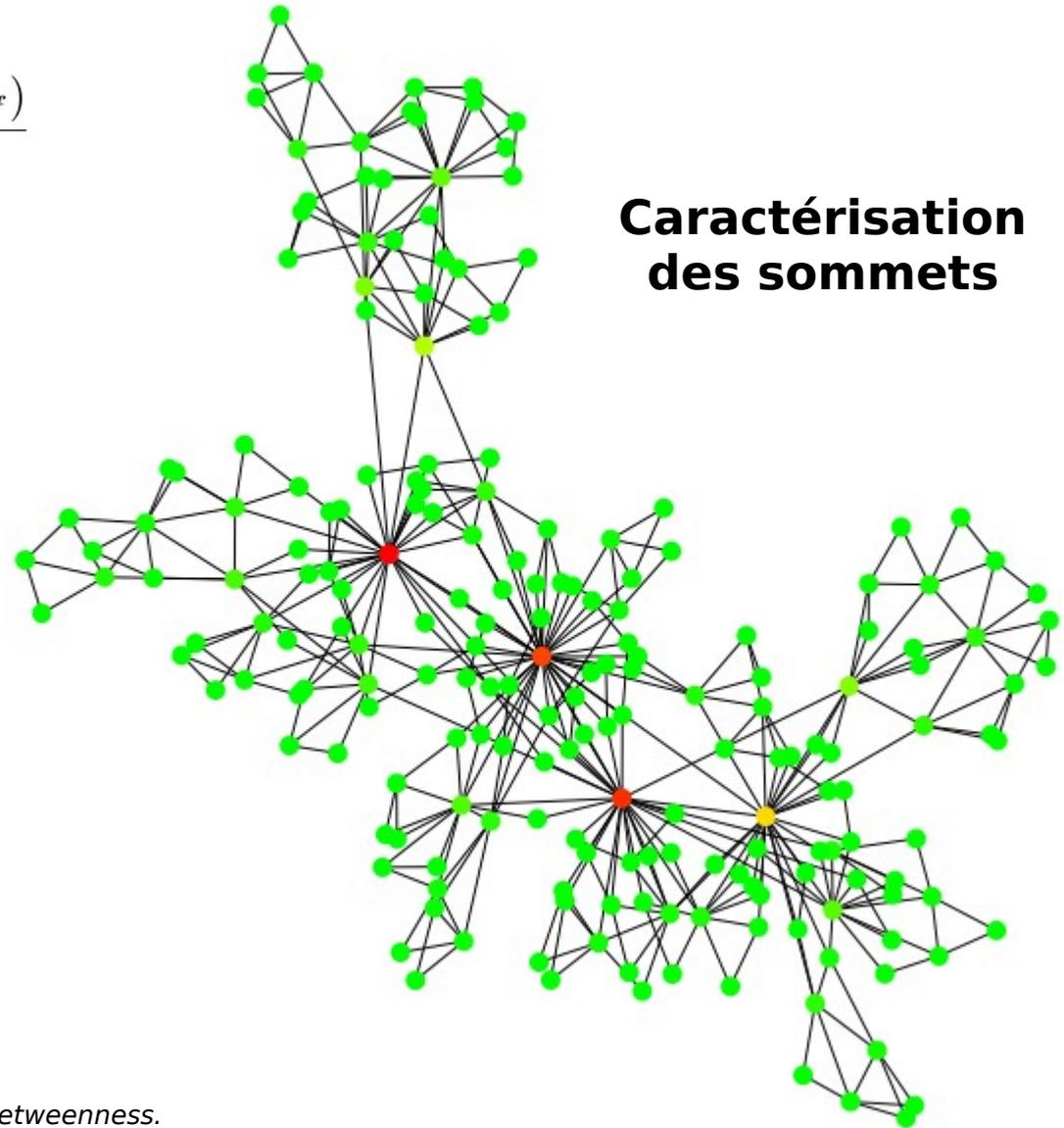
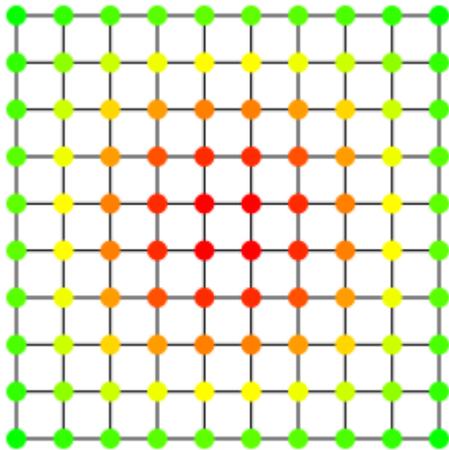
Betweenness centrality

$$\textit{betweenness}(s_{ref}) = \sum_{s_1 \neq s_2 \neq s_{ref} \in G} \frac{\sigma_{s_1 s_2}(s_{ref})}{\sigma_{s_1 s_2}}$$



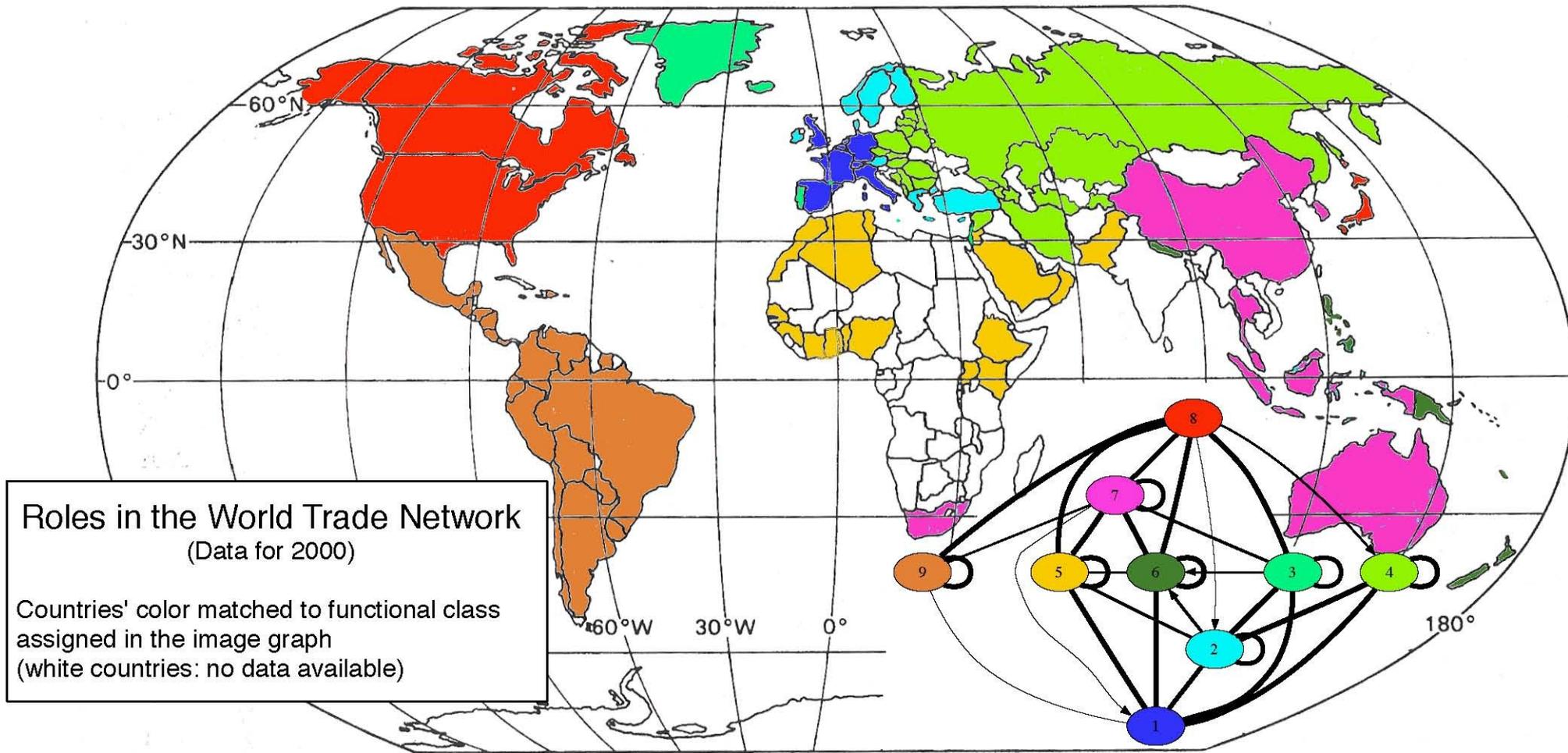
Betweenness centrality

$$betweenness(s_{ref}) = \sum_{s_1 \neq s_2 \neq s_{ref} \in G} \frac{\sigma_{s_1 s_2}(s_{ref})}{\sigma_{s_1 s_2}}$$



**Caractérisation
des sommets**

Freeman, L. C. (1977). *A set of measures of centrality based on betweenness*. *Sociometry*, pages 35-41.



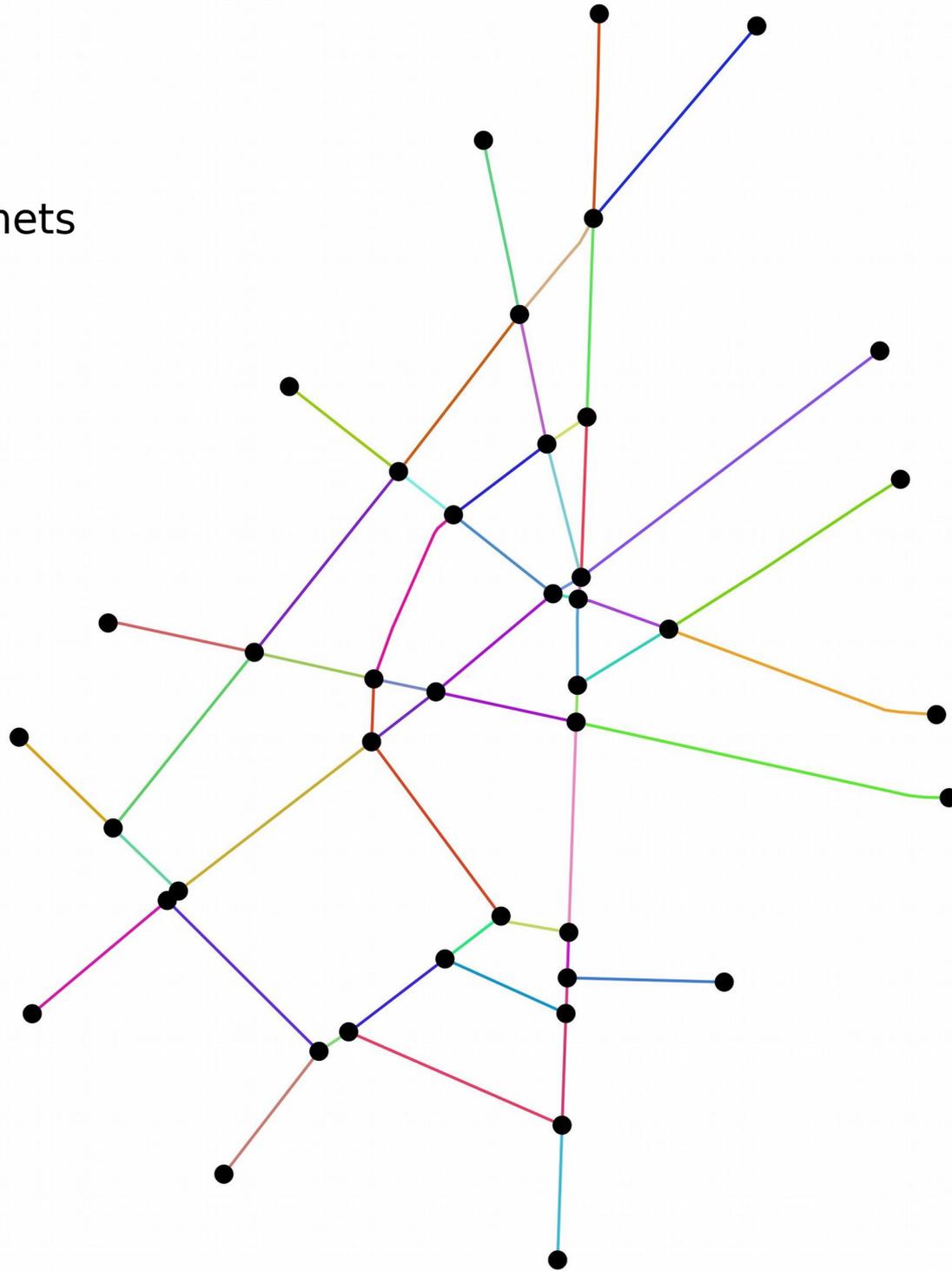
Reichardt and White, Europhysics News 39(1) 2008 "Highlights"
Software: Role Models for Complex Networks



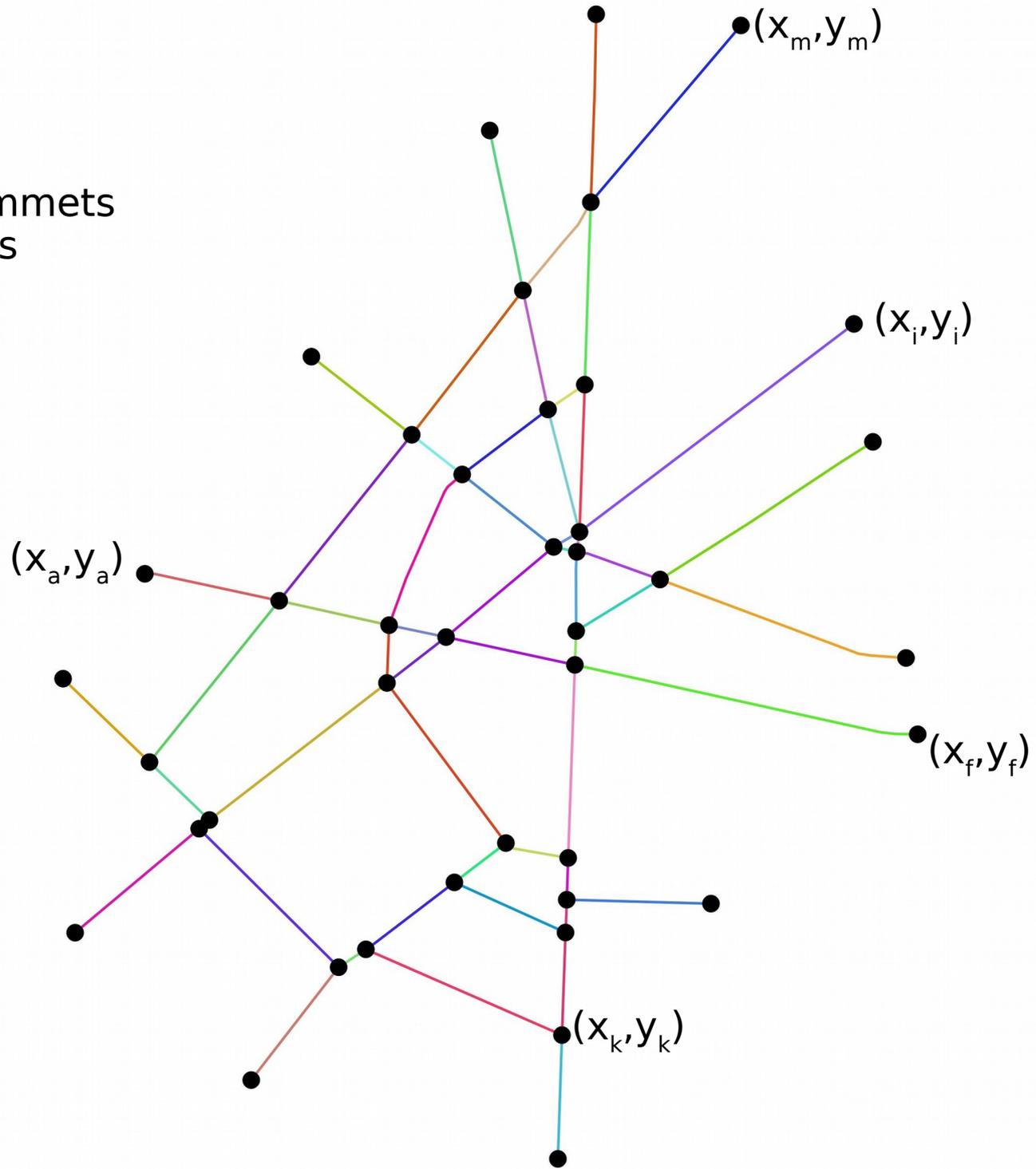
facebook

December 2010

● sommets
— arcs

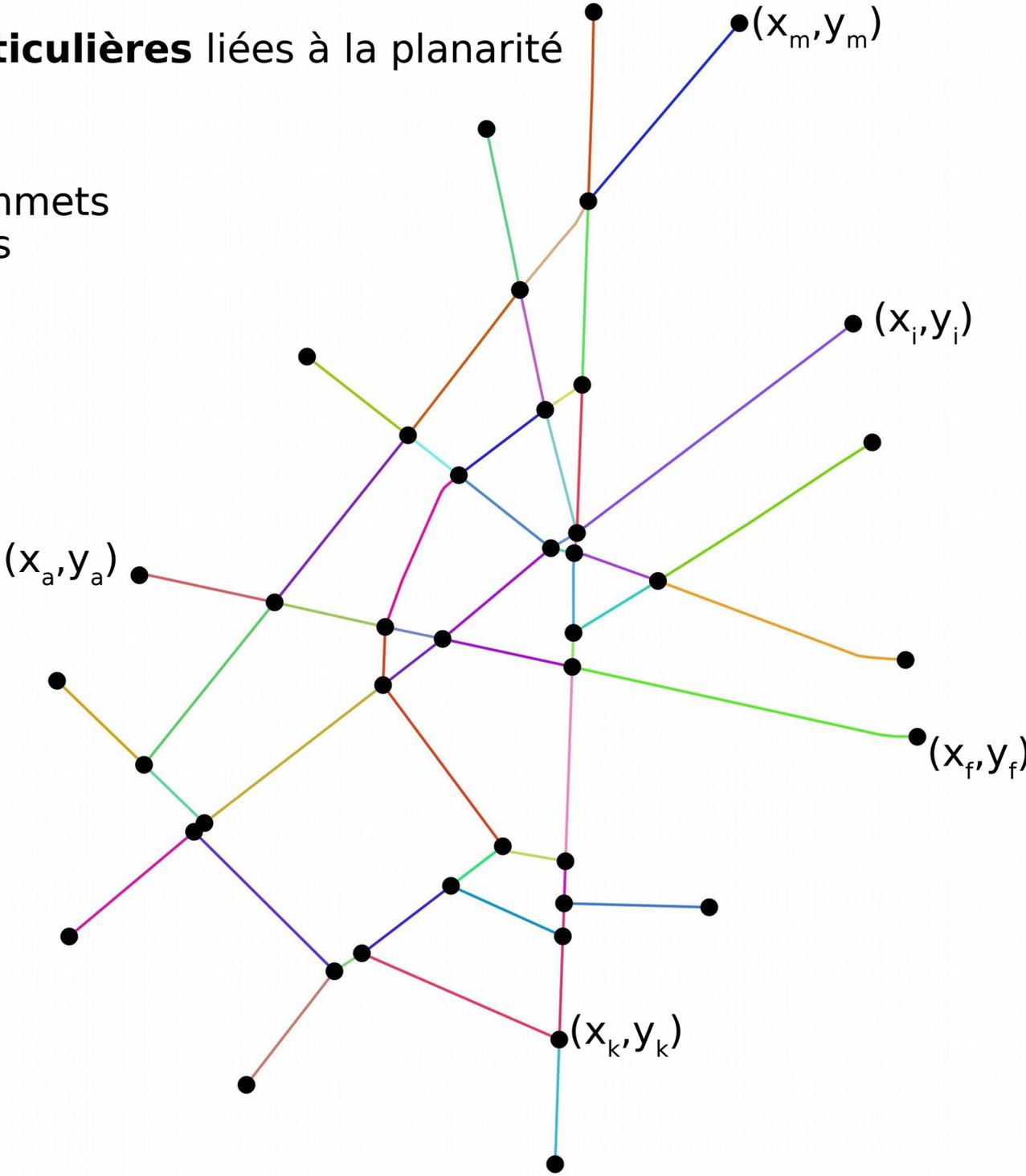


● sommets
— arcs



Contraintes particulières liées à la planarité

- sommets
- arcs







Le fil de la présentation

- I ■ Choix d'un **réseau complexe** pour lire la ville
 - **Décomposition structurelle**
 - **Caractérisation classique** d'un graphe spatial
- II ■ **Construction d'un objet** de lecture : *la voie*
 - **Écriture d'une grammaire** de caractérisation spatiale
 - **Particularités de la lecture** d'un graphe à travers la voie
- III ■ **Quantification des modifications** structurelles
 - Lecture de **projets urbains**
 - Lecture de la **cinématique d'une ville**

Ouverture

Le fil de la présentation

I ■ Choix d'un **réseau complexe** pour lire la ville

■ ———— **Décomposition structurelle**

■ ———— **Caractérisation classique** d'un graphe spatial

II ■ Construction d'un objet de lecture : *la voie*

■ ———— Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale

■ ———— Particularités de la lecture d'un graphe à travers la voie

III ■ Quantification des modifications structurelles

■ ———— Lecture de projets urbains

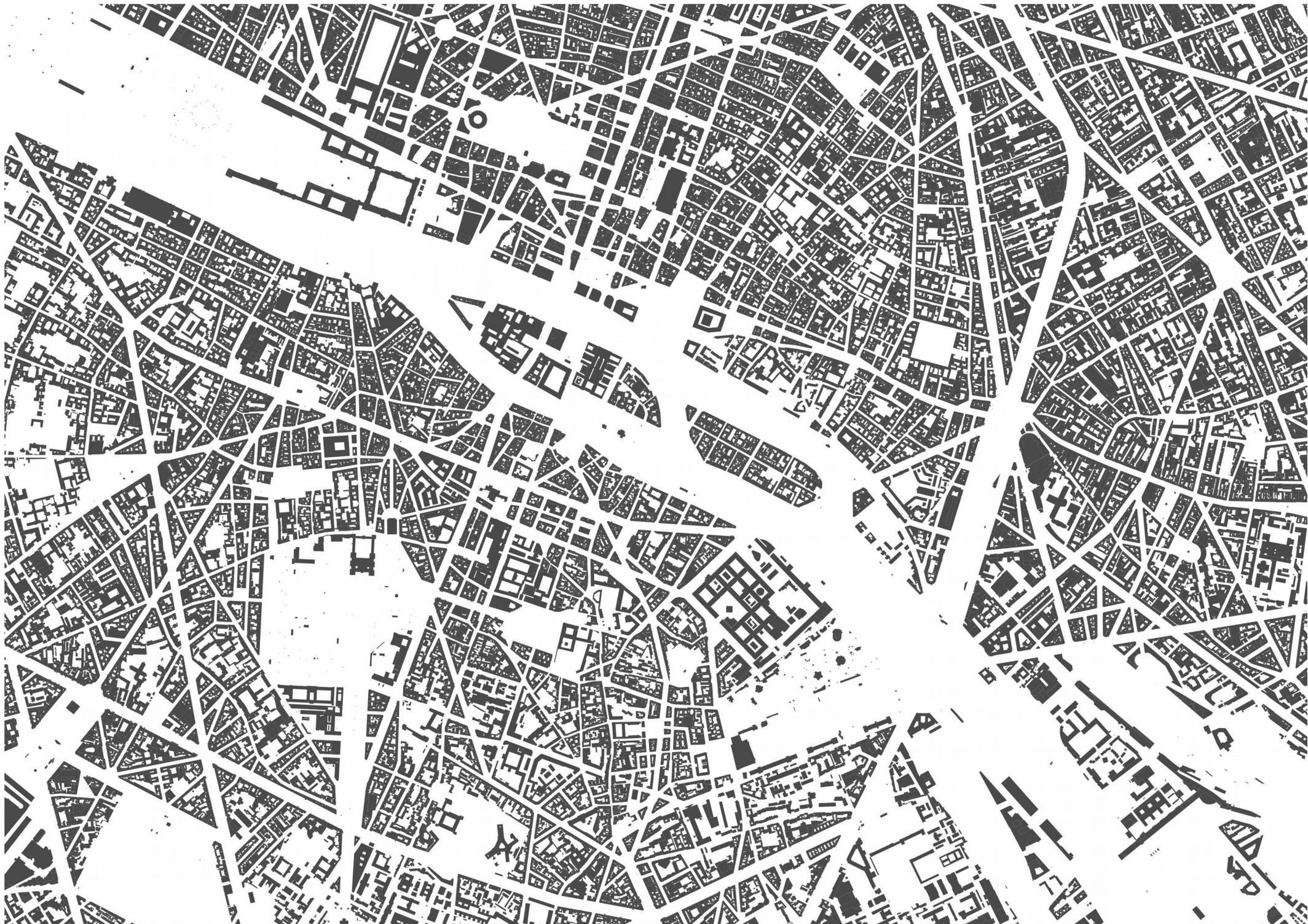
■ ———— Lecture de la cinématique d'une ville

Ouverture

Choix d'un réseau complexe pour lire la ville



Choix d'un réseau complexe pour lire la ville



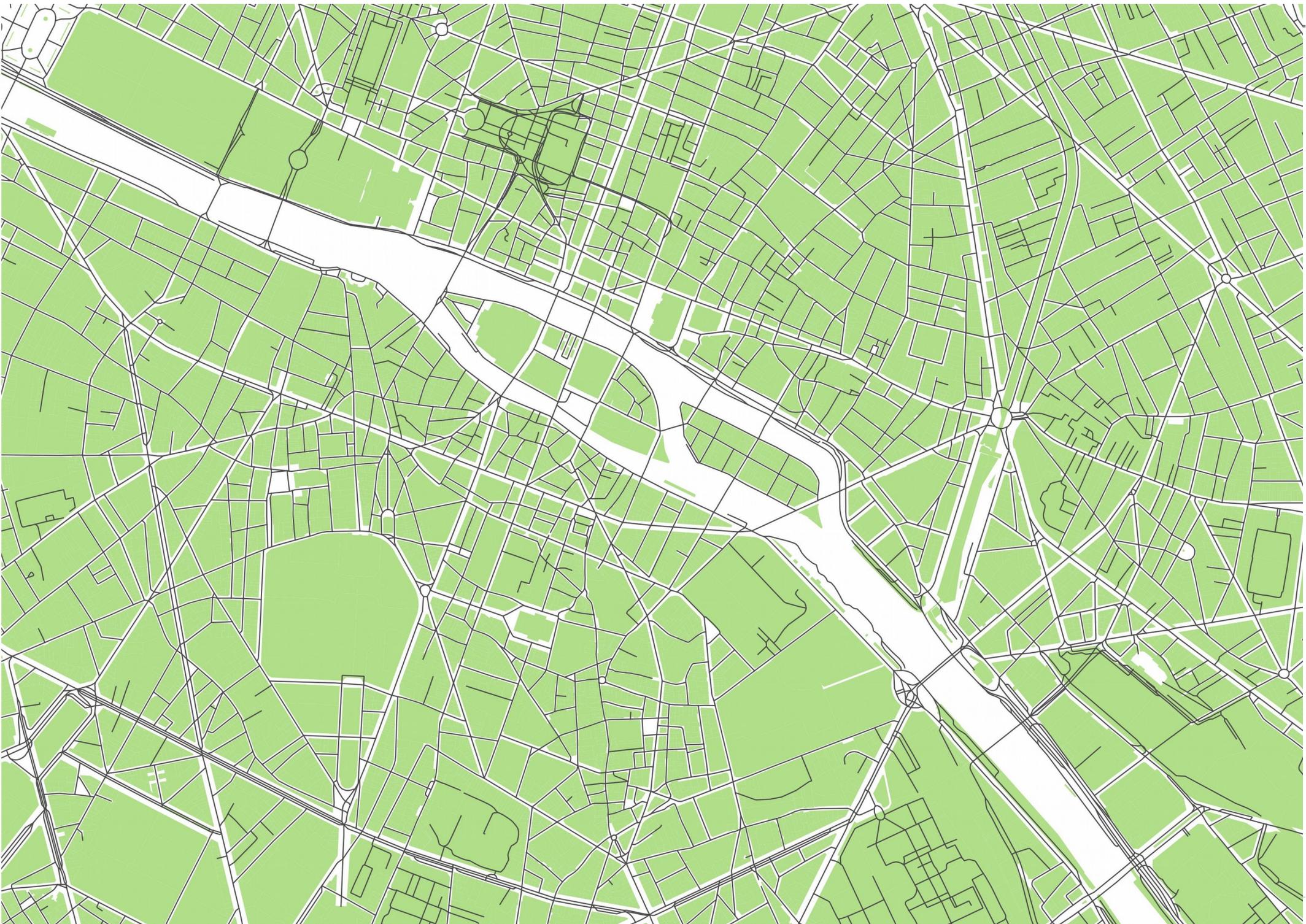
Choix d'un réseau complexe pour lire la ville



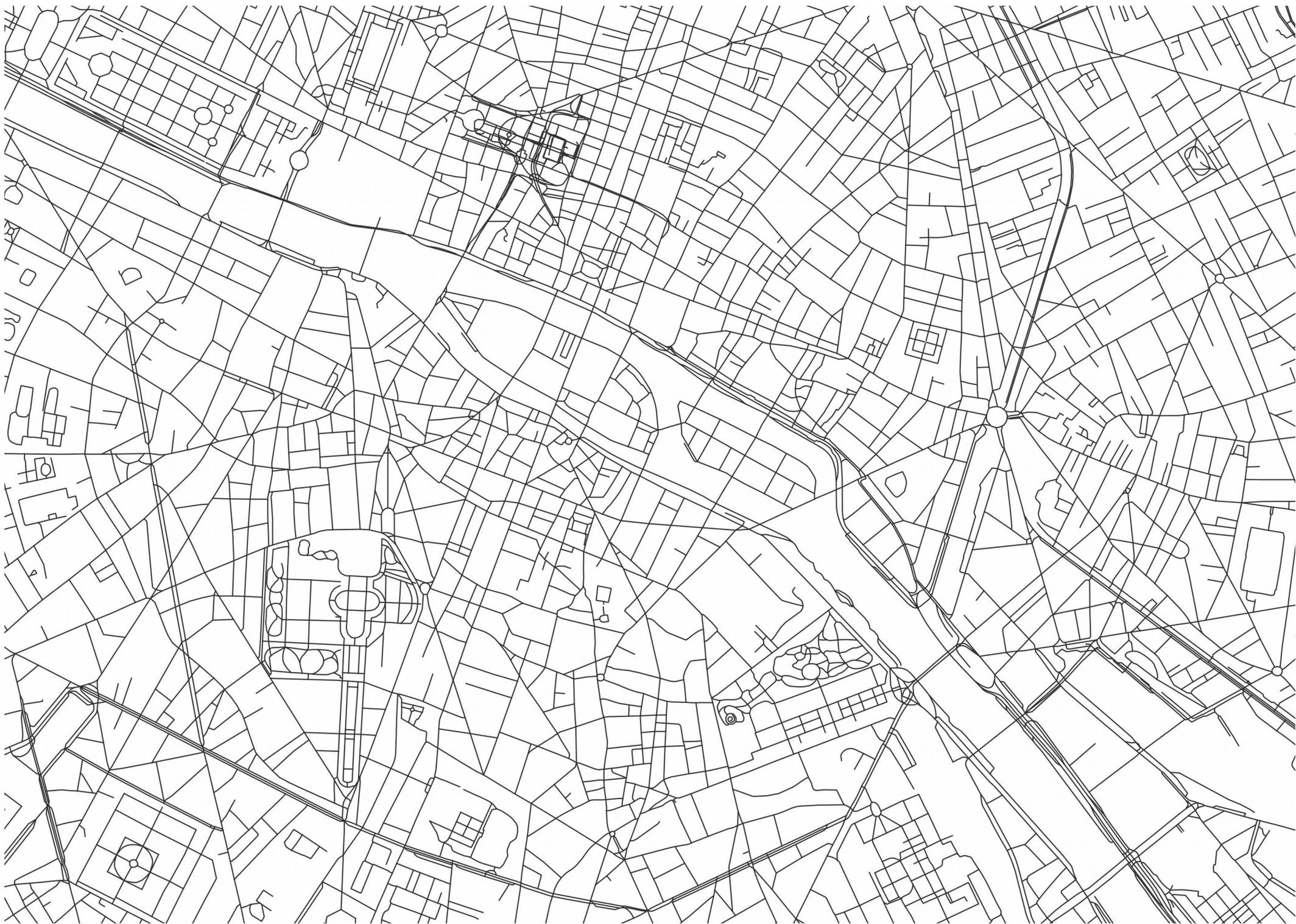
Choix d'un réseau complexe pour lire la ville



Choix d'un réseau complexe pour lire la ville

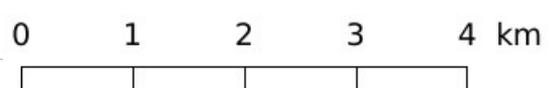
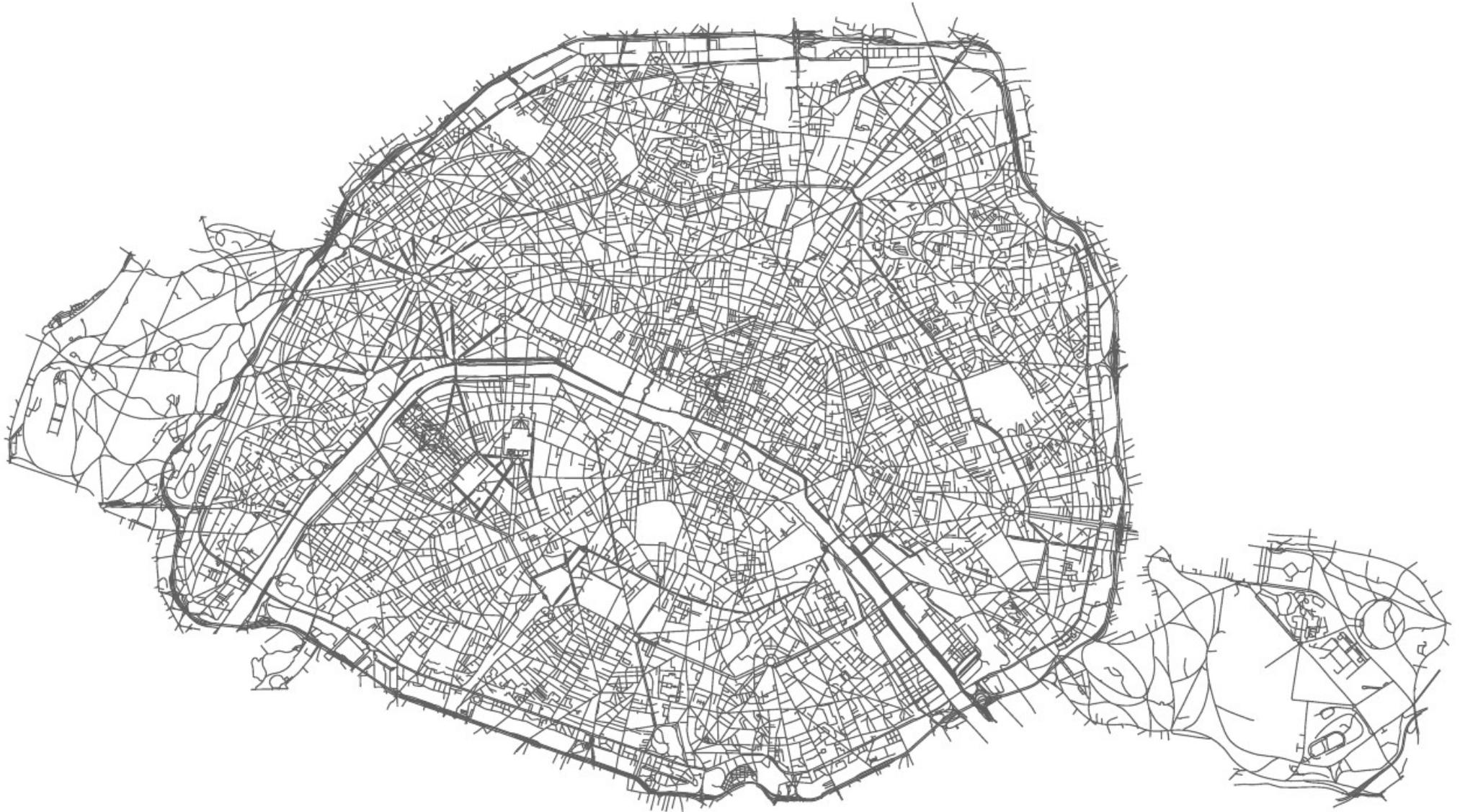


Choix d'un réseau complexe pour lire la ville





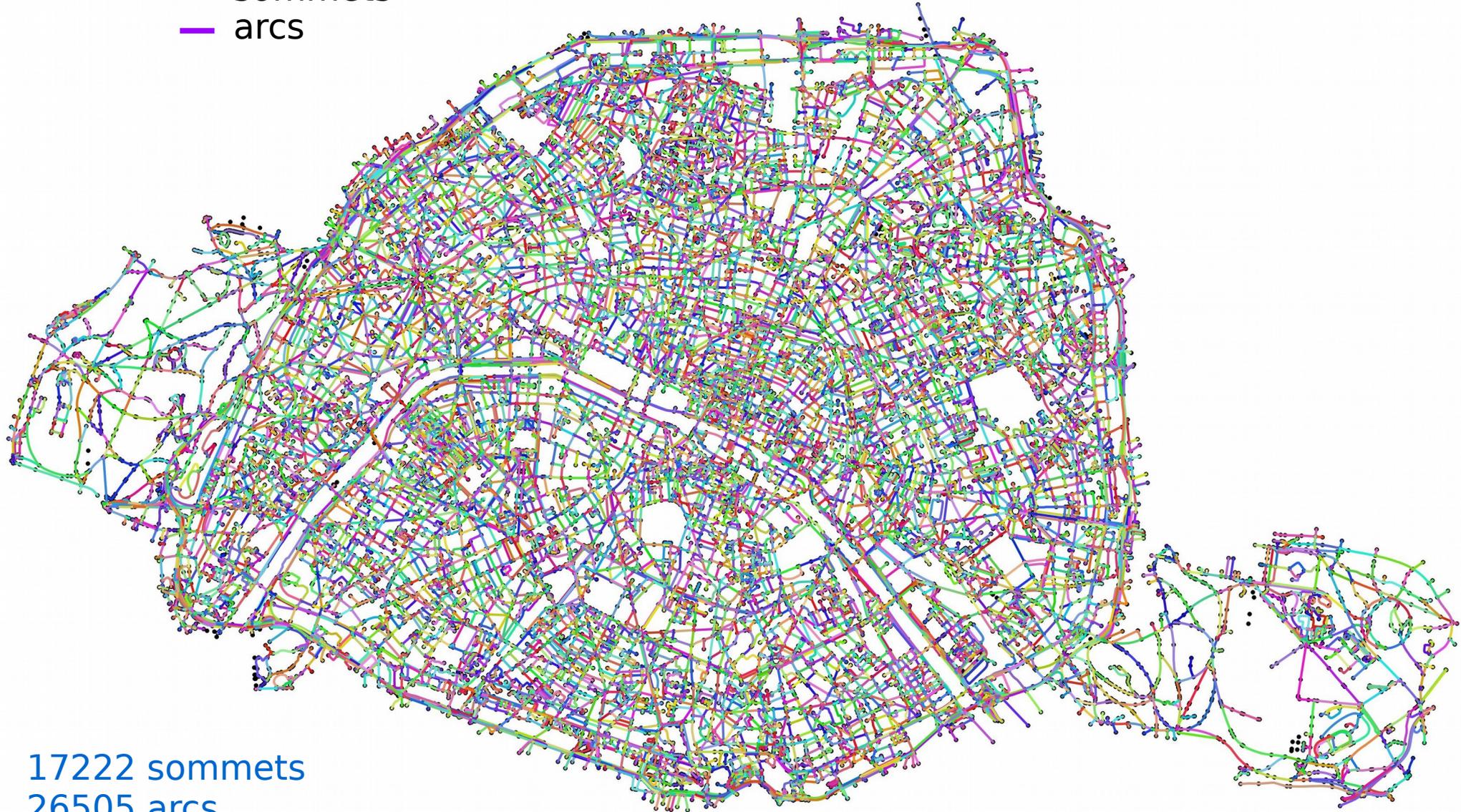
Paris



Choix d'un réseau complexe pour lire la ville

Décomposition structurelle

- sommets
- arcs



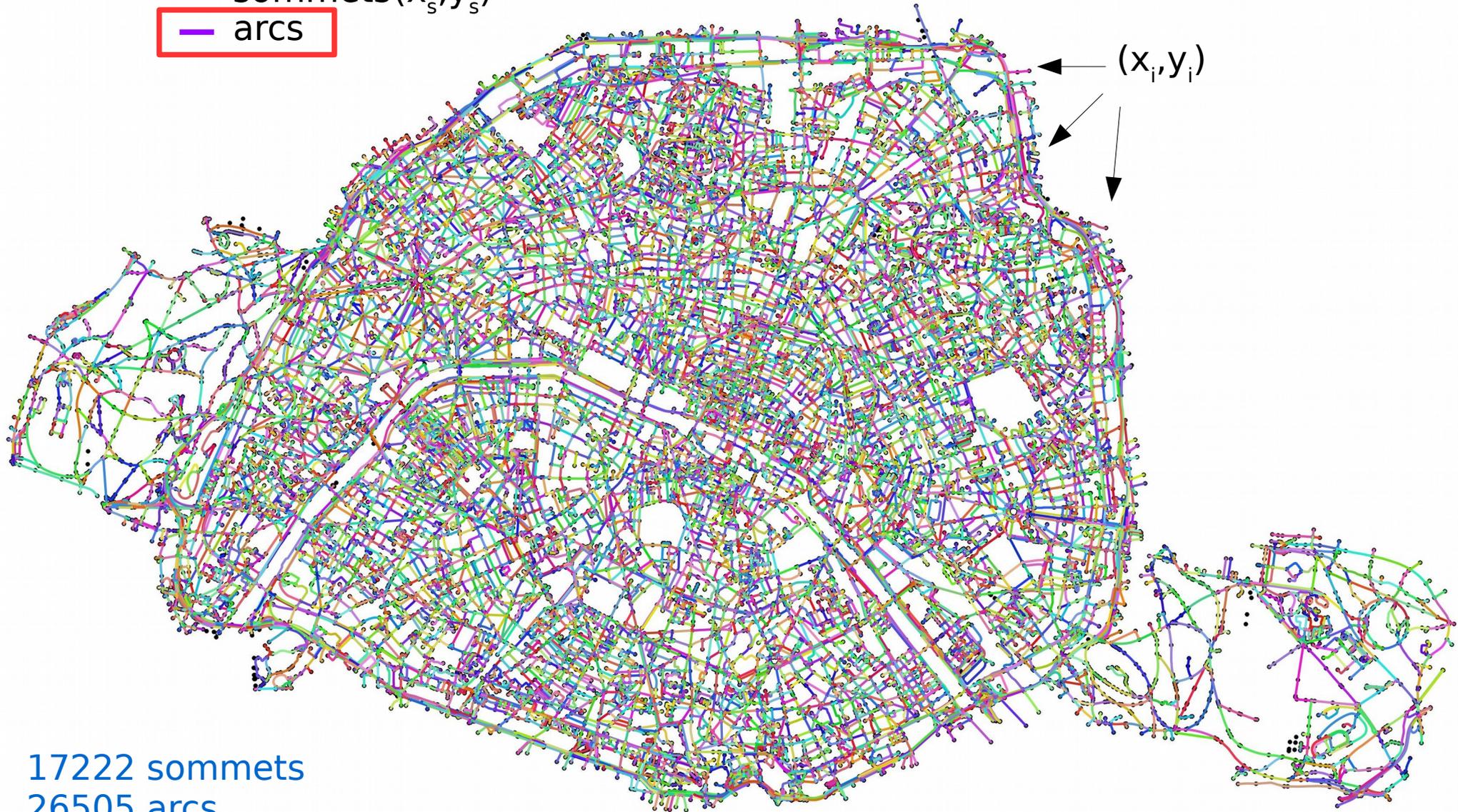
17222 sommets
26505 arcs

Choix d'un réseau complexe pour lire la ville

Décomposition structurelle

• sommets (x_s, y_s)

— arcs

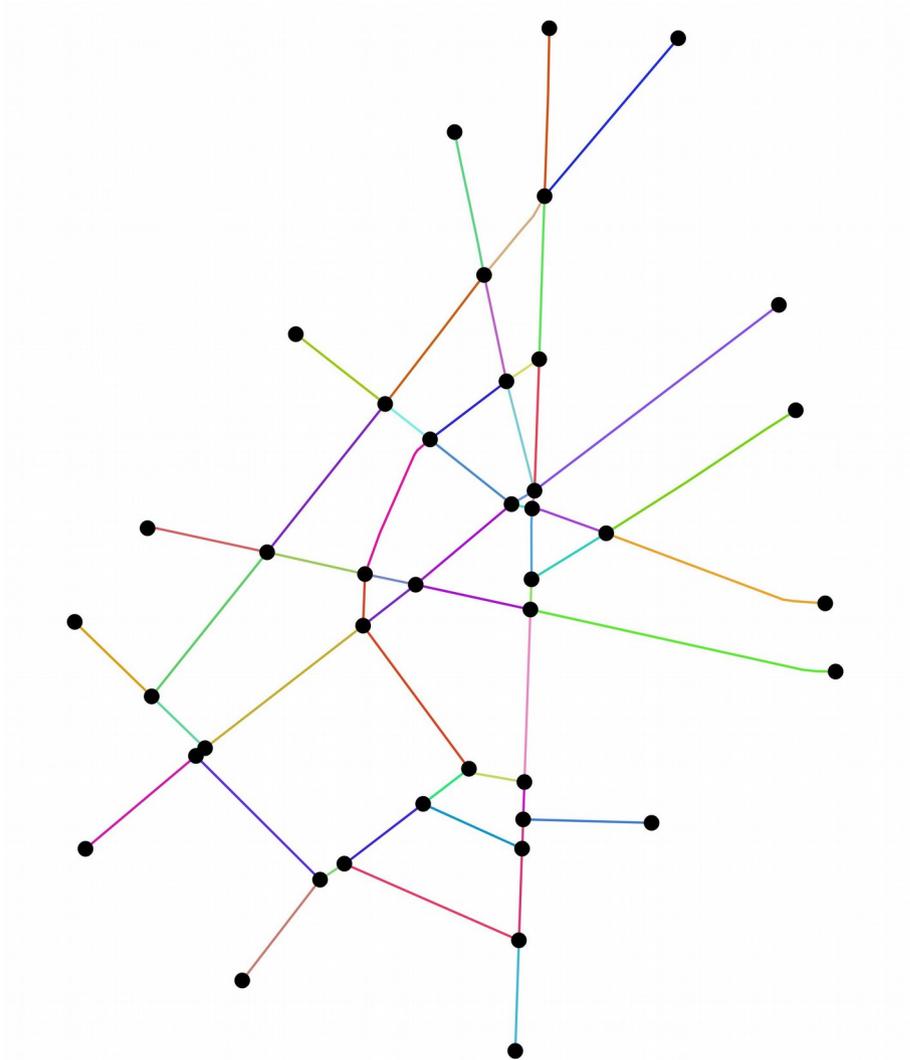


17222 sommets
26505 arcs

Les indicateurs classiques de la théorie des graphes

- Longueur

-
-
-
-

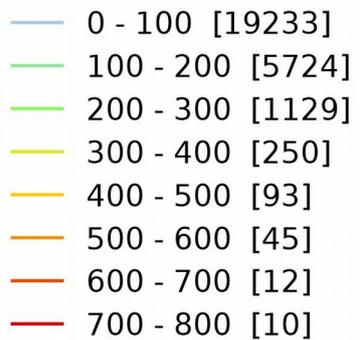


Choix d'un réseau complexe pour lire la ville

Caractérisation classique d'un graphe spatial

Longueur

arcs [26505]

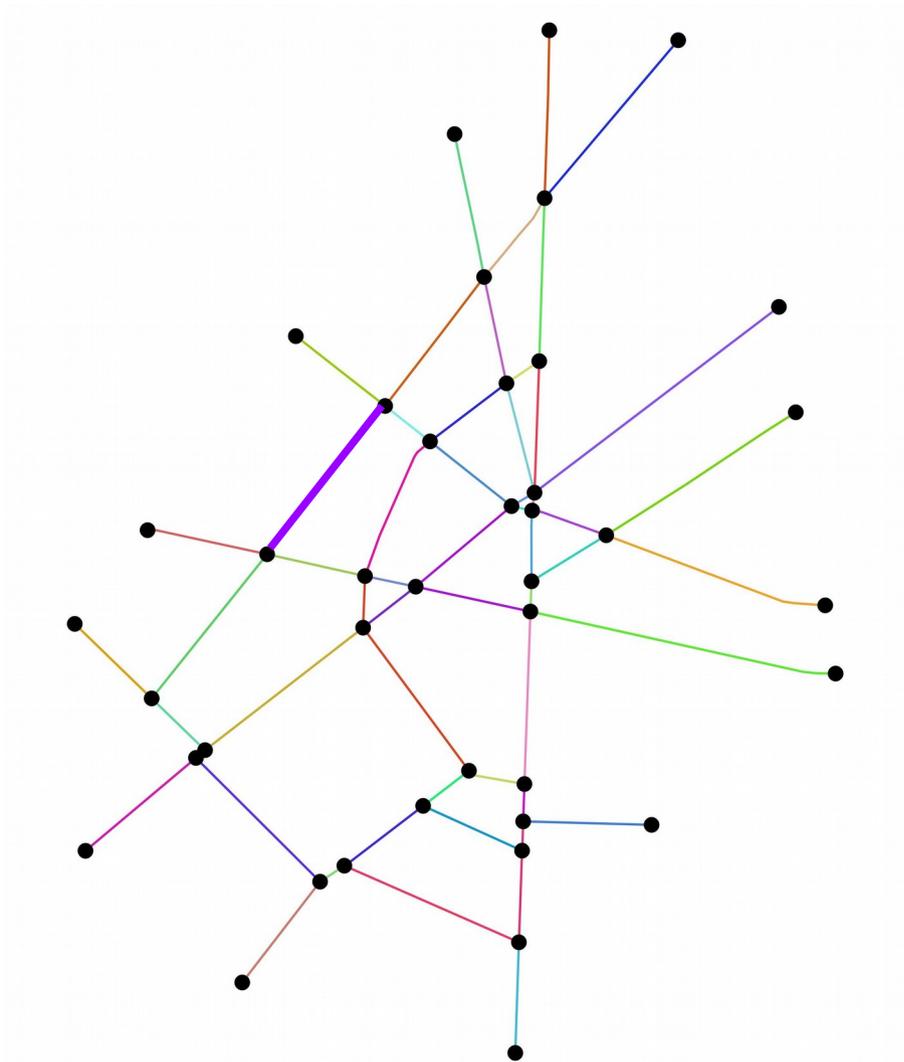


0 1 2 3 4 km



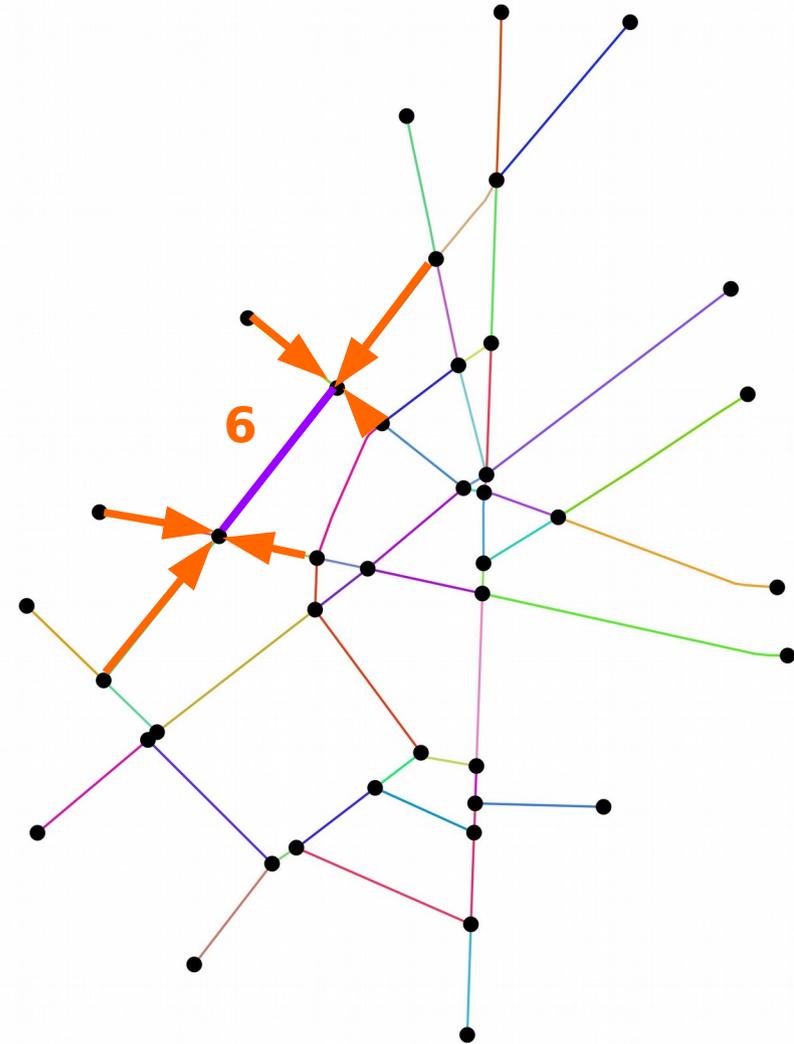
Les **indicateurs classiques** de la théorie des graphes

- Longueur
- Degré
-
-
-



Les indicateurs classiques de la théorie des graphes

- Longueur
- **Degré**
-
-
-



Choix d'un réseau complexe pour lire la ville

Caractérisation classique d'un graphe spatial

Degré

arcs [26505]

- 1 [29]
- 2 [1396]
- 3 [400]
- 4 [10442]
- 5 [8526]
- 6 [4580]
- 7 [782]
- 8 [239]
- 9 [95]
- 10 [10]
- 11 [6]



0 1 2 3 4 km



Choix d'un réseau complexe pour lire la ville

Caractérisation classique d'un graphe spatial

Longueur

arcs

- 0 - 150
- 150 - 300
- 300 - 450
- 450 - 600
- 600 - 750
- 750 - 900
- 900 - 1050
- 1050 - 1200
- 1350 - 1500



0 1 2 3 4 km

Degré

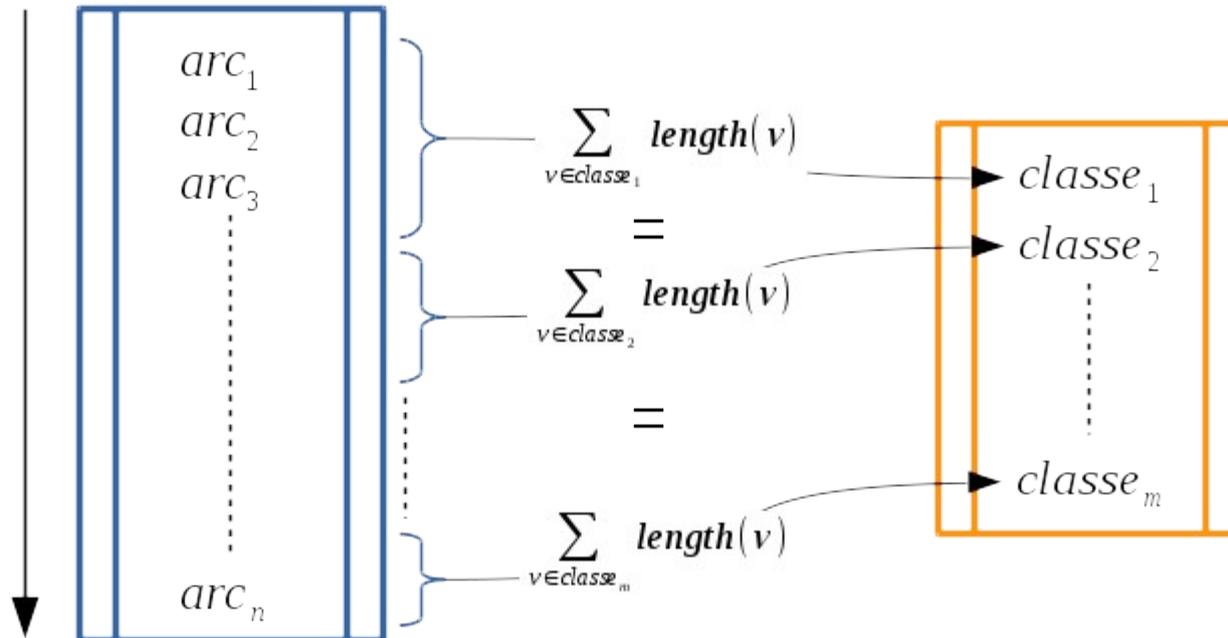
arcs

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11



0 1 2 3 4 km

Indicateur λ



Choix d'un réseau complexe pour lire la ville

Caractérisation classique d'un graphe spatial

Longueur

arcs

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9

Valeur faible de l'indicateur

Valeur forte



0 1 2 3 4 km

Choix d'un réseau complexe pour lire la ville

Caractérisation classique d'un graphe spatial

Longueur

arcs [26505]

0 [9205]

1 [4116]

2 [3033]

3 [2431]

4 [2009]

5 [1689]

6 [1417]

7 [1160]

8 [901]

9 [544]



0 1 2 3 4 km



Choix d'un réseau complexe pour lire la ville

Caractérisation classique d'un graphe spatial

Degré

arcs [26505]

0 [4697]

1 [4387]

2 [4370]

3 [4143]

4 [4443]

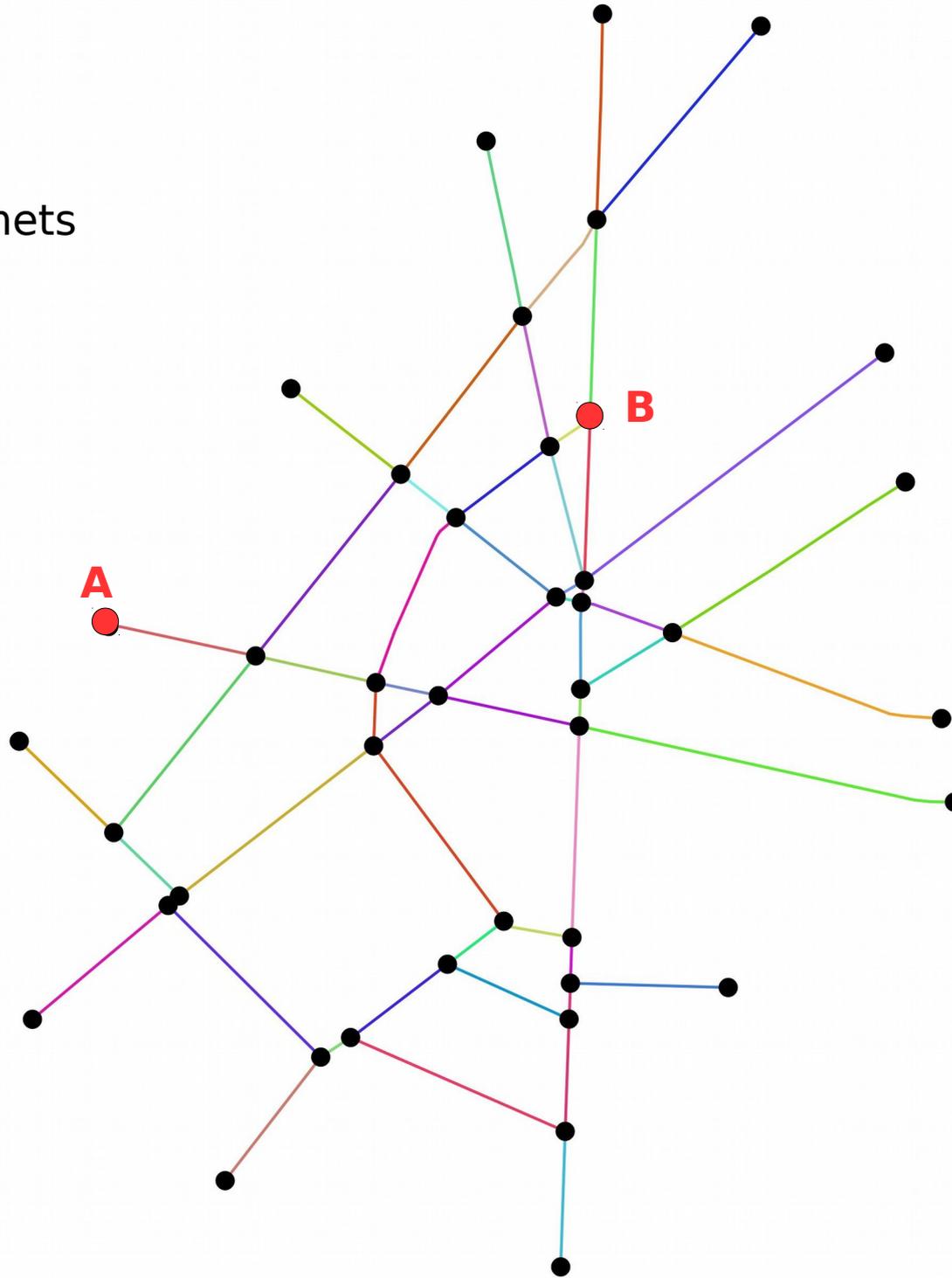
5 [4465]



0 1 2 3 4 km

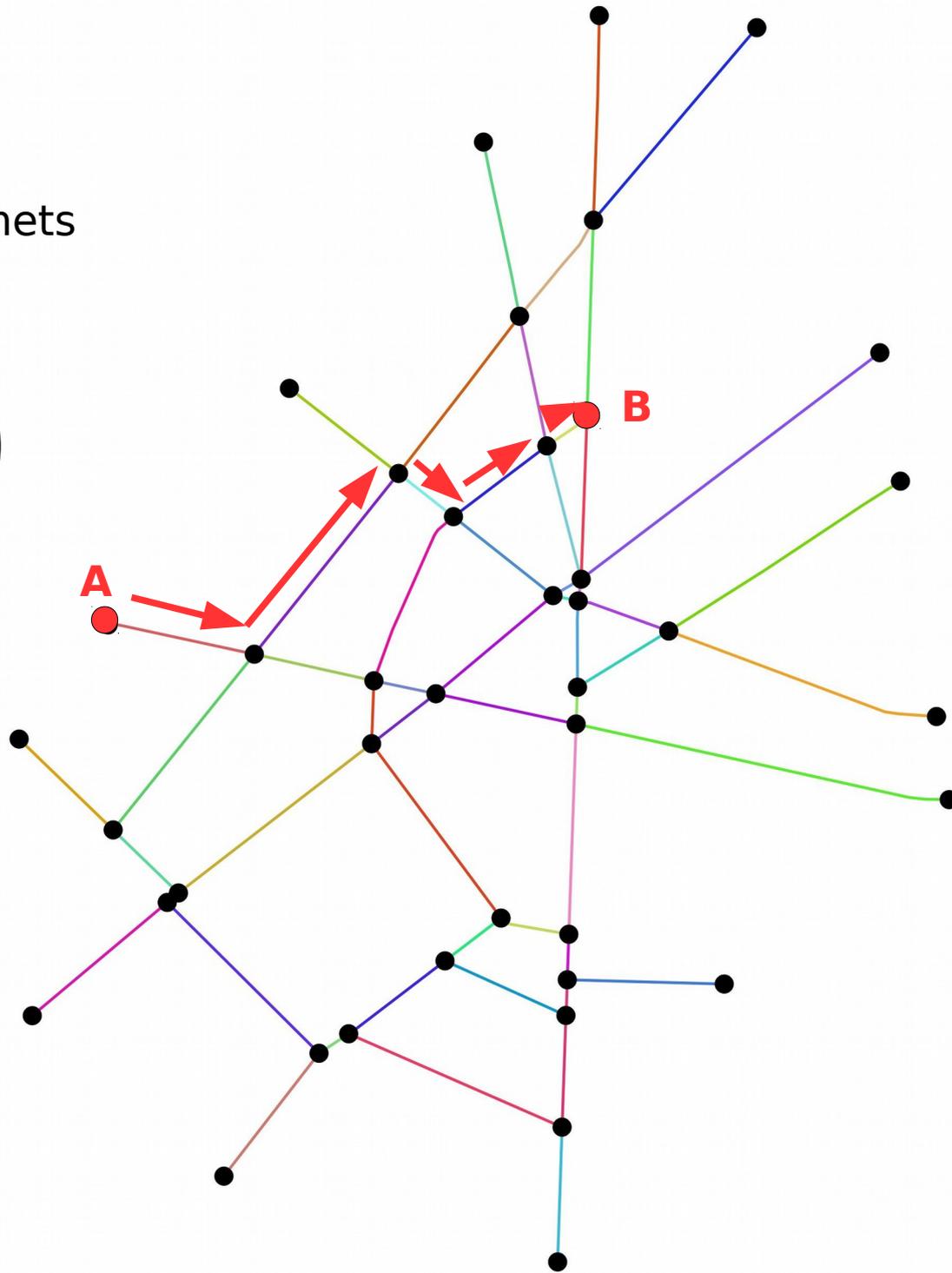


● sommets
— arcs



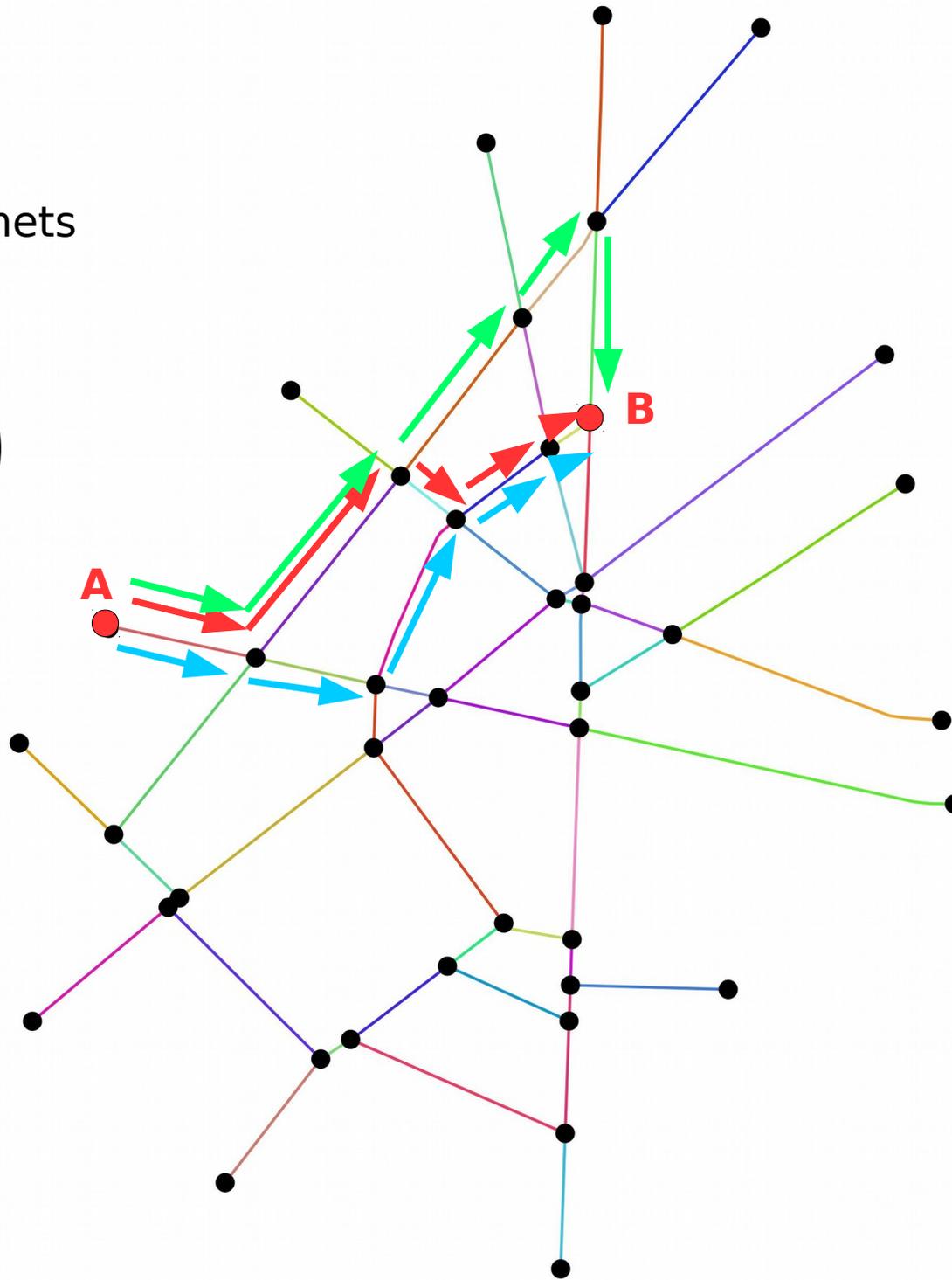
● sommets
— arcs

$d_{simple}(AB)$



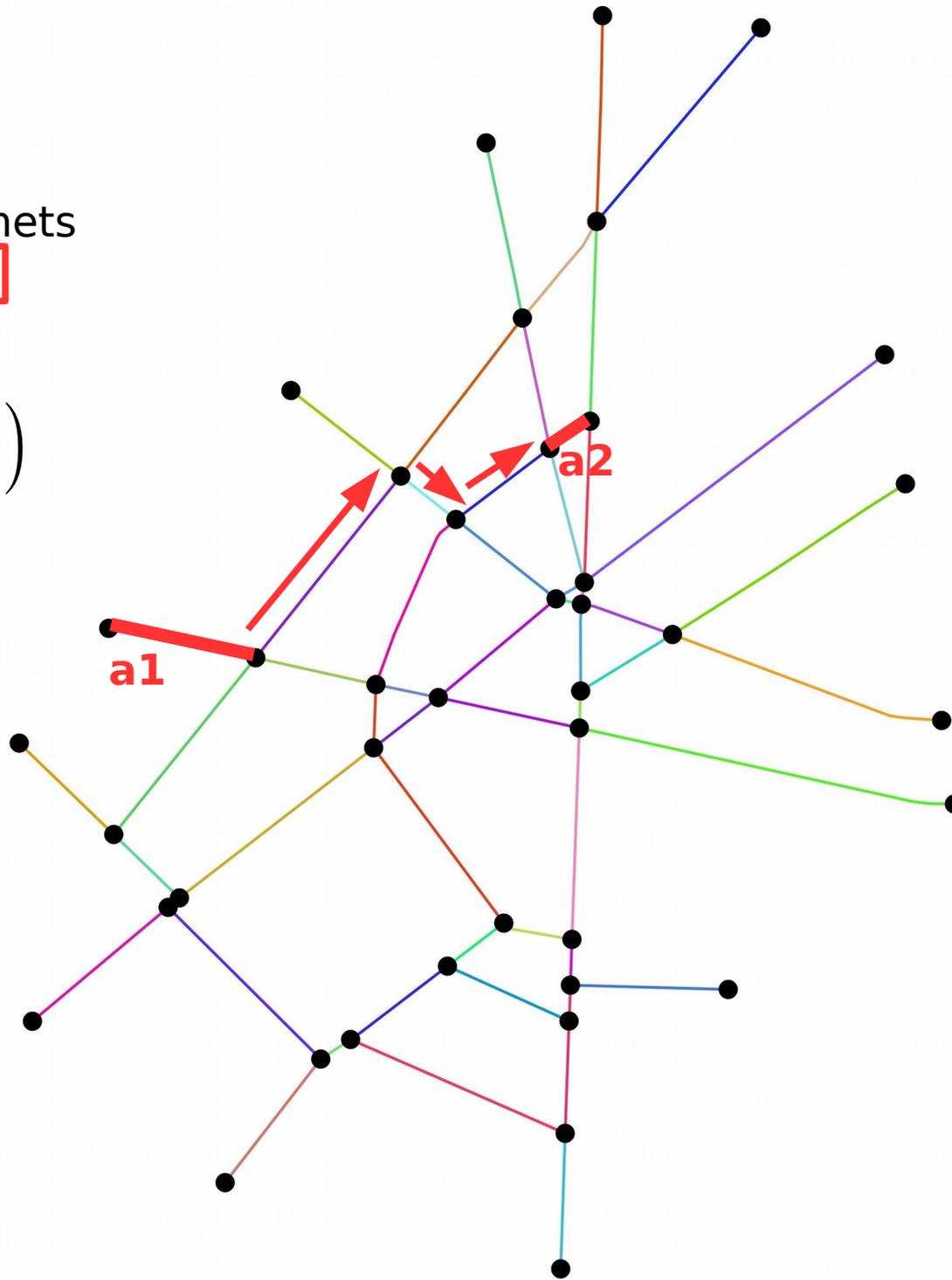
● sommets
— arcs

$d_{simple}(A B)$

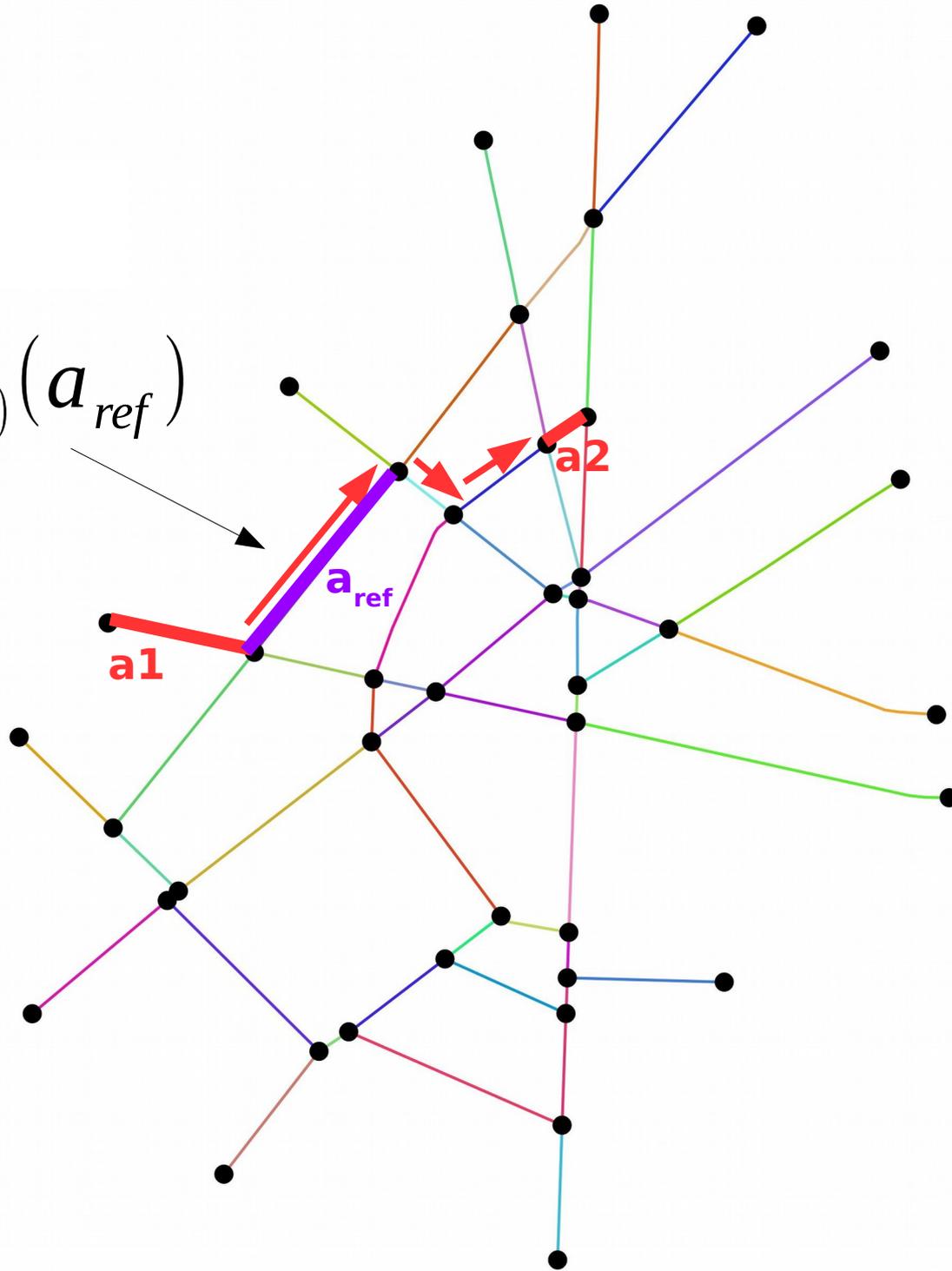




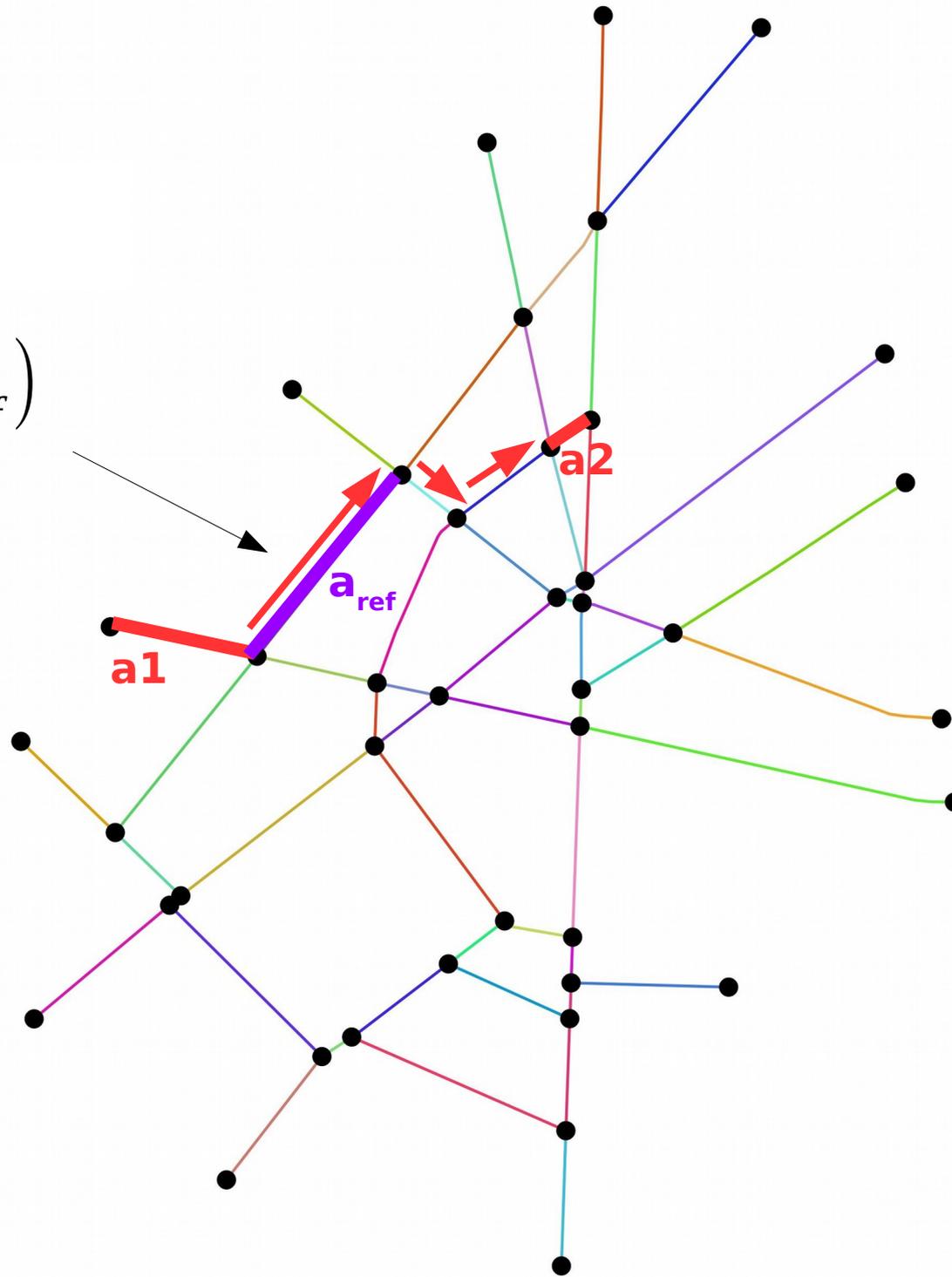
$$d_{simple}(a_1 a_2)$$



$$\sum \sigma_{d_{\text{simple}}(a_1 a_2)}(a_{\text{ref}})$$



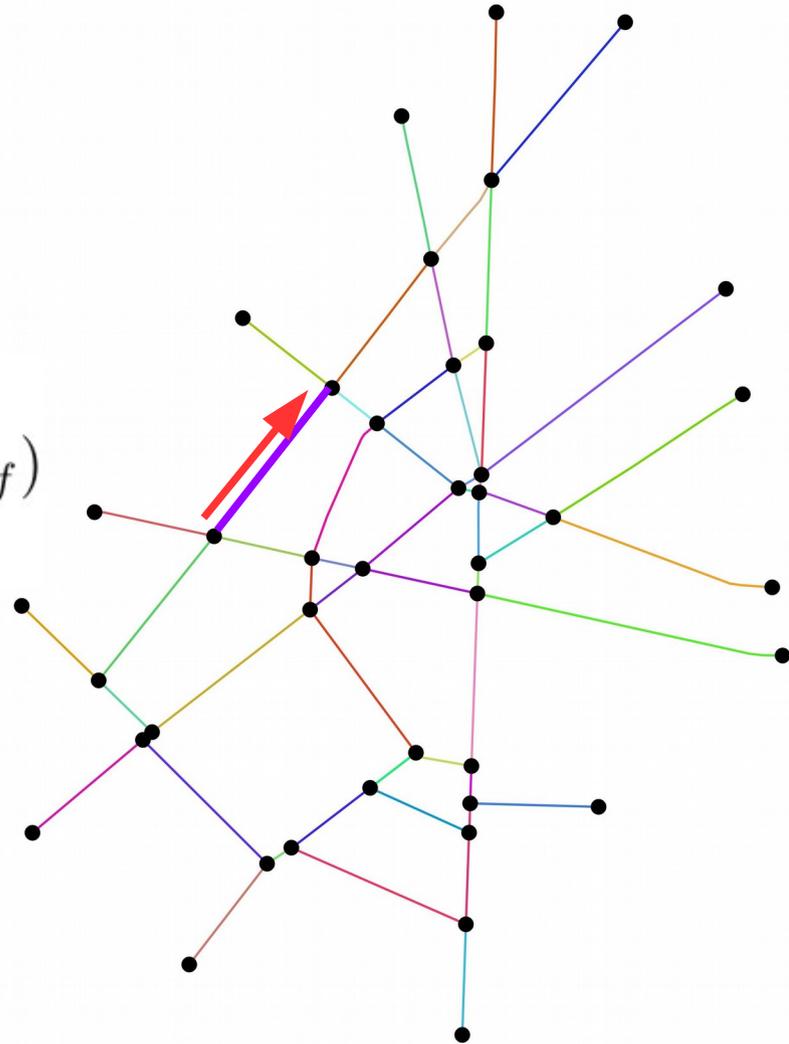
$$\sum \sigma_{a_1 a_2}(a_{ref})$$



Les indicateurs classiques de la théorie des graphes

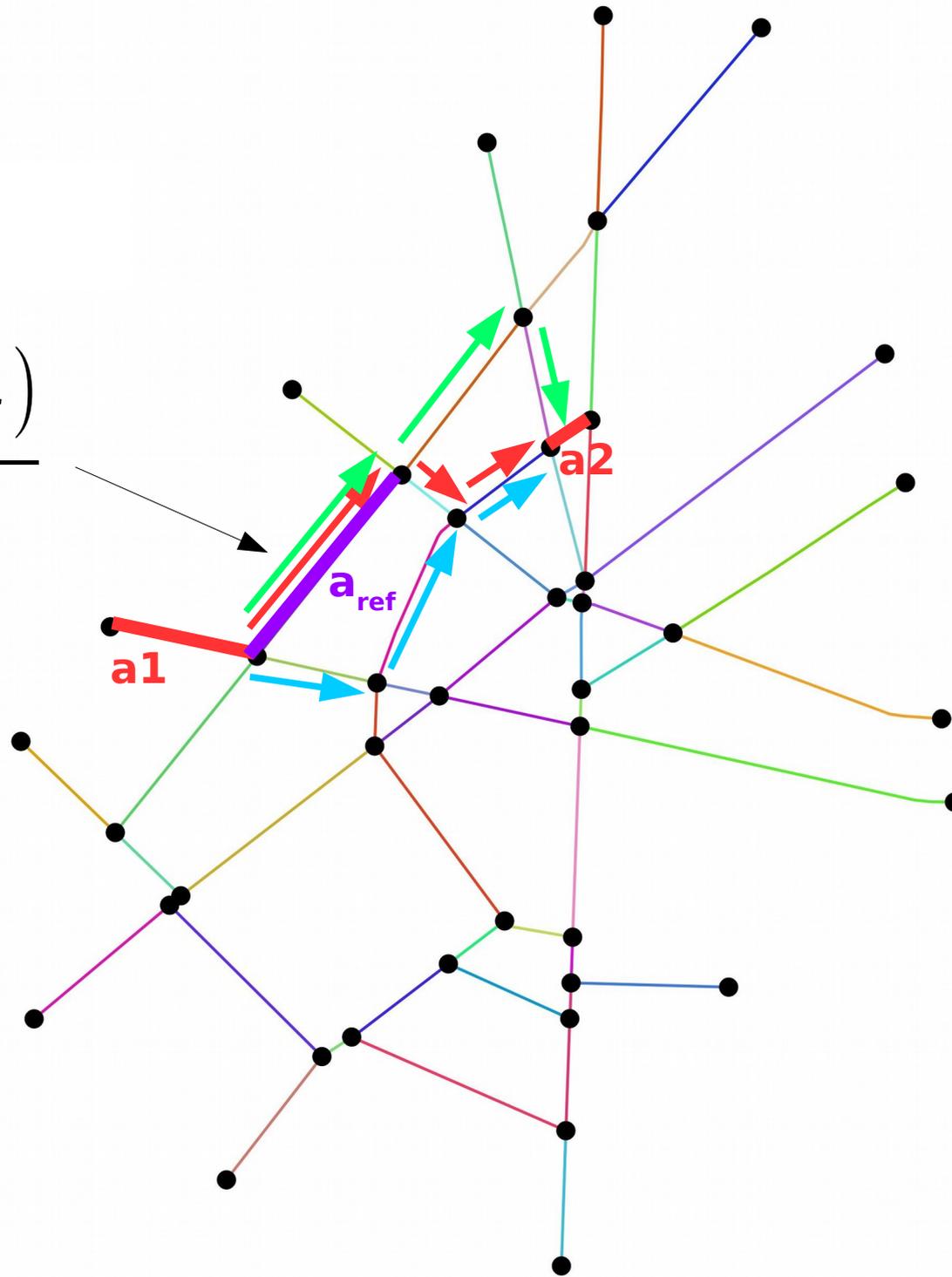
- Longueur
- Degré
- Utilisation (Stress centrality)
-
-

$$utilisation(a_{ref}) = \sum_{a_1 \neq a_2 \neq a_{ref} \in G} \sigma_{a_1 a_2}(a_{ref})$$



Brandes, U. (2008). *On variants of shortest-path betweenness centrality and their generic computation*. *Social Networks*, 30(2) :136-145.

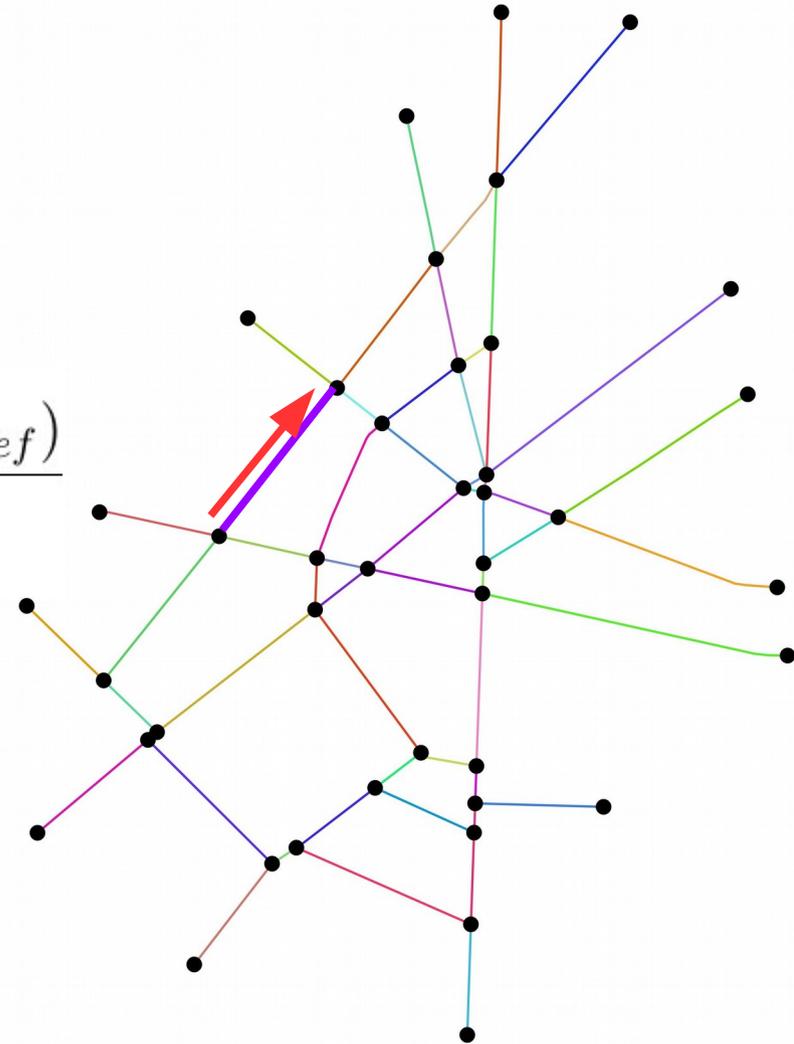
$$\sum \frac{\sigma_{a_1 a_2}(a_{ref})}{\sigma_{a_1 a_2}}$$



Les indicateurs classiques de la théorie des graphes

- Longueur
- Degré
- Utilisation (Stress centrality)
- Betweenness centrality
-

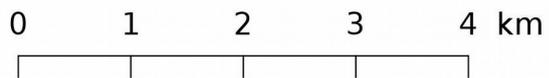
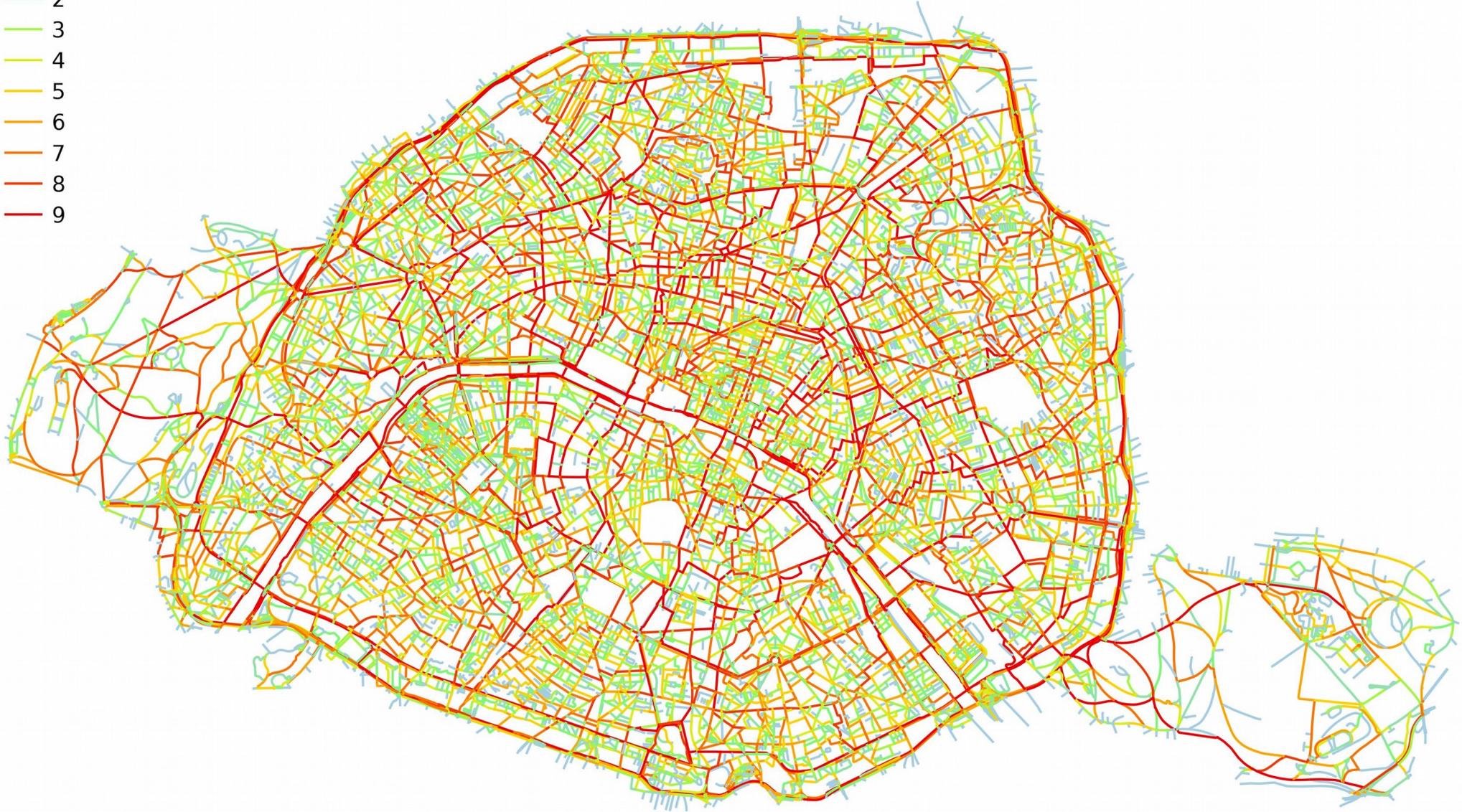
$$\textit{betweenness}(a_{ref}) = \sum_{a_1 \neq a_2 \neq a_{ref} \in G} \frac{\sigma_{a_1 a_2}(a_{ref})}{\sigma_{a_1 a_2}}$$



arcs



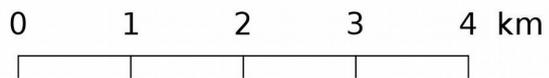
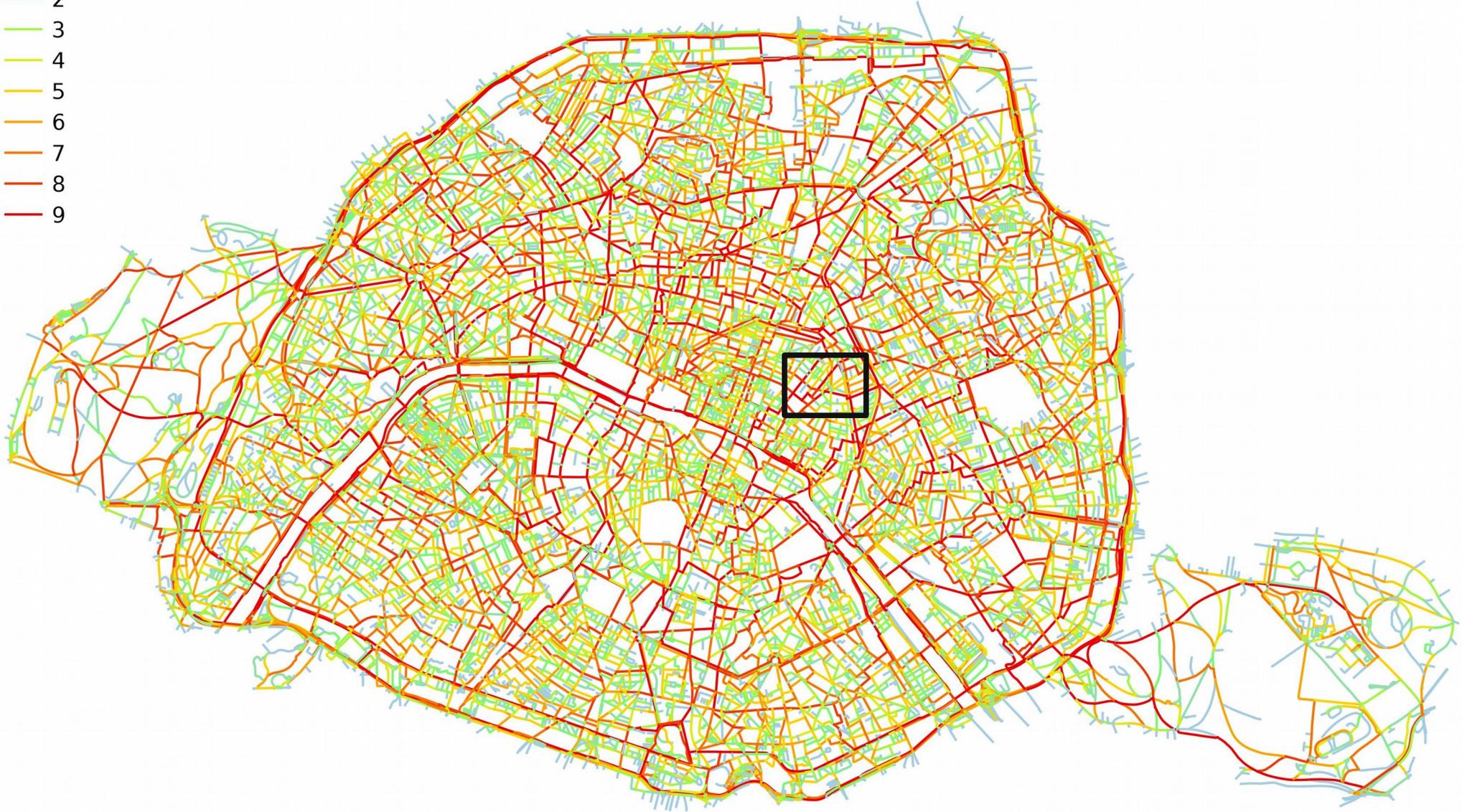
utilisation \Leftrightarrow *betweenness*



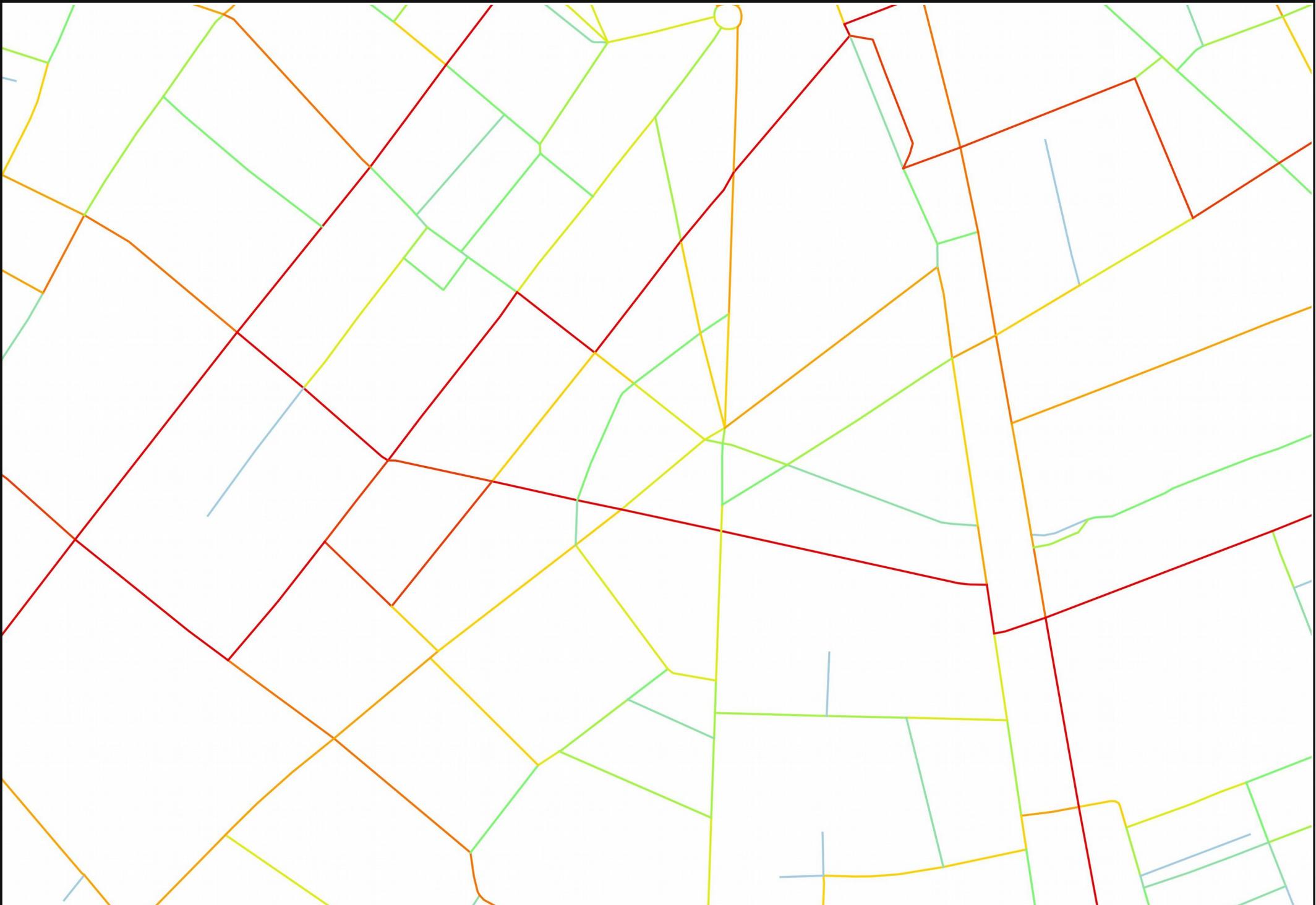
arcs



utilisation \Leftrightarrow *betweenness*

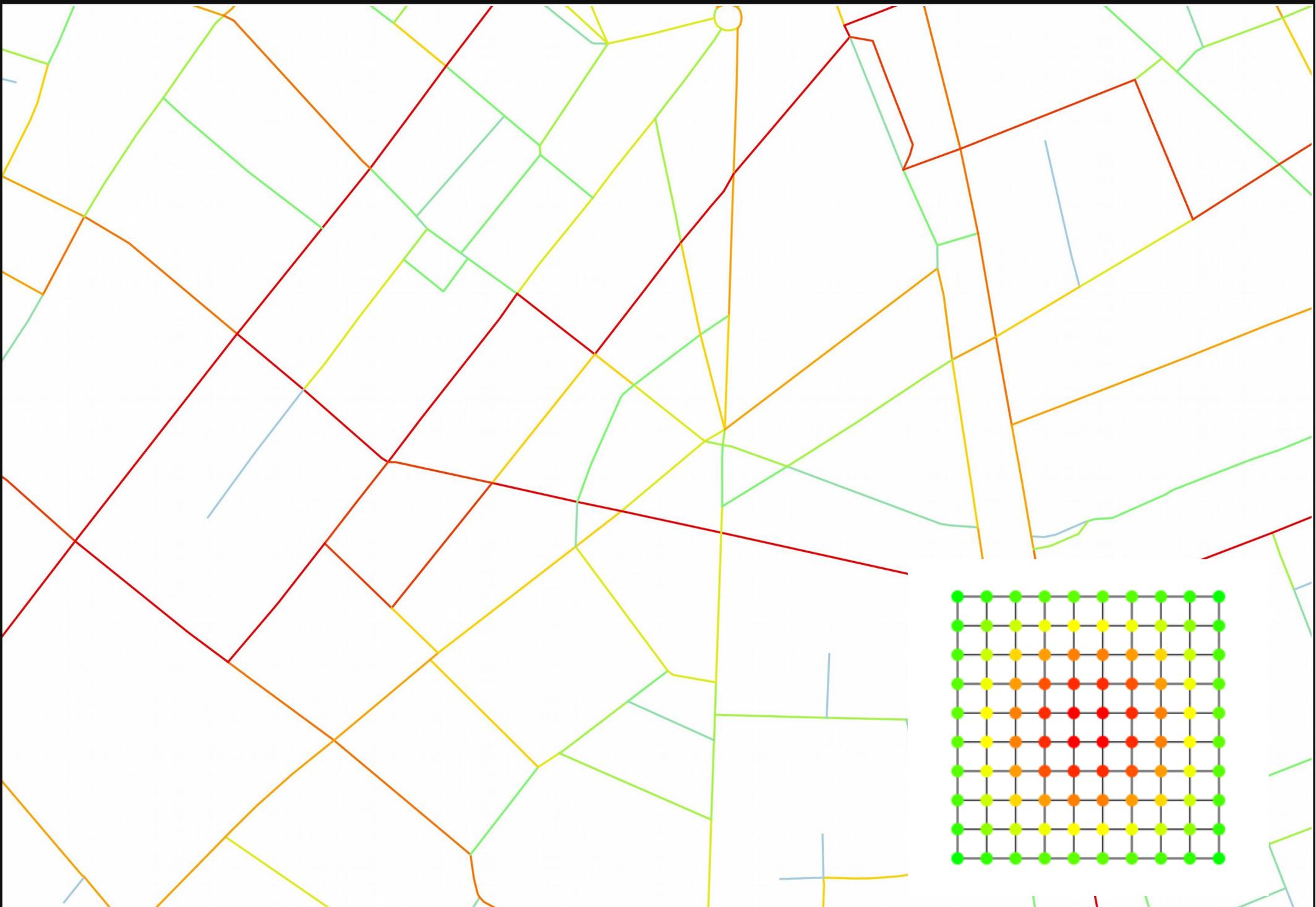


Choix d'un réseau complexe pour lire la ville
Caractérisation classique d'un graphe spatial

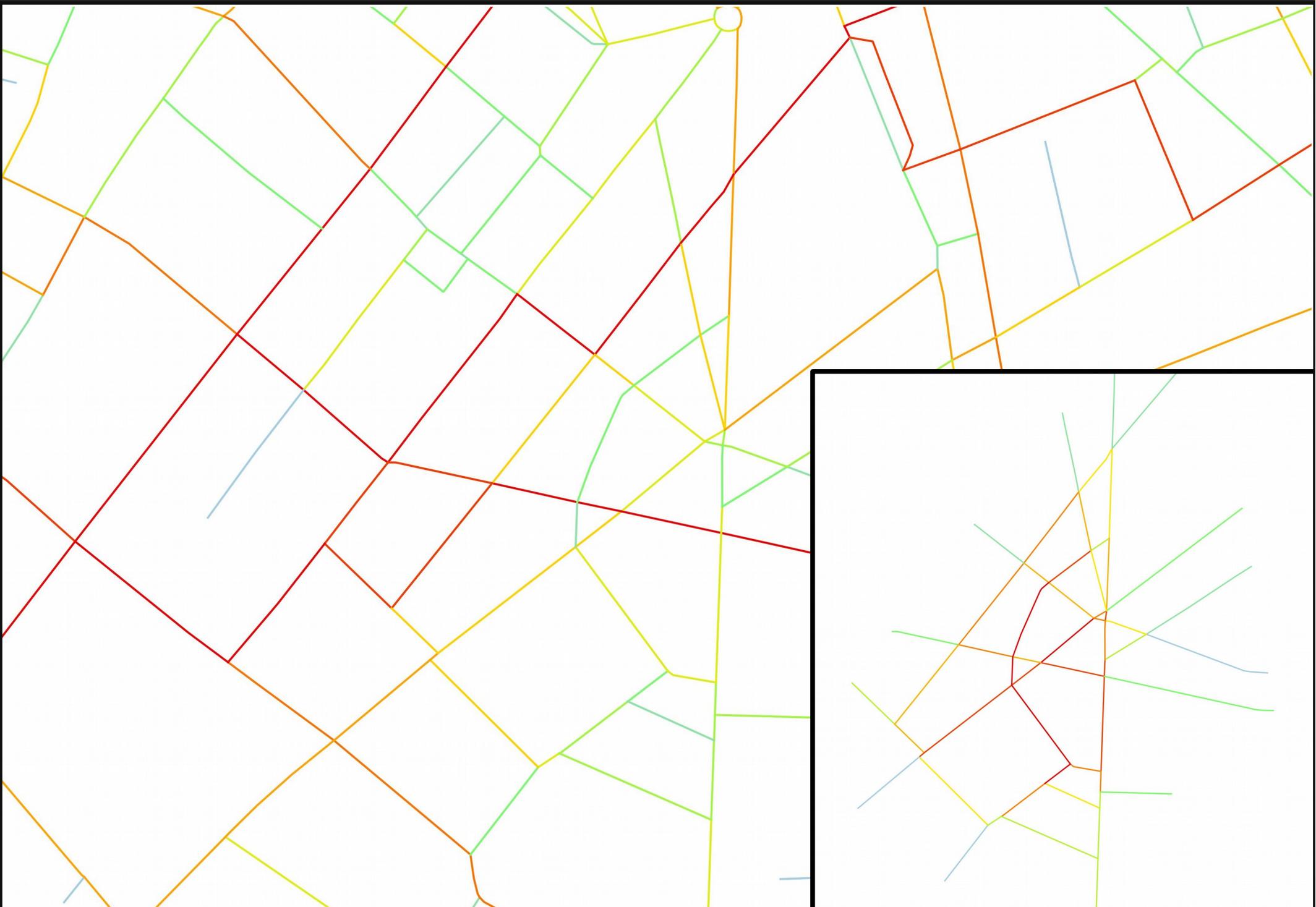


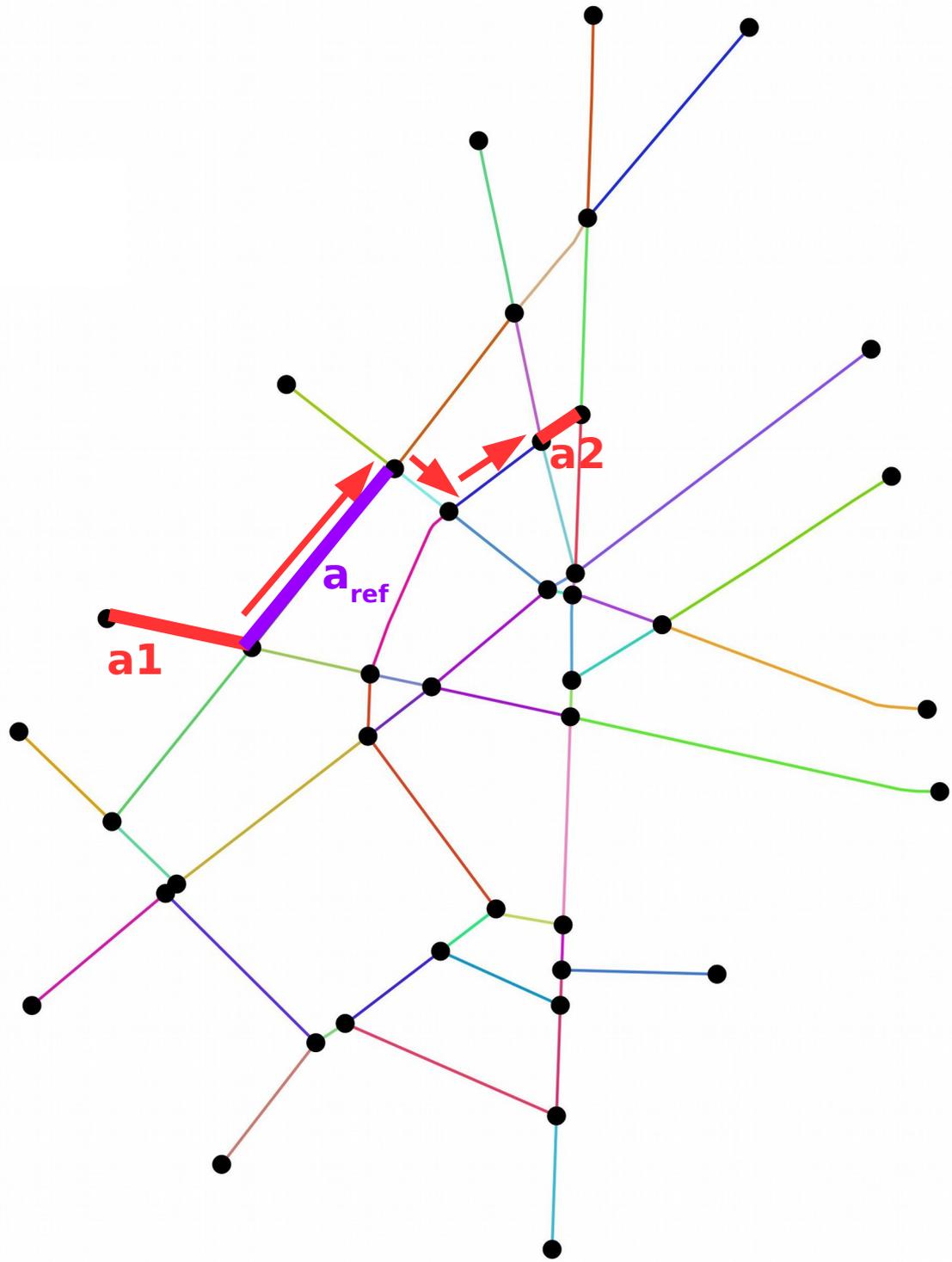
Choix d'un réseau complexe pour lire la ville

Caractérisation classique d'un graphe spatial

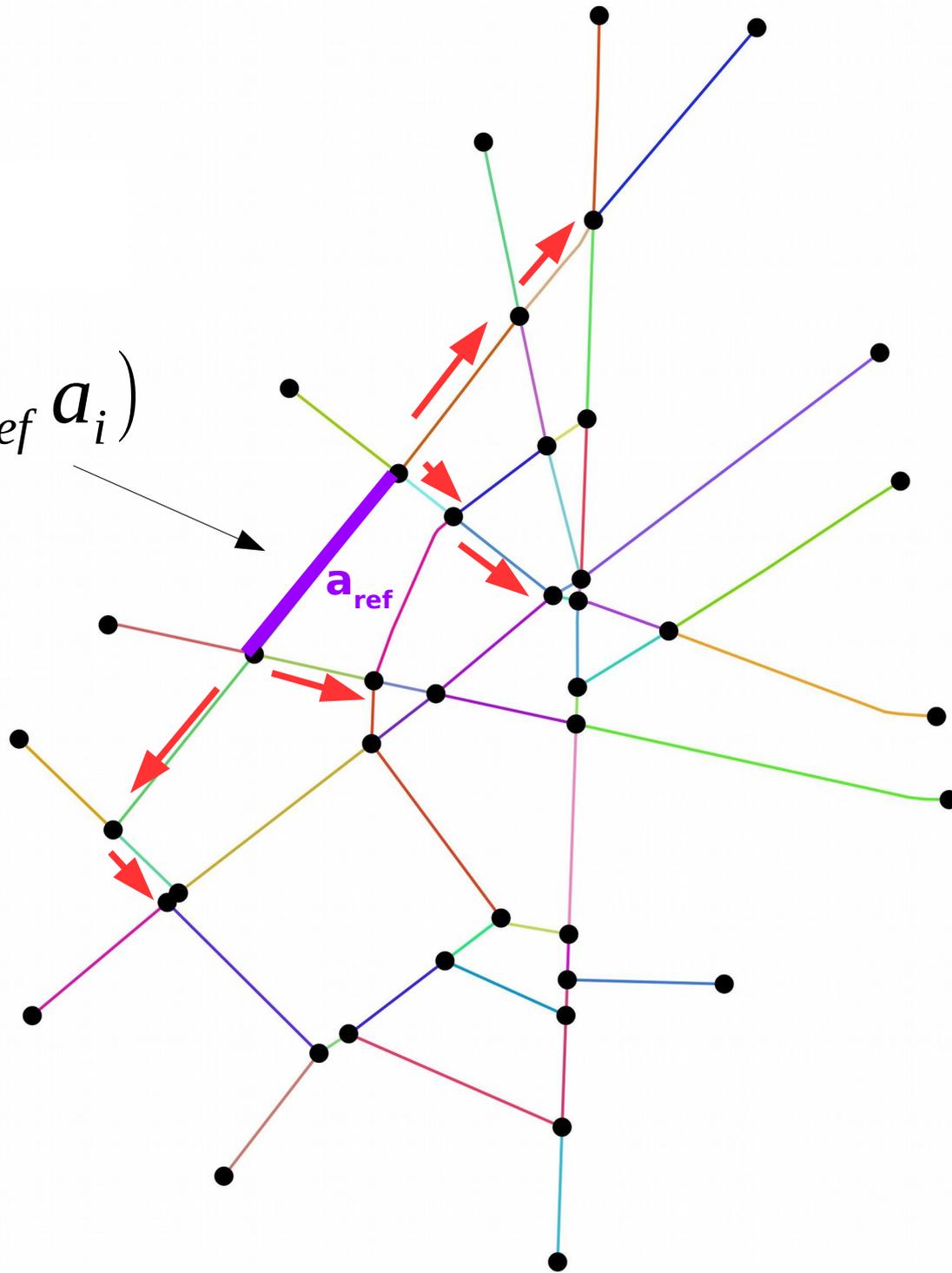


Choix d'un réseau complexe pour lire la ville
Caractérisation classique d'un graphe spatial



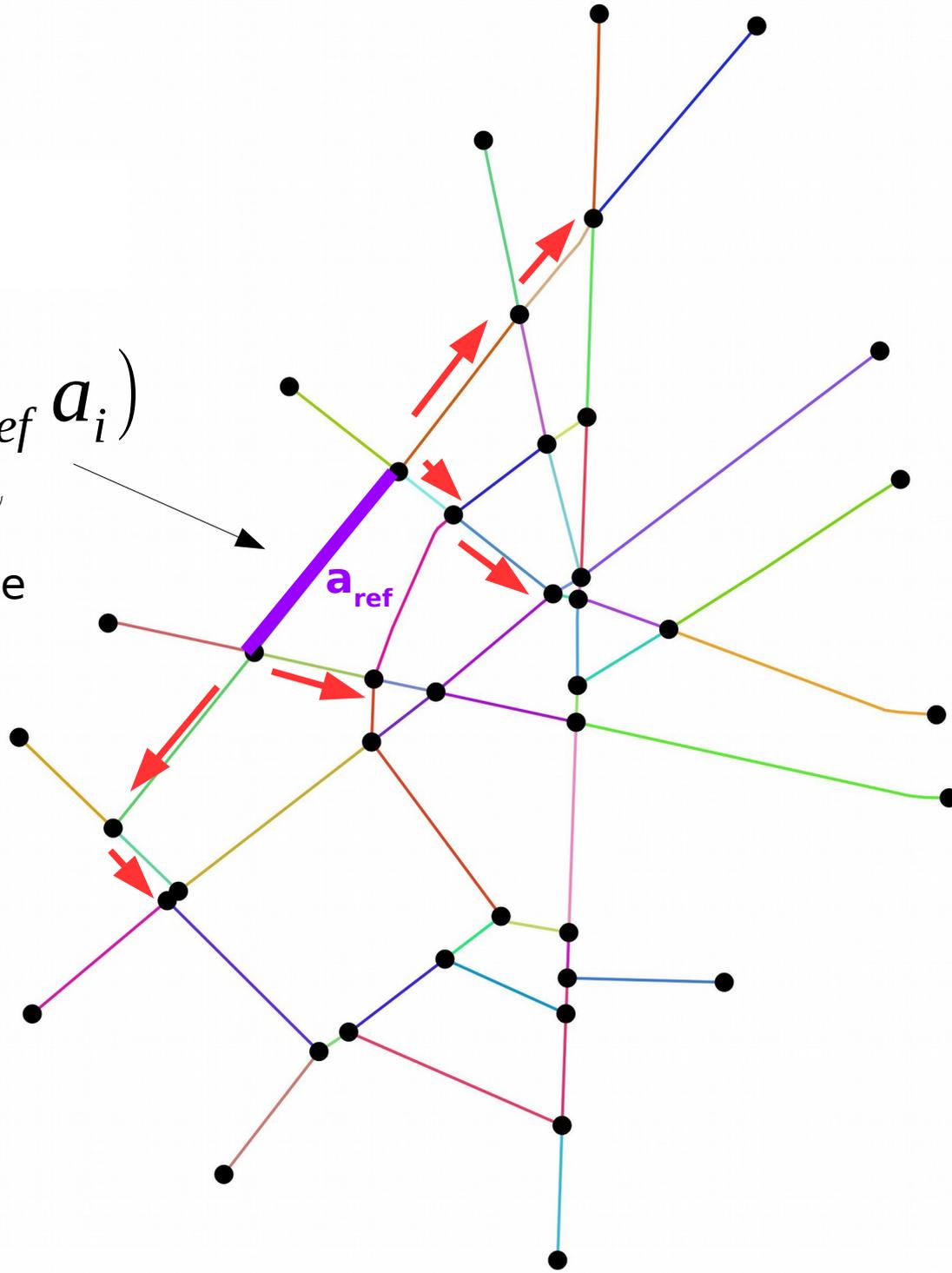


$$\sum d_{simple}(a_{ref} a_i)$$



$$\sum d_{simple}(a_{ref} a_i)$$

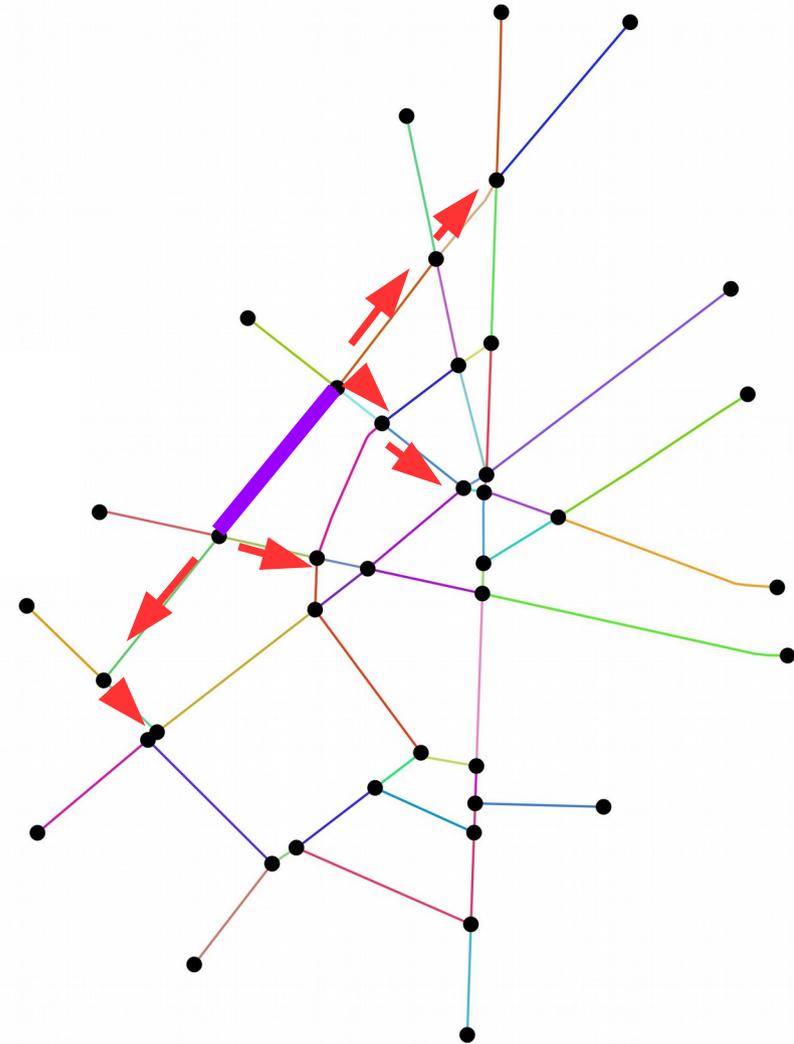
Rayon topologique



Les indicateurs classiques de la théorie des graphes

- Longueur
- Degré
- Utilisation (Stress centrality)
- Betweenness centrality
- Closeness centrality

$$closeness(a_{ref}) = \frac{1}{\sum_{a \in G} d_{simple}(a, a_{ref})}$$

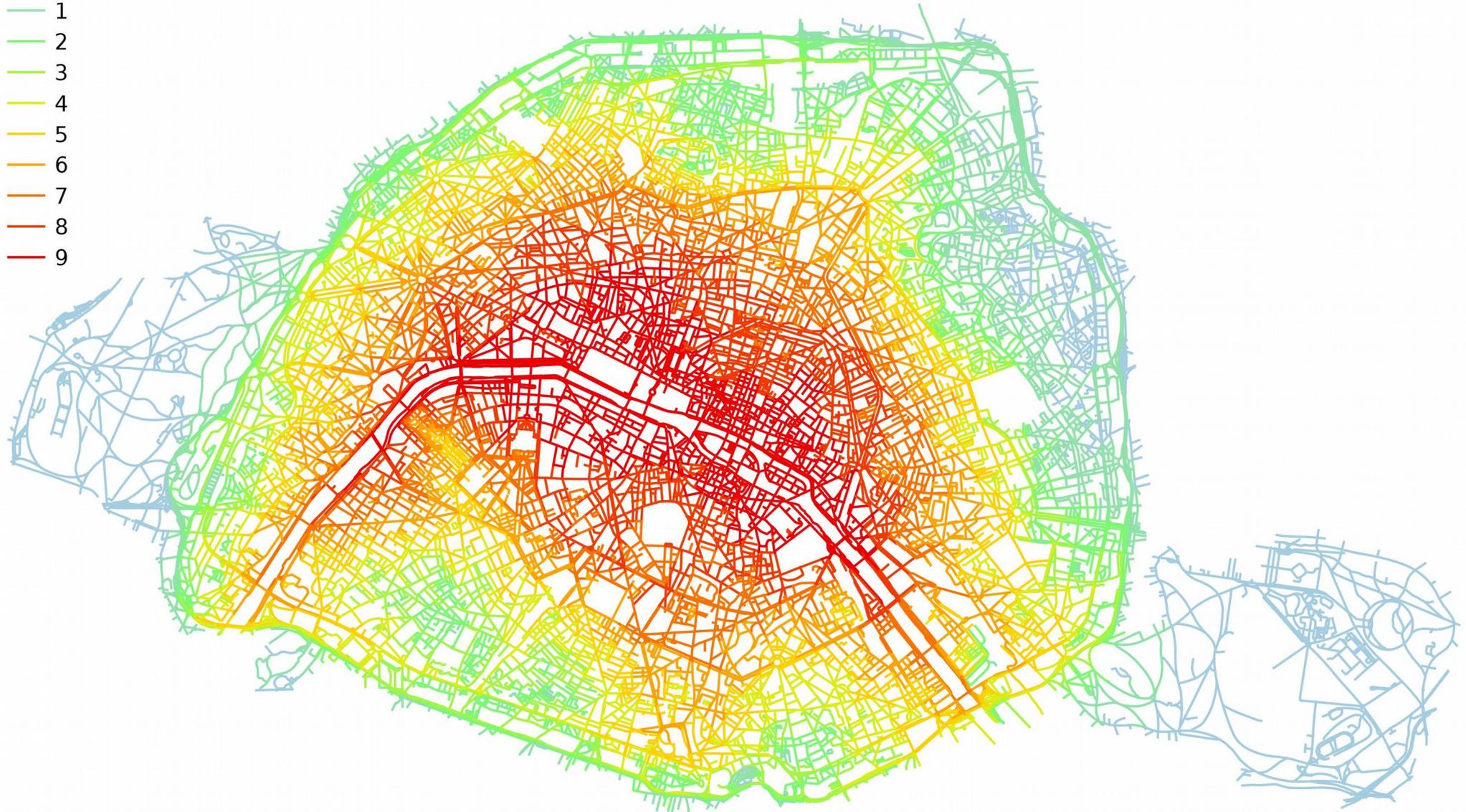


Choix d'un réseau complexe pour lire la ville

Caractérisation classique d'un graphe spatial

Closeness

arcs



0 1 2 3 4 km

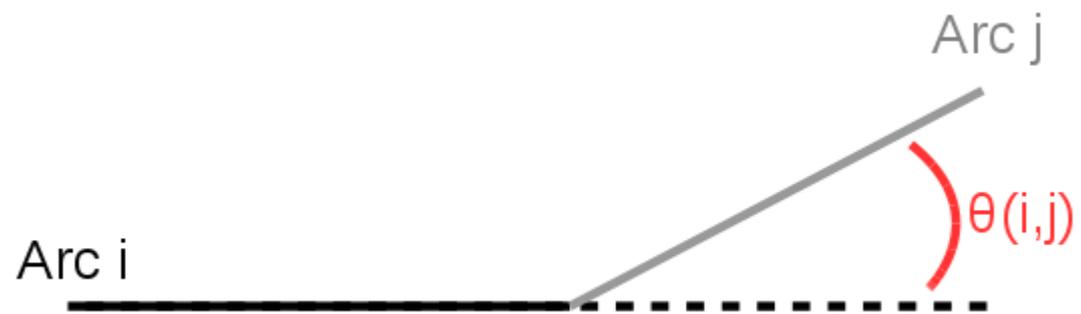
Le fil de la présentation

- I ■ Choix d'un réseau complexe pour lire la ville
 - Décomposition structurelle
 - Caractérisation classique d'un graphe spatial
- II ■ **Construction d'un objet de lecture : *la voie***
 - **Écriture d'une grammaire** de caractérisation spatiale
 - **Particularités de la lecture** d'un graphe à travers la voie
- III ■ Quantification des modifications structurelles
 - Lecture de projets urbains
 - Lecture de la cinématique d'une ville

Ouverture

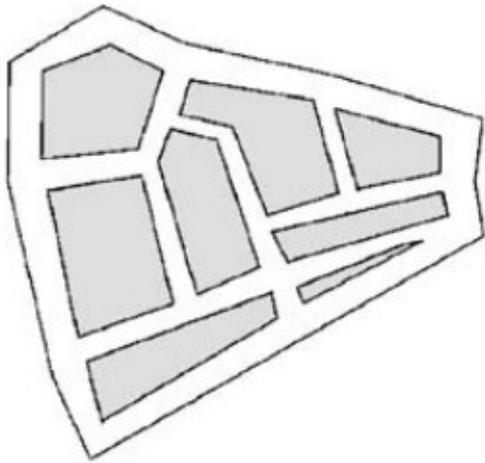


crédits : <http://www.meridienmag.fr>

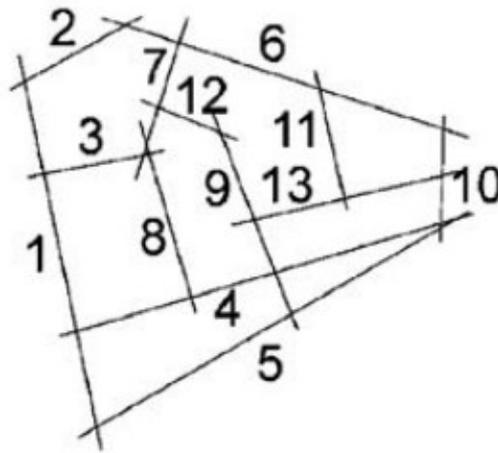


Syntaxe spatiale

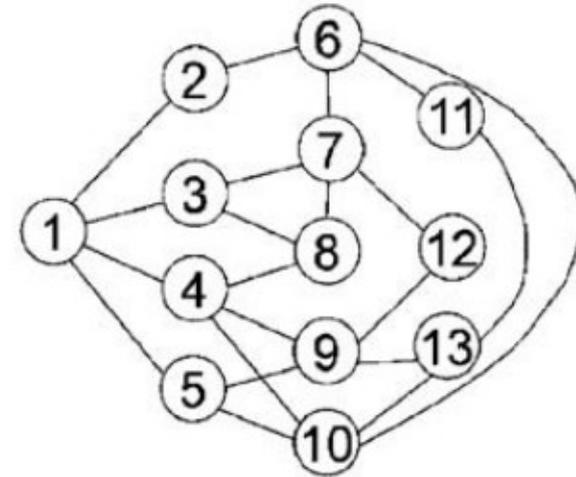
Bill Hillier



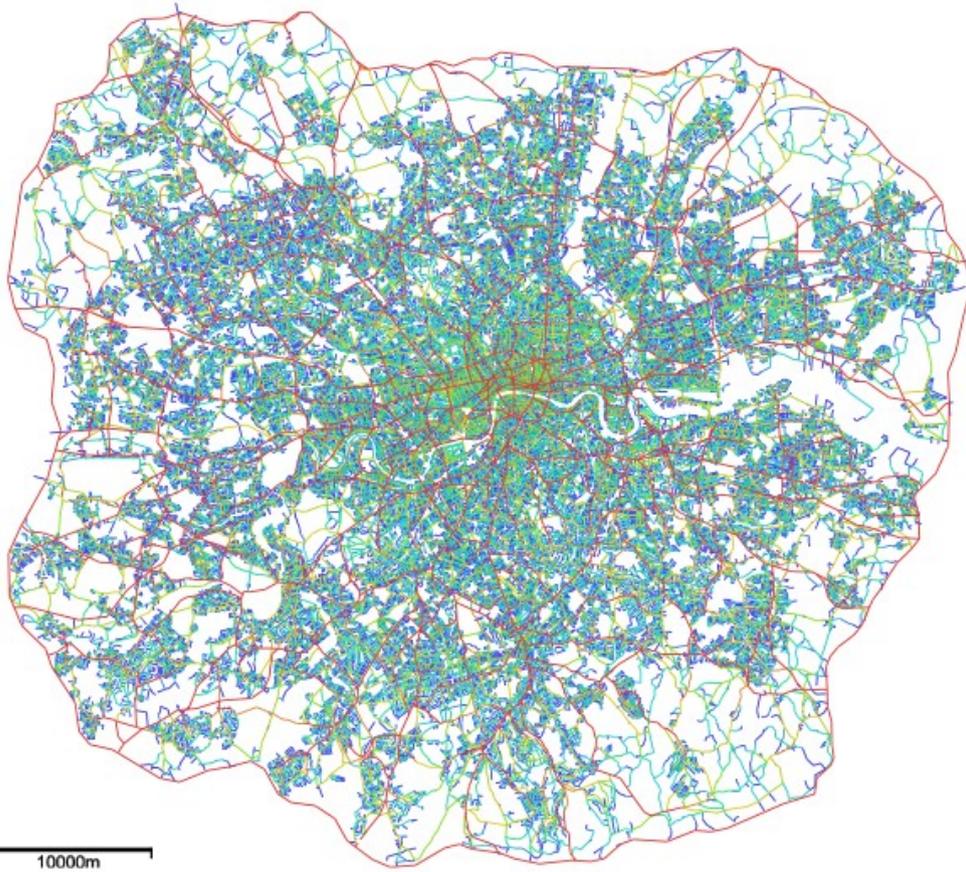
Carte viaire



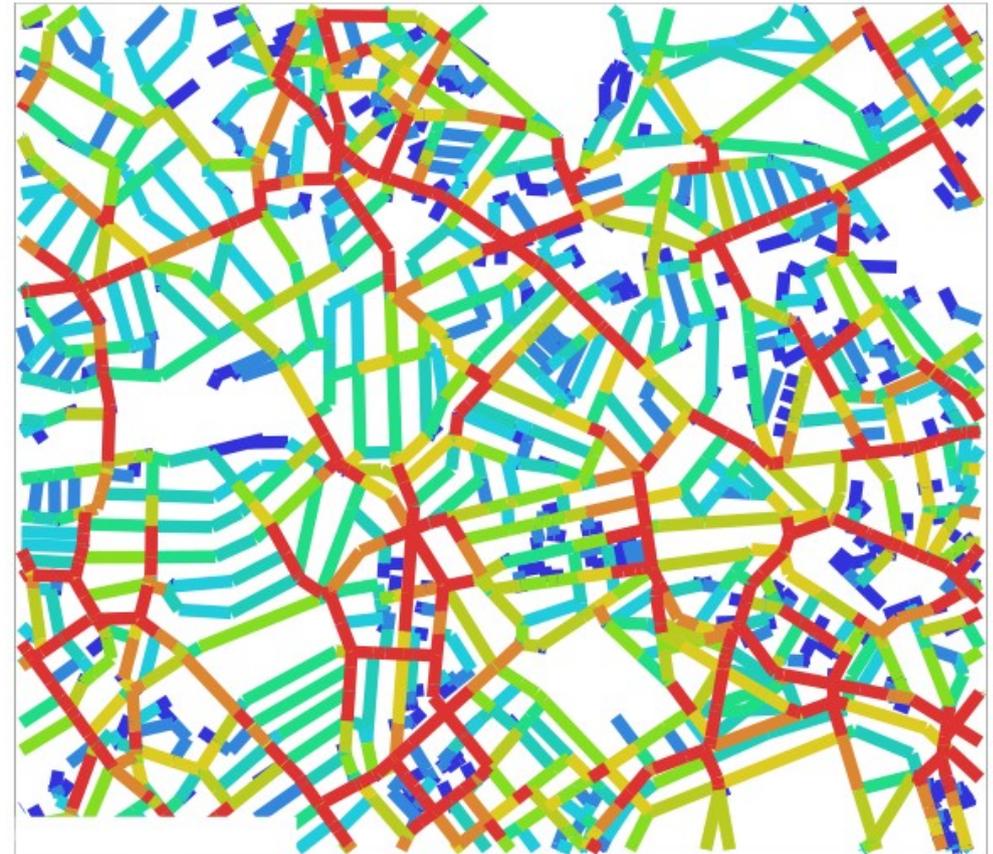
Carte axiale



Graphe dual



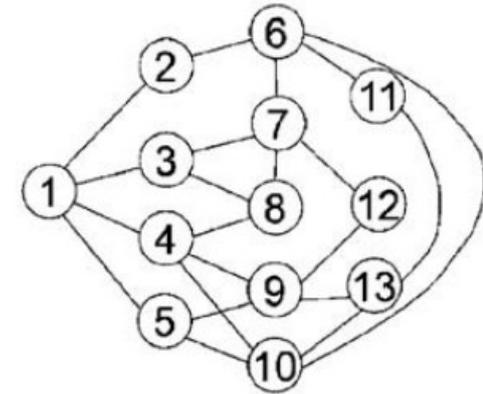
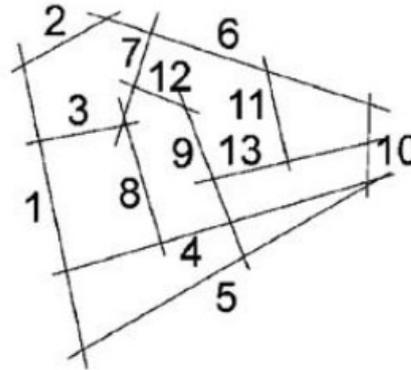
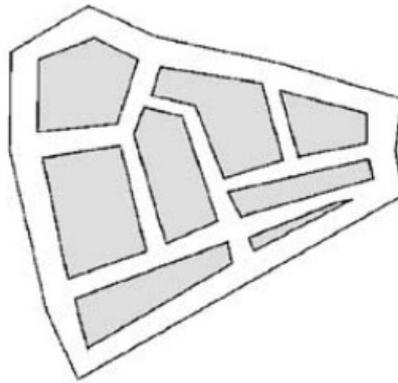
Londres



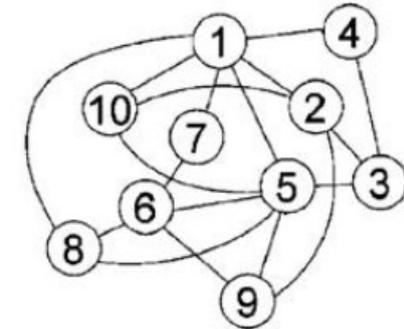
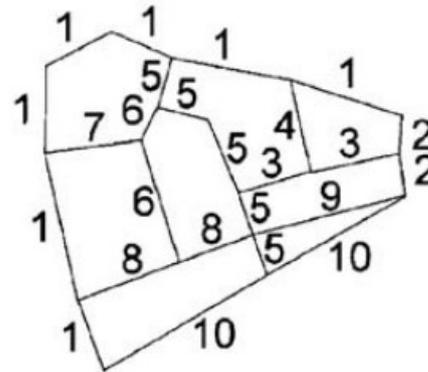
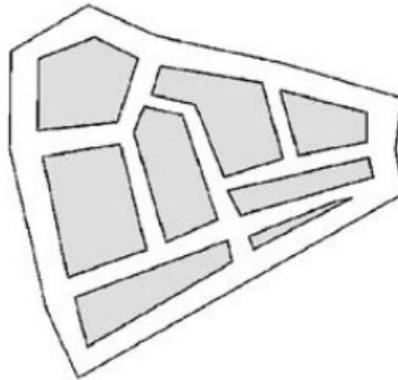
Bill Hillier
Space syntax as a theory
as well as a method

Hillier, B. and Vaughan, L. (2007). *The city as one thing*. *Progress in Planning*, 67(3) :205-230.

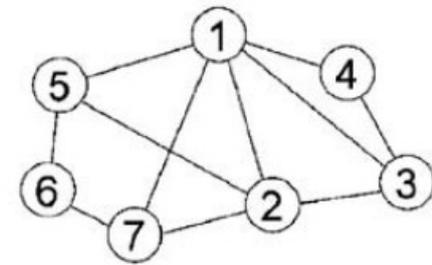
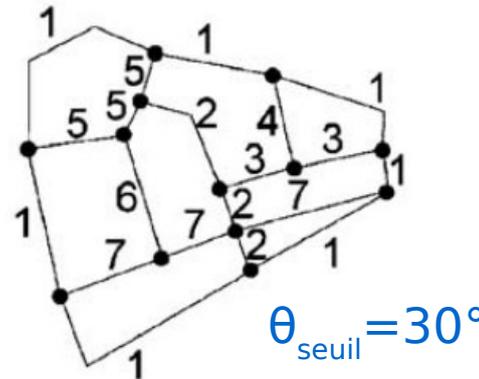
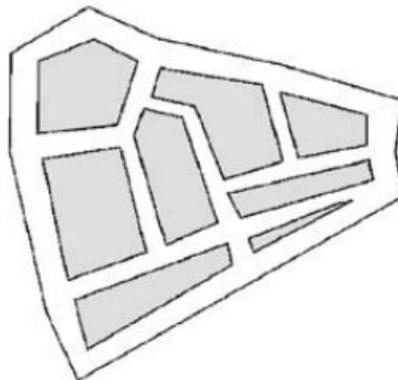
Syntaxe spatiale



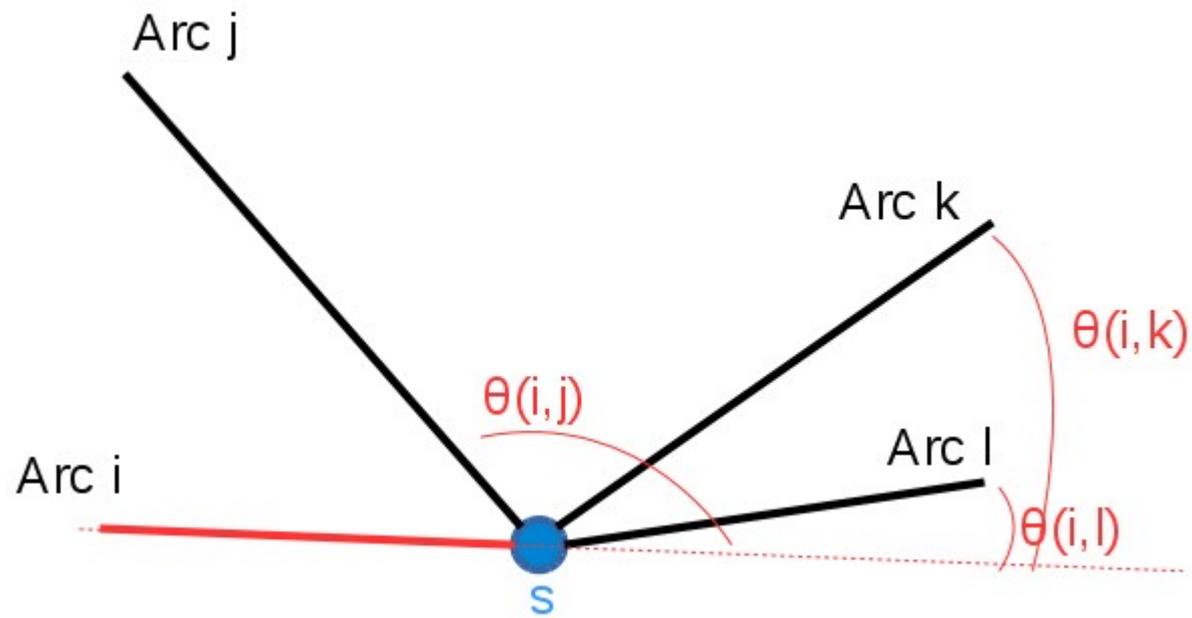
Rues (toponymie)

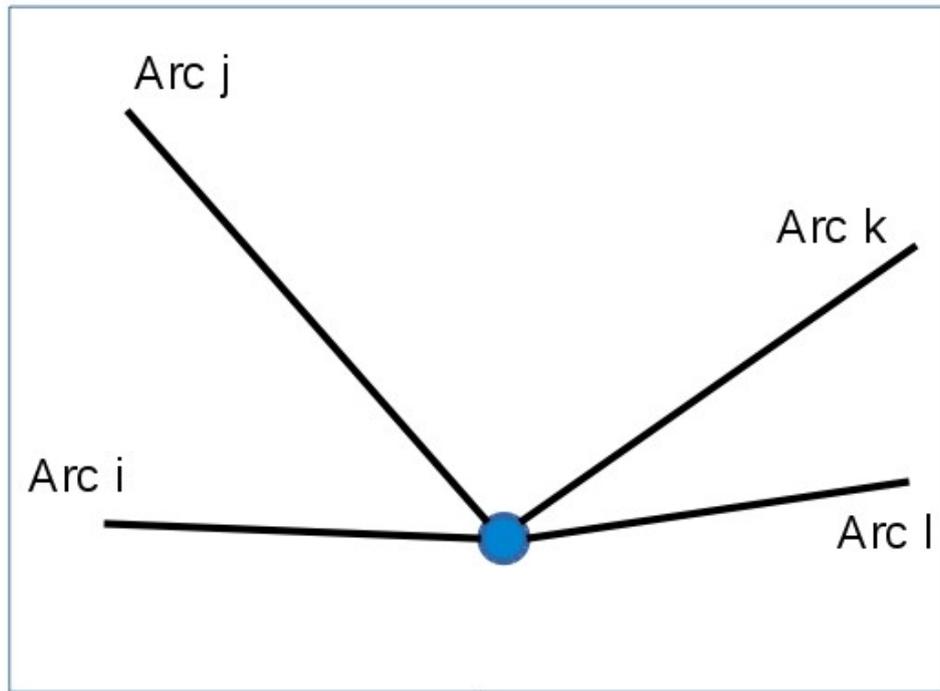


Méthode ICN*
Principe de
"bonne continuation"



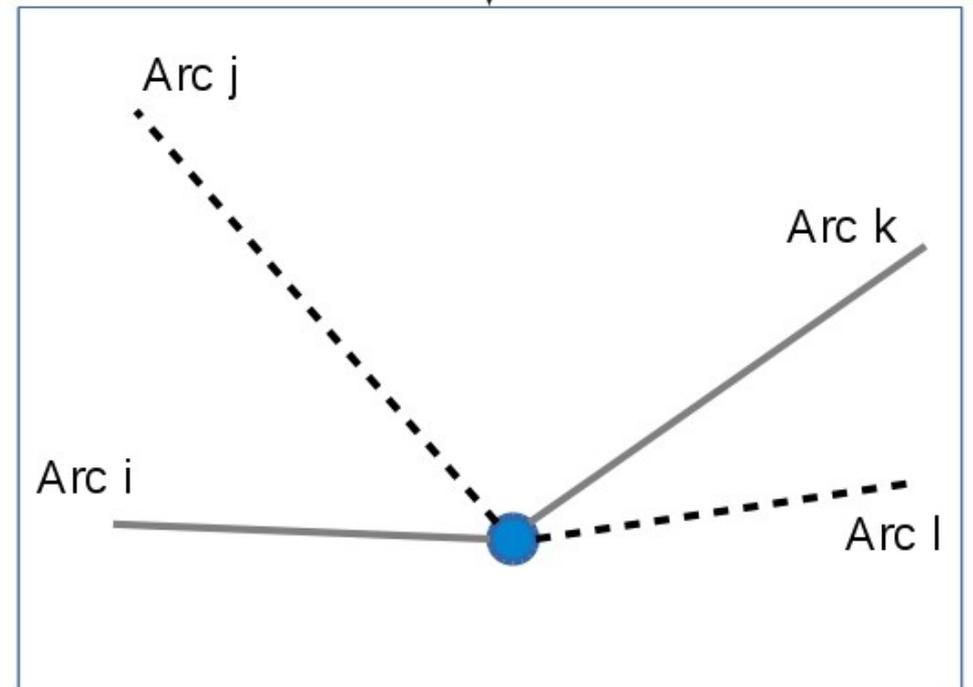
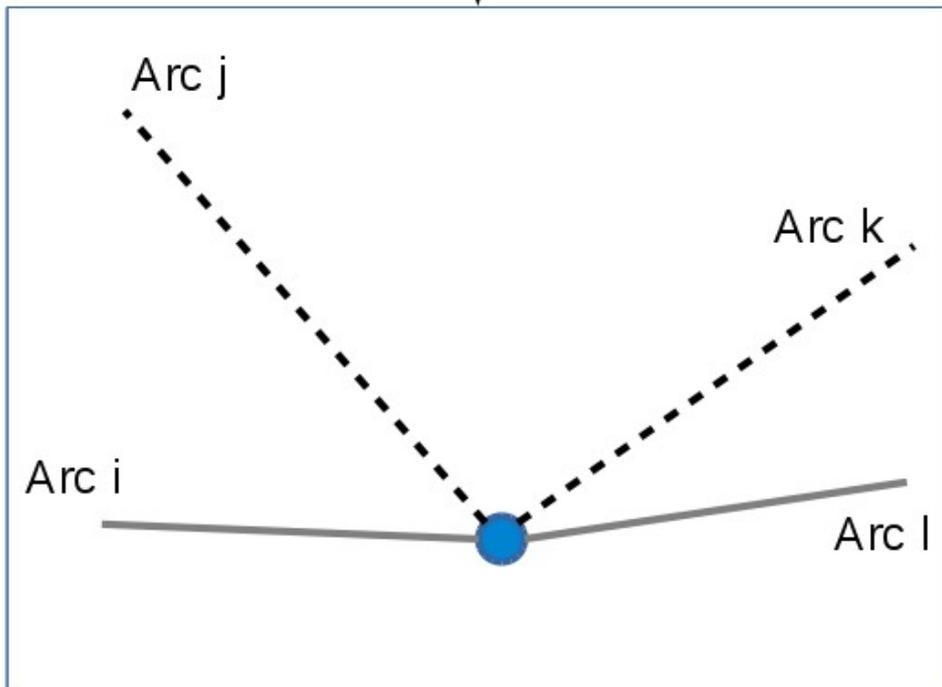
*Intersection
Continuity
Negociation

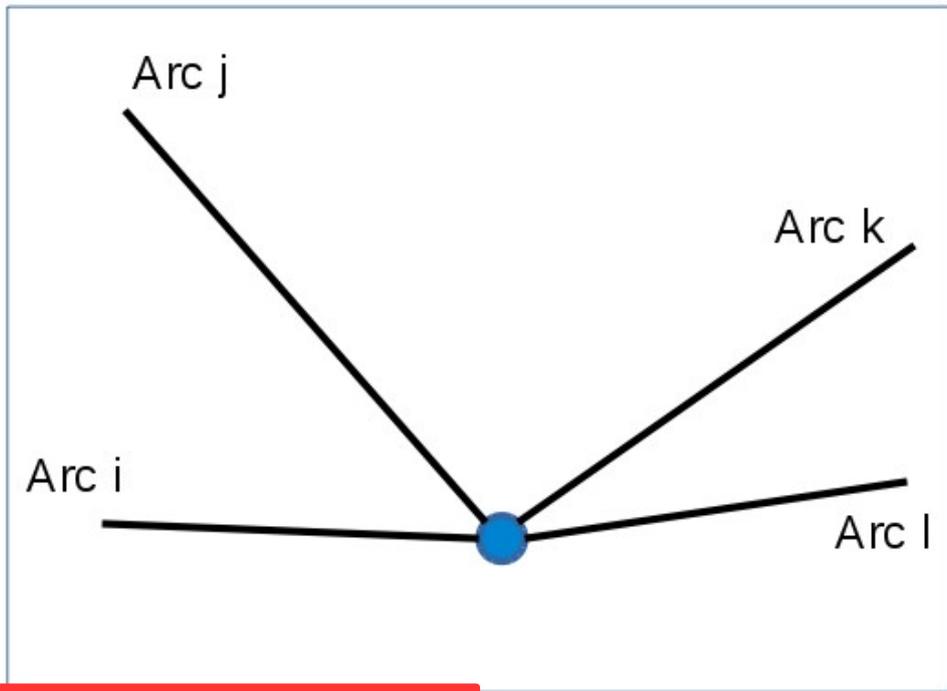




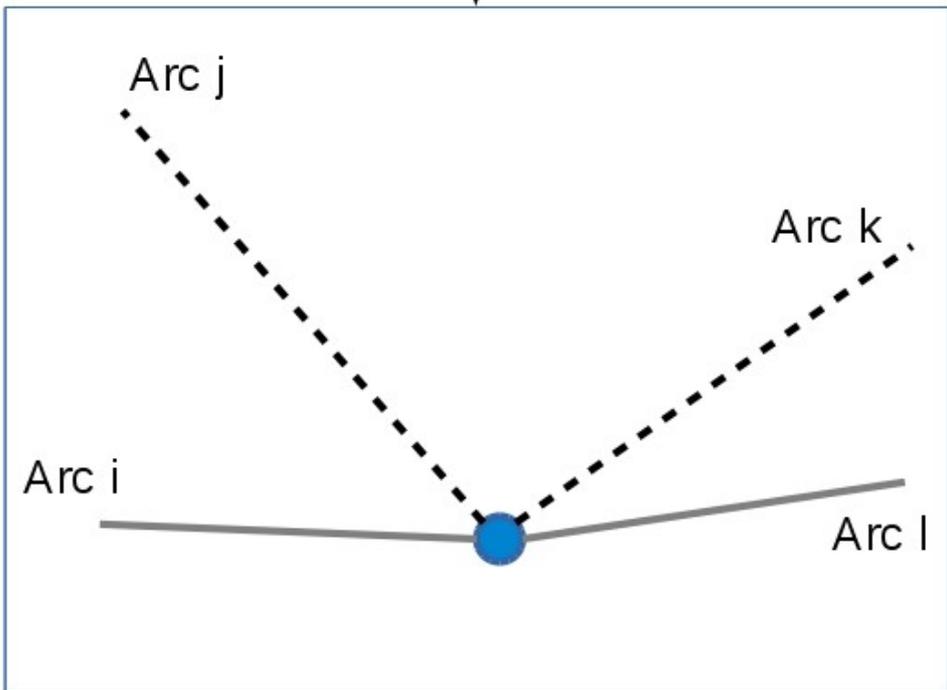
Méthode 0

Méthode 1

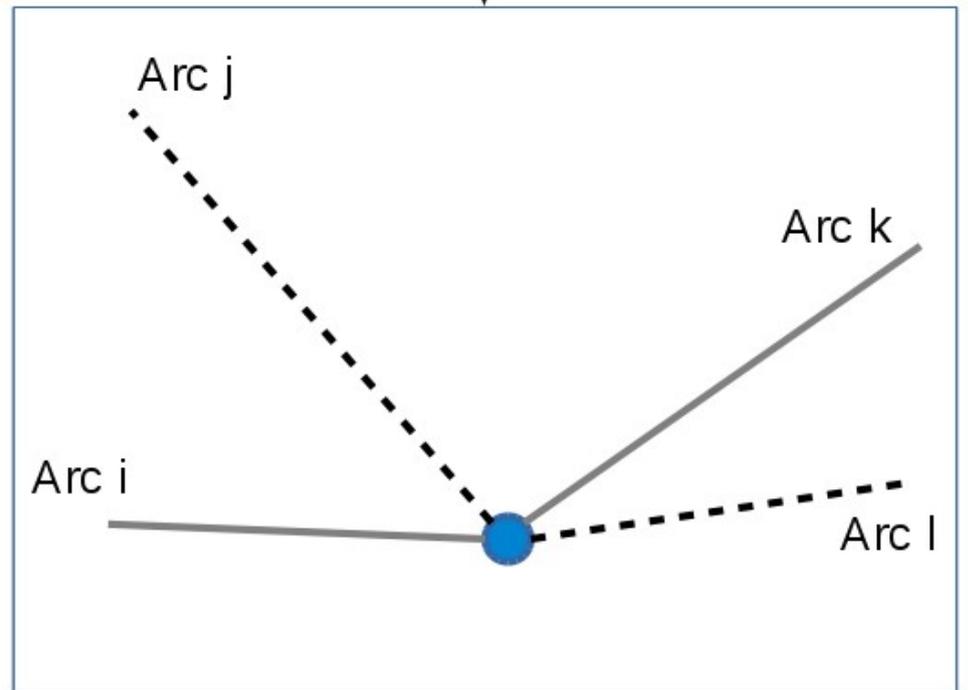


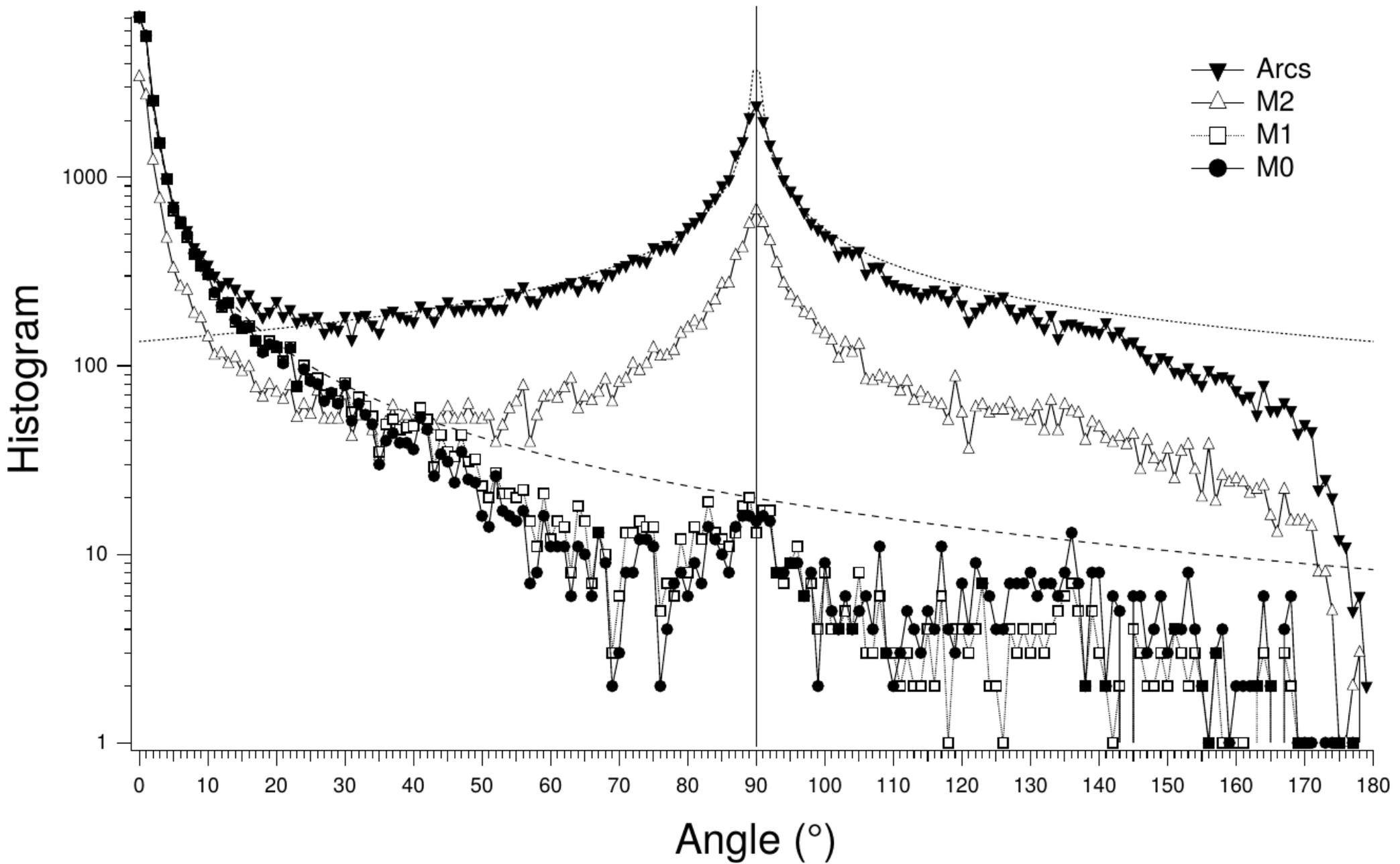


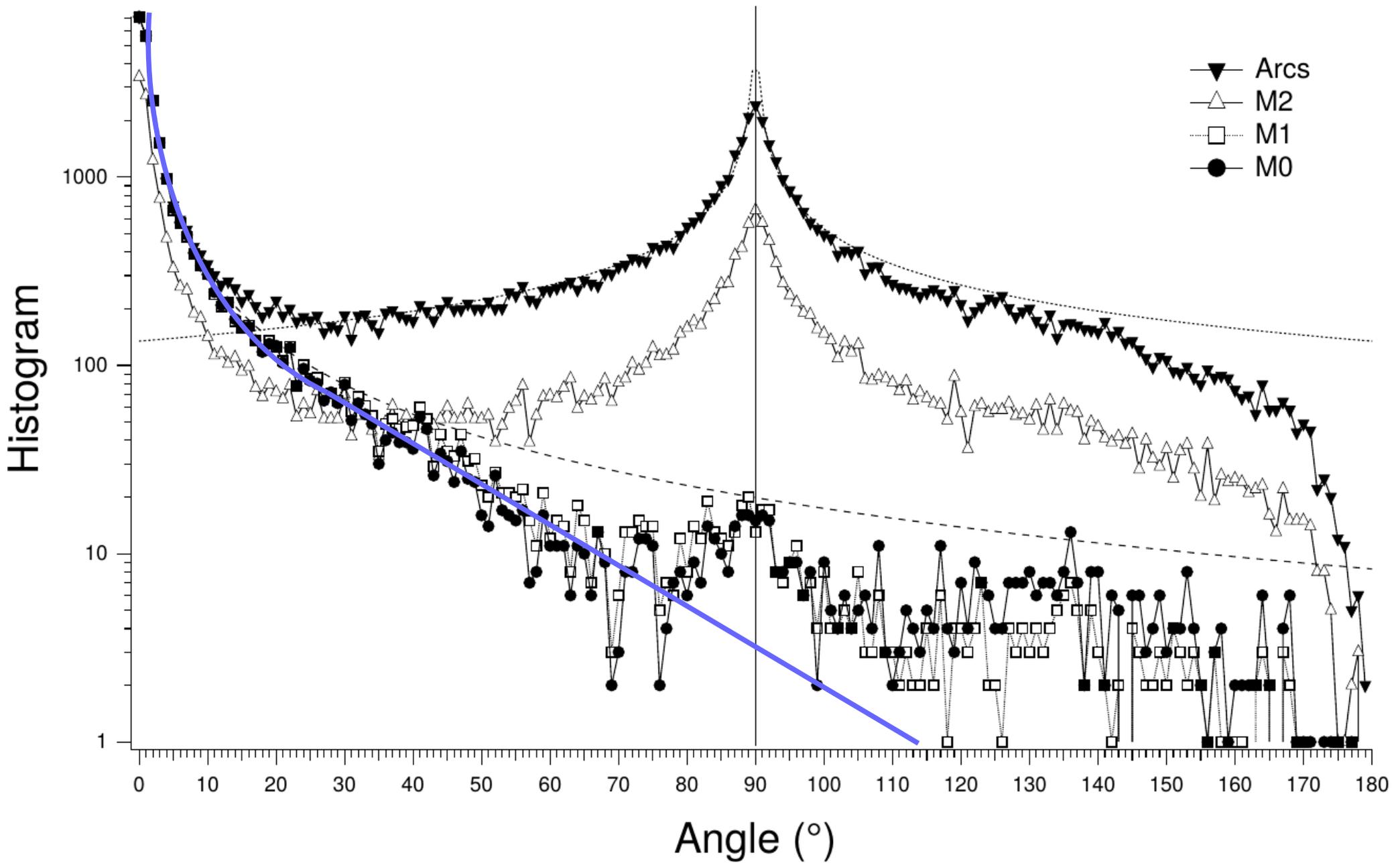
Méthode 0

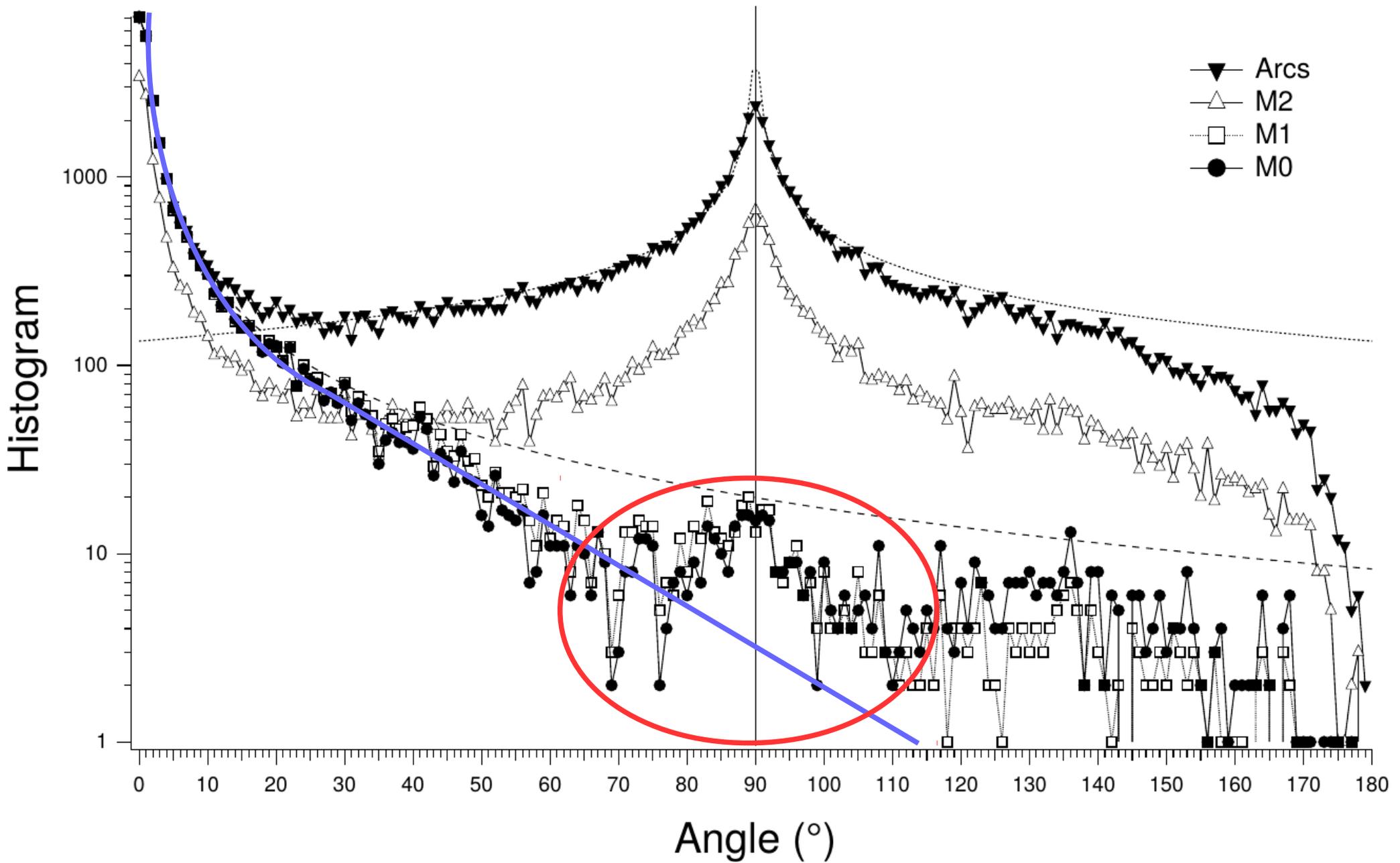


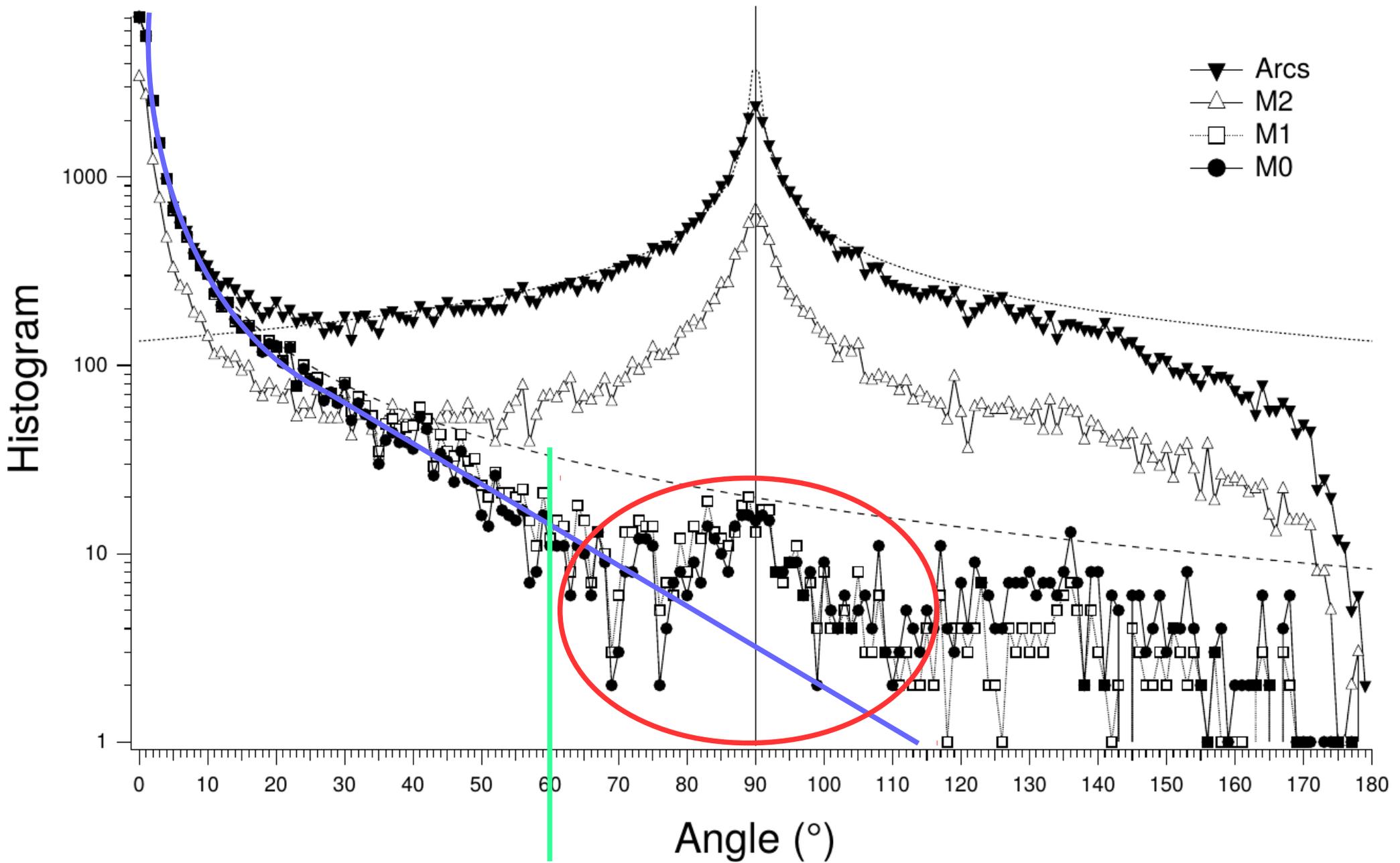
Méthode 1

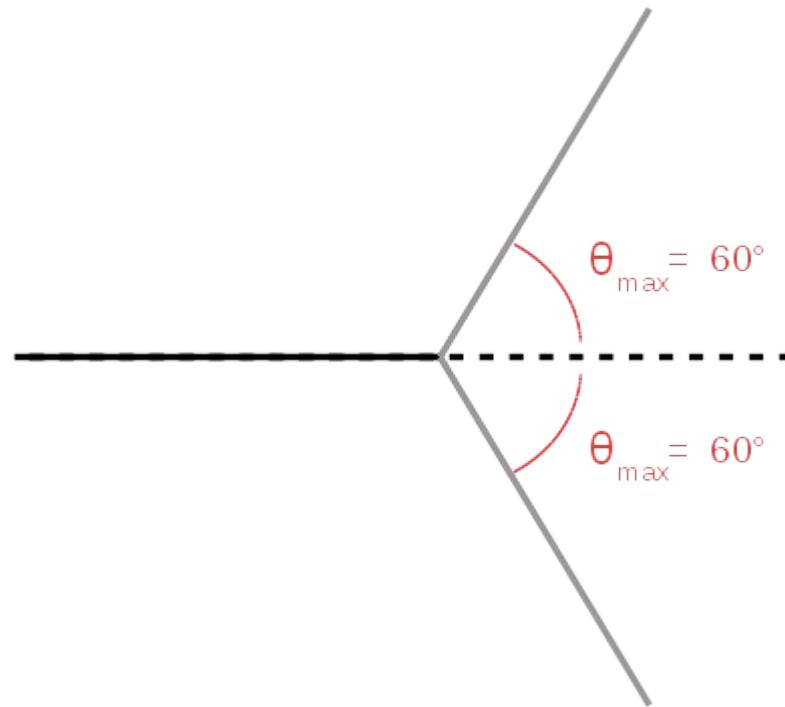




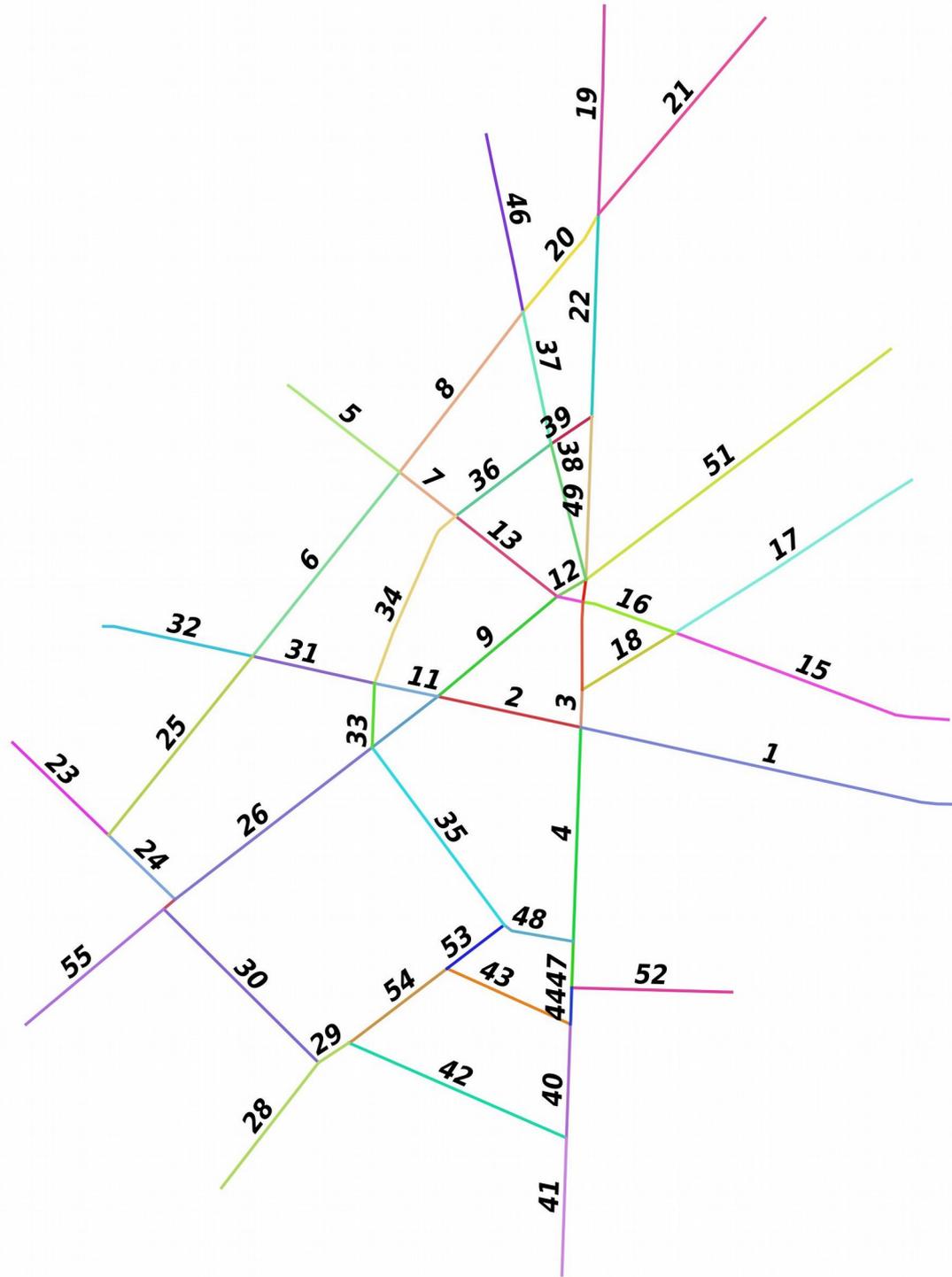








Construction d'un objet de lecture : *la voie*

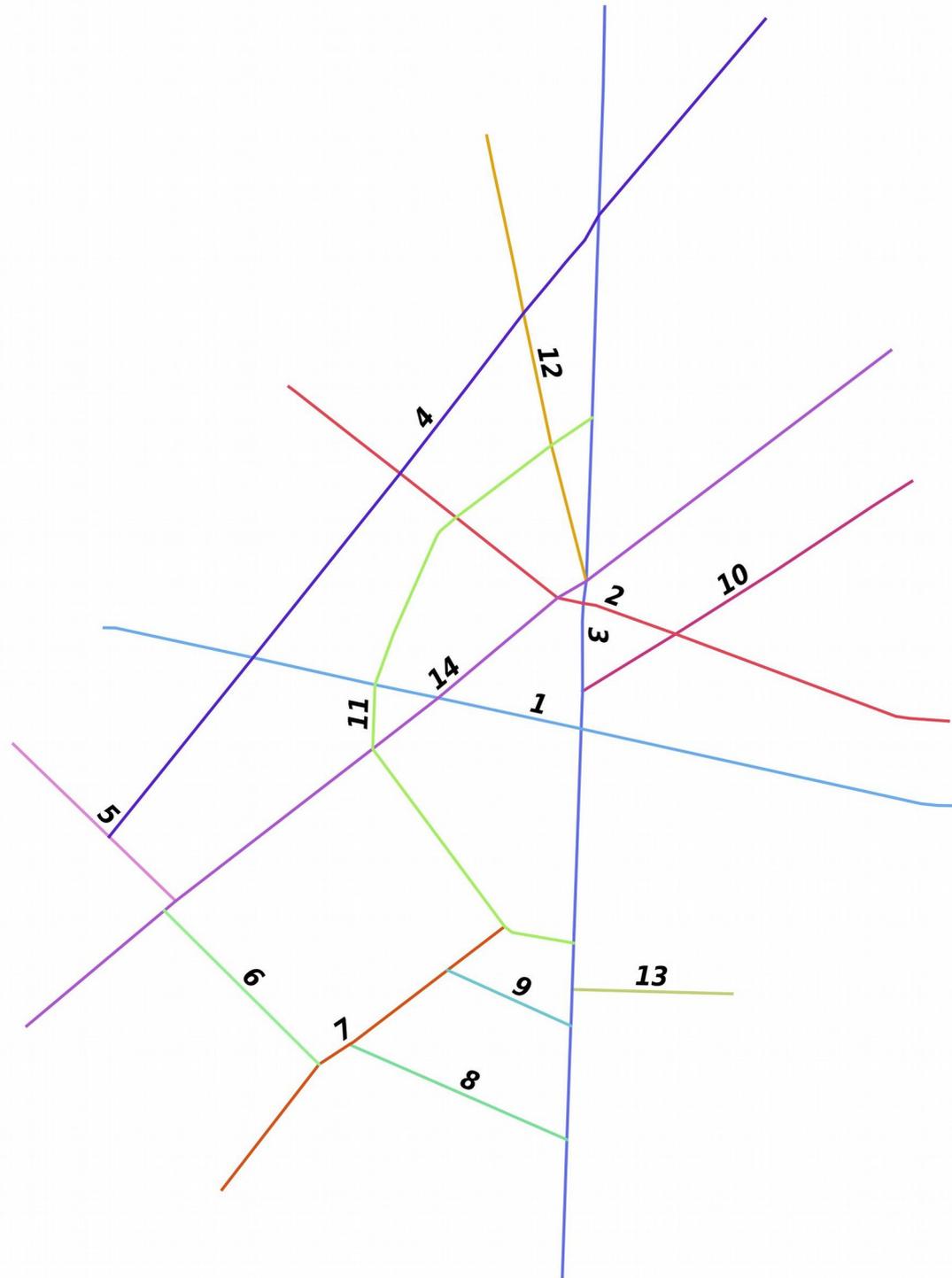


55 arcs

Construction d'un objet de lecture : *la voie*

voies

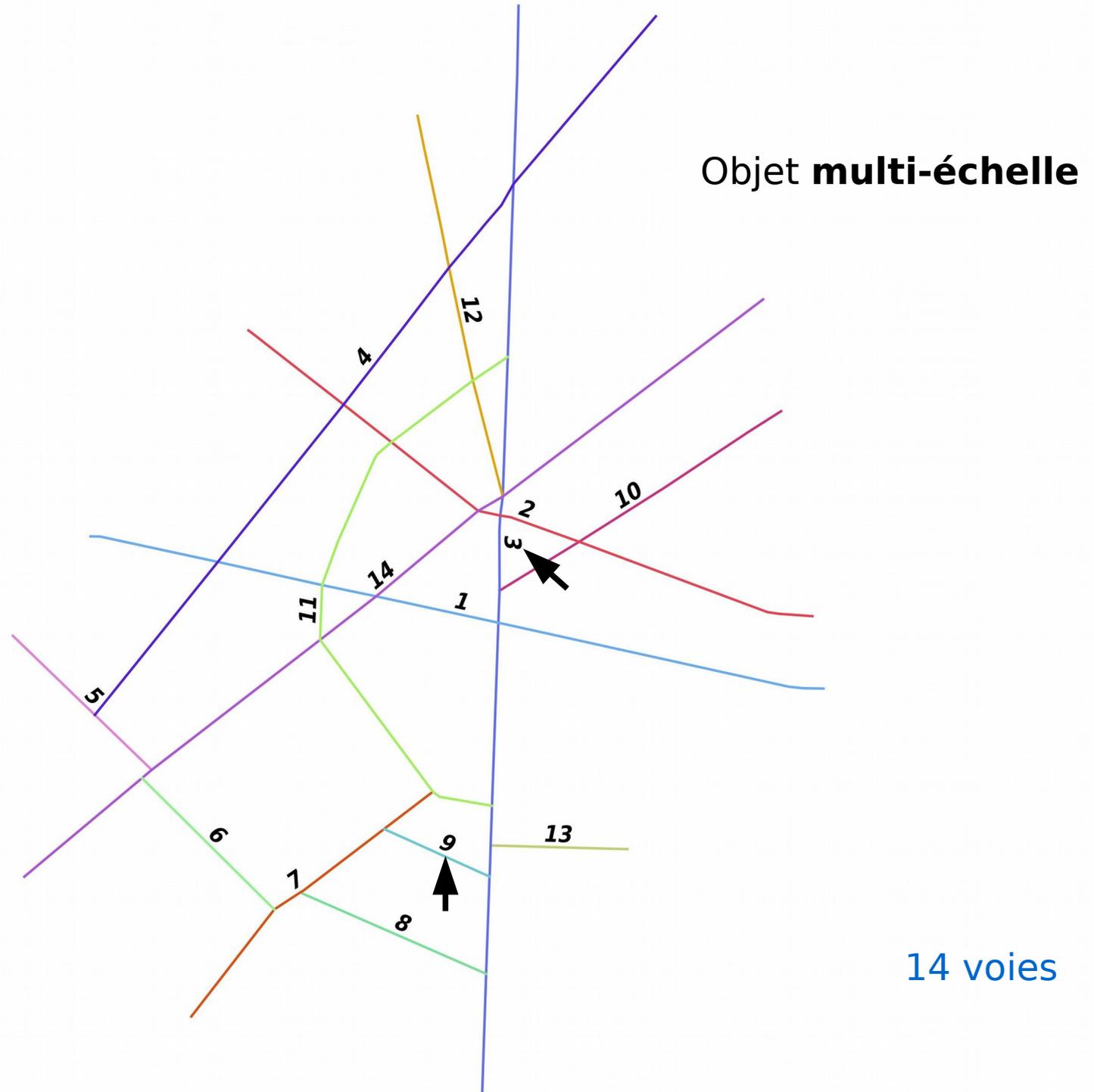
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14



14 voies

voies

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14



- Caractérisation locale
- Caractérisation globale

- Caractérisation locale
- Caractérisation globale

Construction d'un objet de lecture : *la voie* Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale

Degré

arcs [26505]

0 [4697]

1 [4387]

2 [4370]

3 [4143]

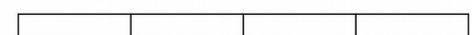
4 [4443]

5 [4465]

26505 arcs



0 1 2 3 4 km



Construction d'un objet de lecture : *la voie* Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale

Degré

voies [6893]

- 0 [2196]
- 1 [1601]
- 2 [1072]
- 3 [688]
- 4 [507]
- 5 [328]
- 6 [213]
- 7 [154]
- 8 [94]
- 9 [40]

6893 voies



0 1 2 3 4 km

Construction d'un objet de lecture : *la voie*

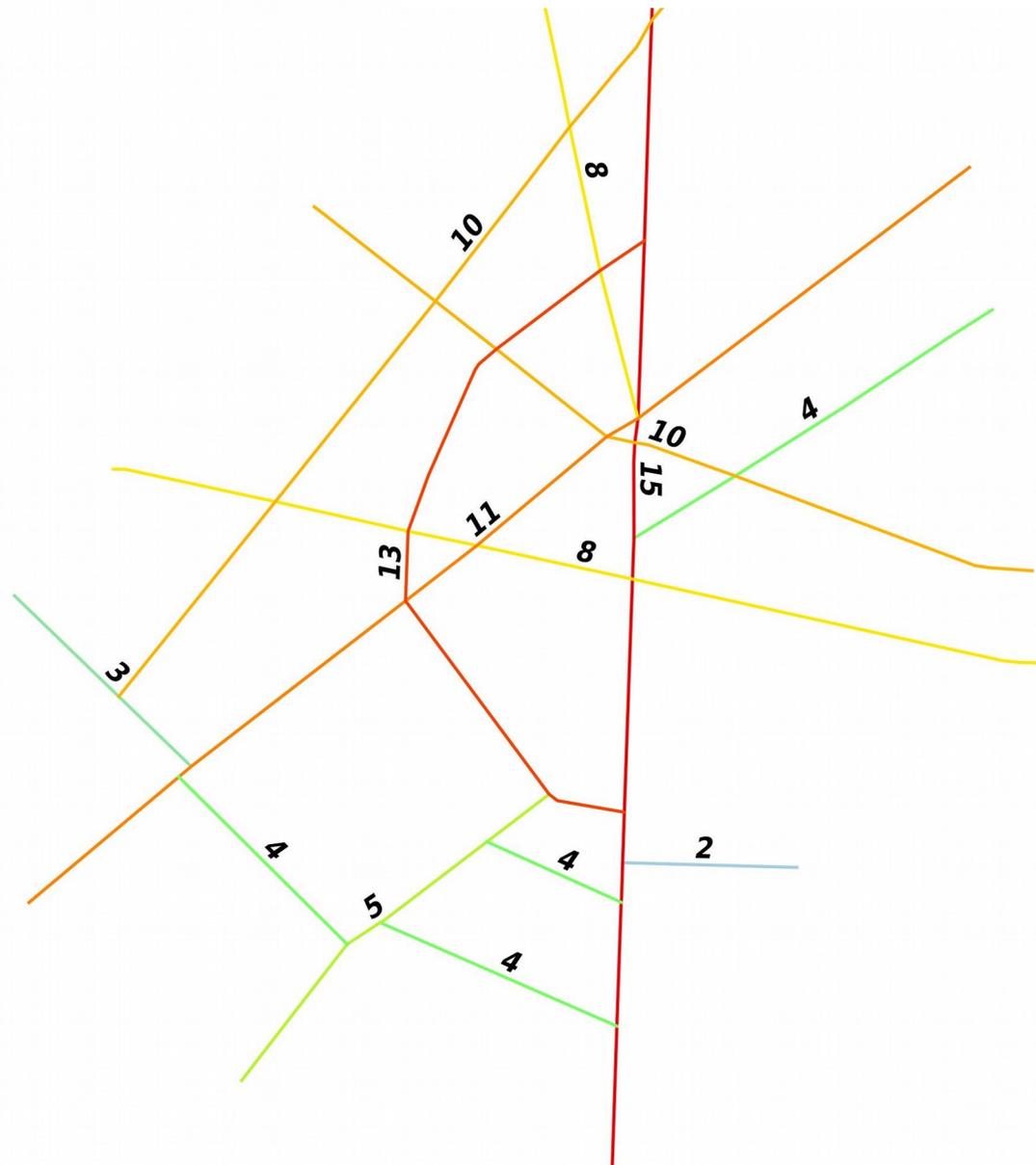
Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale

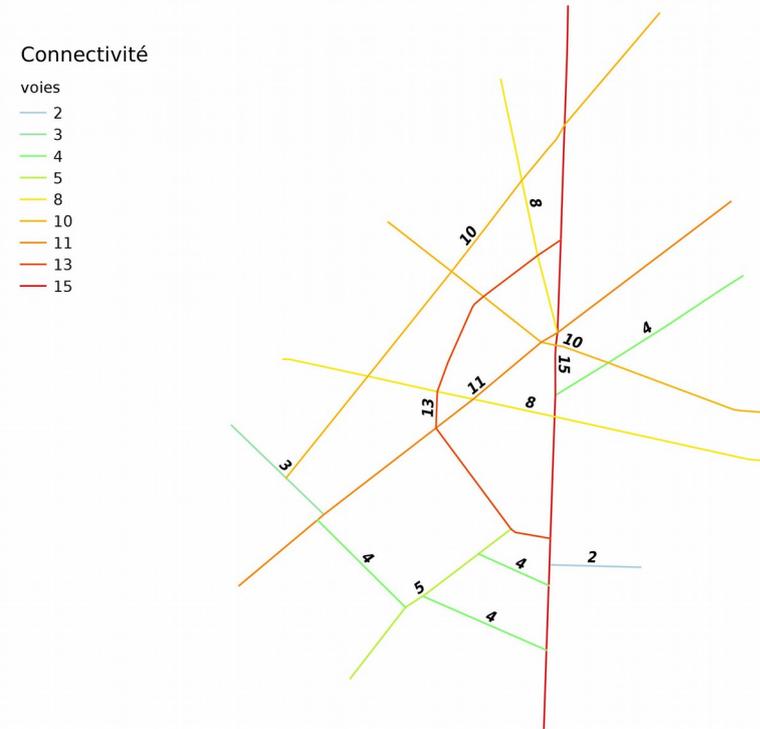
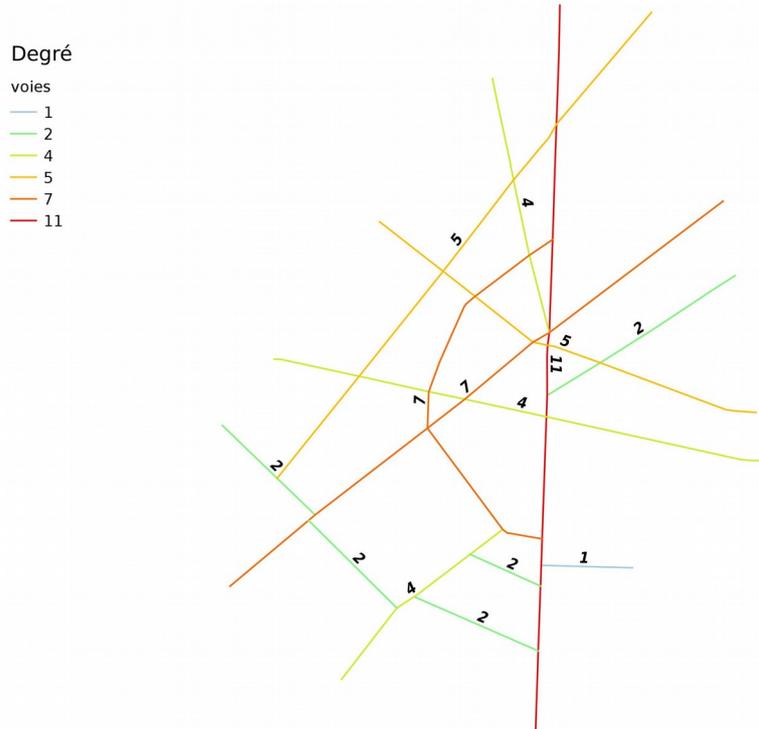
Connectivité

voies

- 2
- 3
- 4
- 5
- 8
- 10
- 11
- 13
- 15

$$connectivite(v_{ref}) = \sum_{s \in v_{ref}} Card(a / [(s \in a) \wedge (a \notin v_{ref})])$$





Degré de desserte

$$\text{degreDesserte}(v_{ref}) = \text{connectivite}(v_{ref}) - \text{degre}(v_{ref})$$

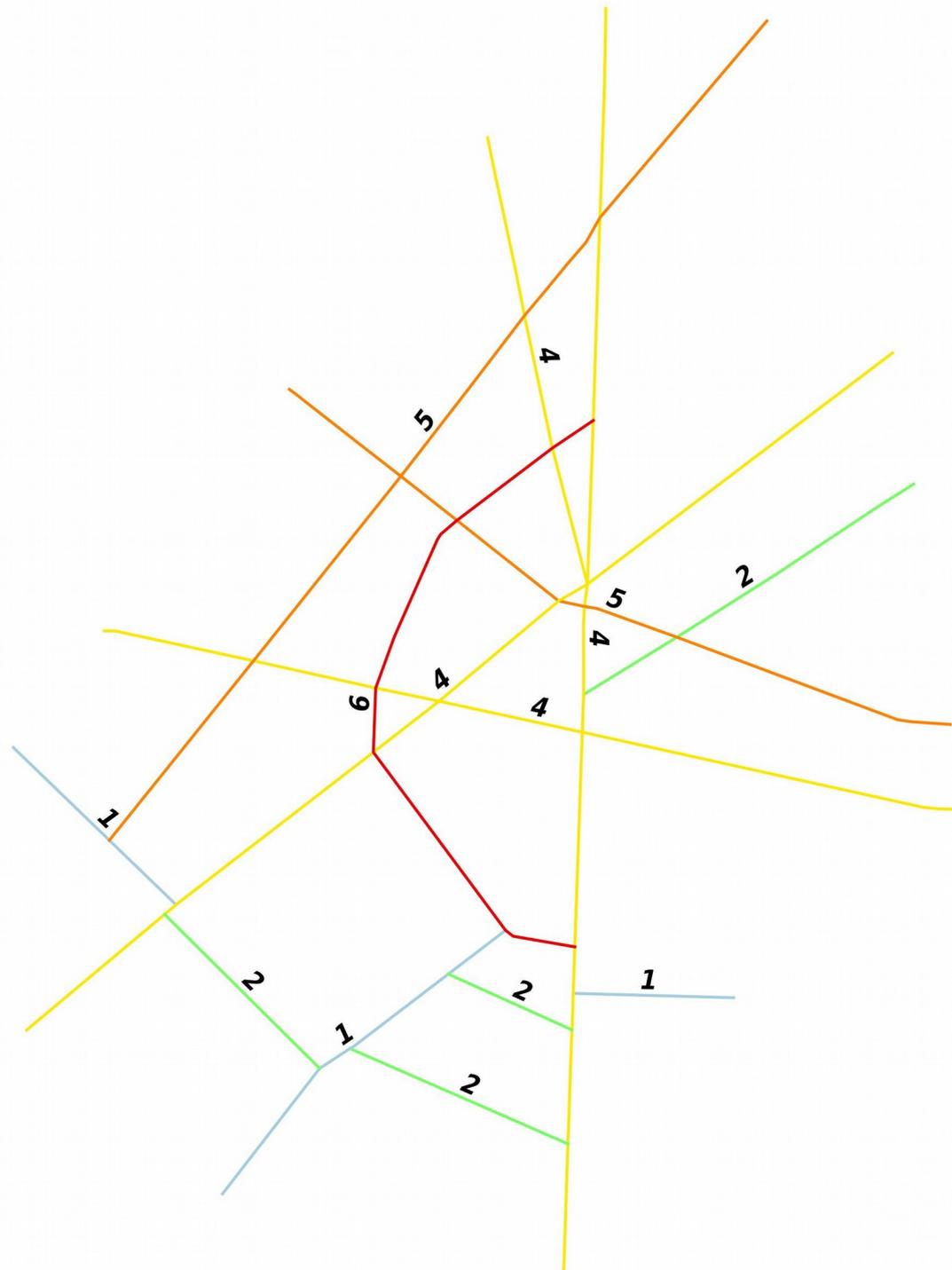
Construction d'un objet de lecture : *la voie*

Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale

Degré de desserte

voies

- 1
- 2
- 4
- 5
- 6

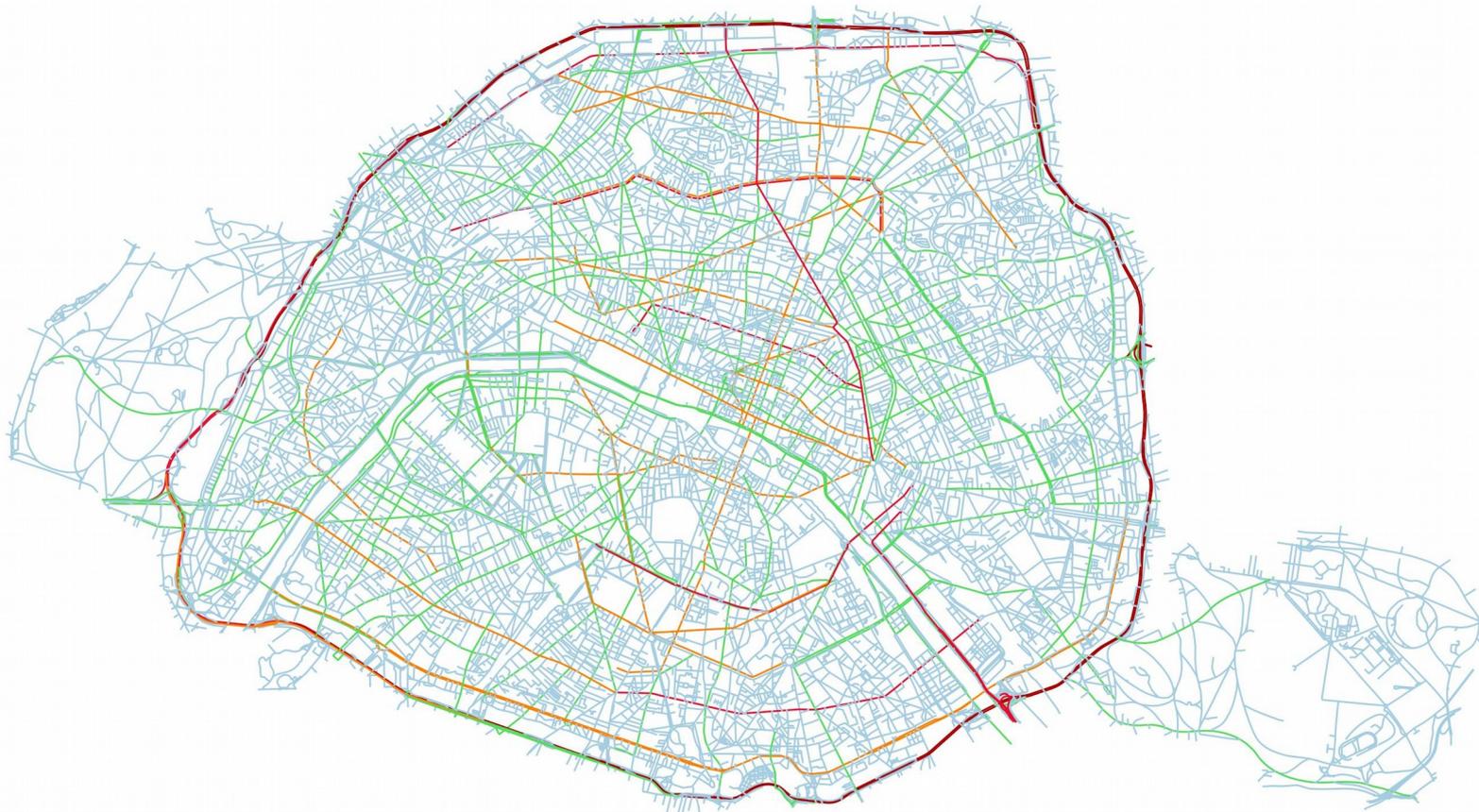


Construction d'un objet de lecture : *la voie* Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale

Degré de desserte

voies

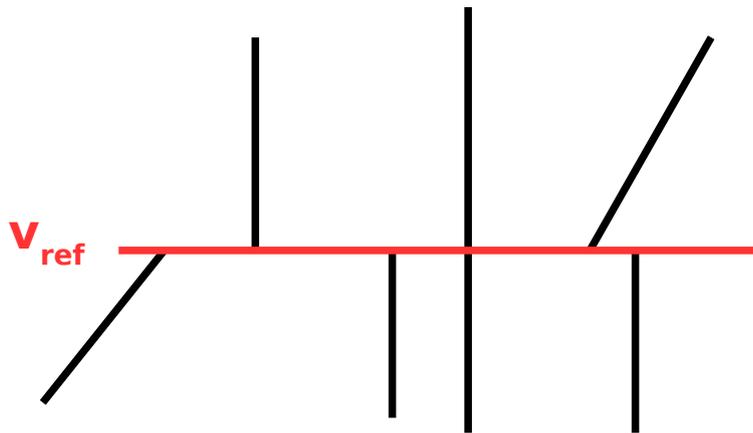
- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 60
- 60 - 120



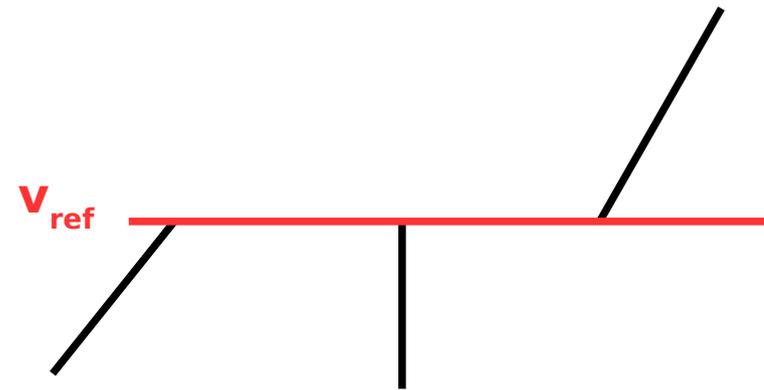
0 1 2 3 4 km

Espacement

$$\text{espacement}(v_{ref}) = \frac{\text{longueur}(v_{ref})}{\text{connectivite}(v_{ref})}$$



Espacement faible
Densité linéaire forte



Espacement fort
Densité linéaire faible

Construction d'un objet de lecture : *la voie* Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale

Espacement

voies

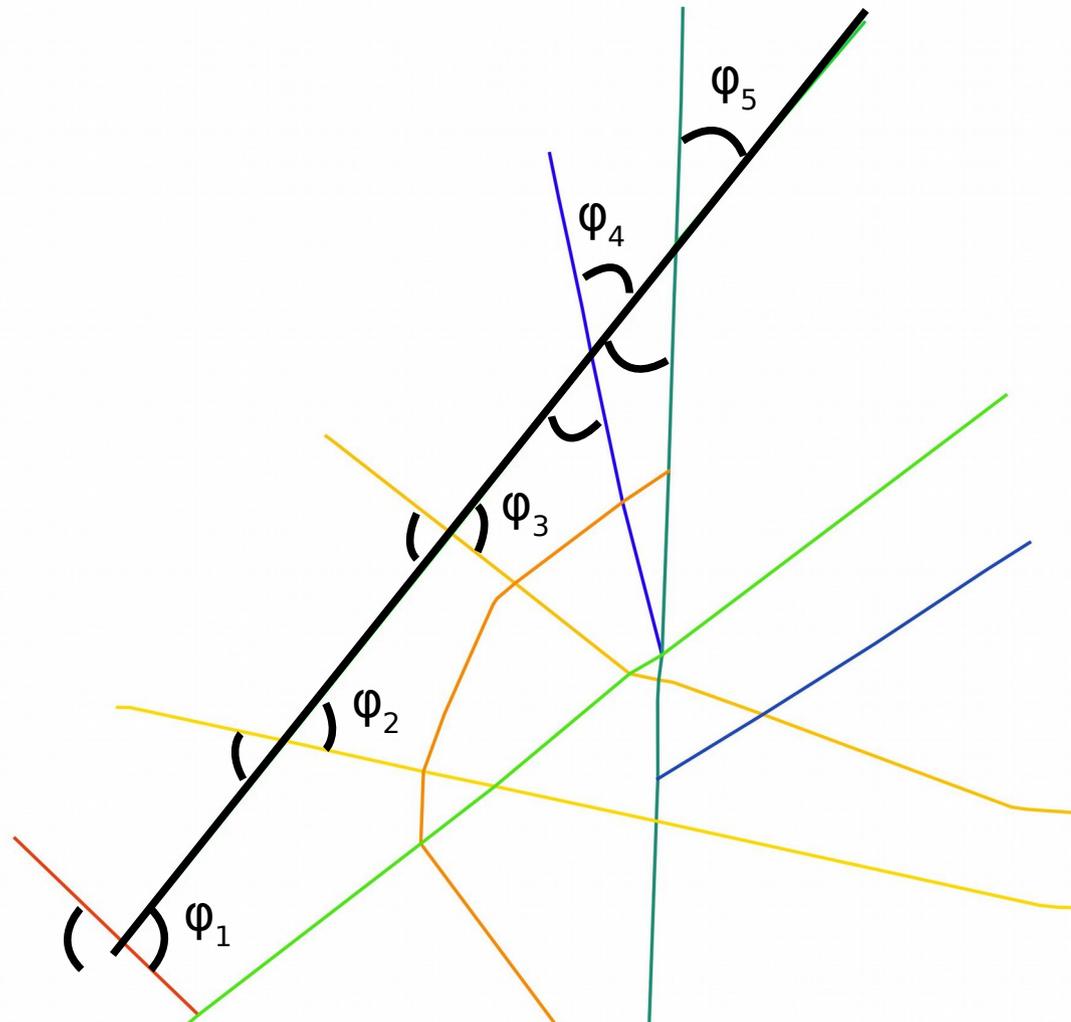
- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9



0 1 2 3 4 km

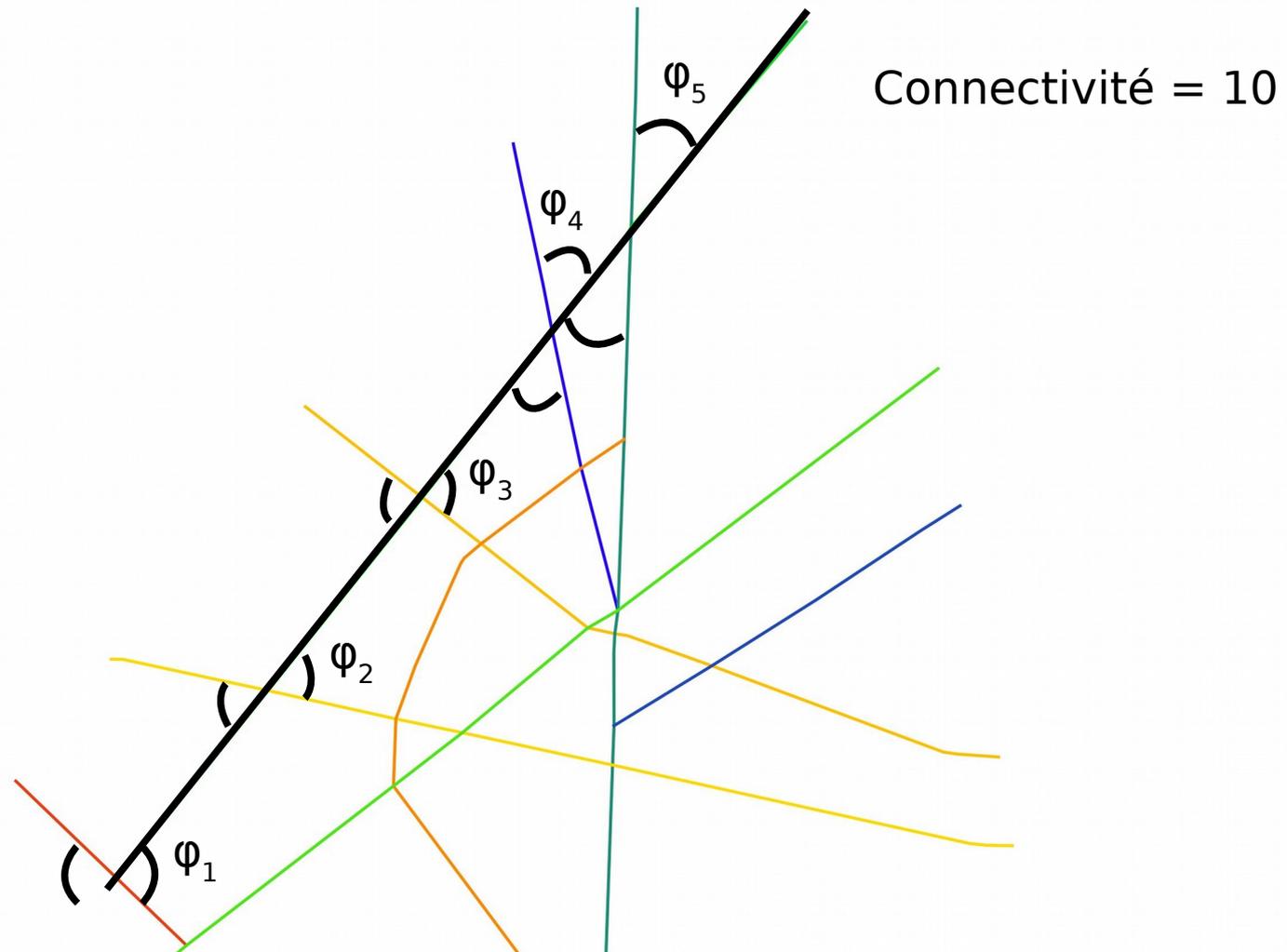
Orthogonalité

$$orthogonalite(v_{ref}) = \frac{\sum_{s \in v_{ref}} \sum_{arc_i \cap s \wedge arc_i \notin v_{ref}} \min(\sin(\varphi_{arc_i arc_j})) / (arc_j \cap s \wedge arc_j \in v_{ref})}{connectivite(v_{ref})}$$



Orthogonalité

$$orthogonalite(v_{ref}) = \frac{\sum_{s \in v_{ref}} \sum_{arc_i \cap s \wedge arc_i \notin v_{ref}} \min(\sin(\varphi_{arc_i arc_j})) / (arc_j \cap s \wedge arc_j \in v_{ref})}{connectivite(v_{ref})}$$



Orthogonalité

voies

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9



0 1 2 3 4 km



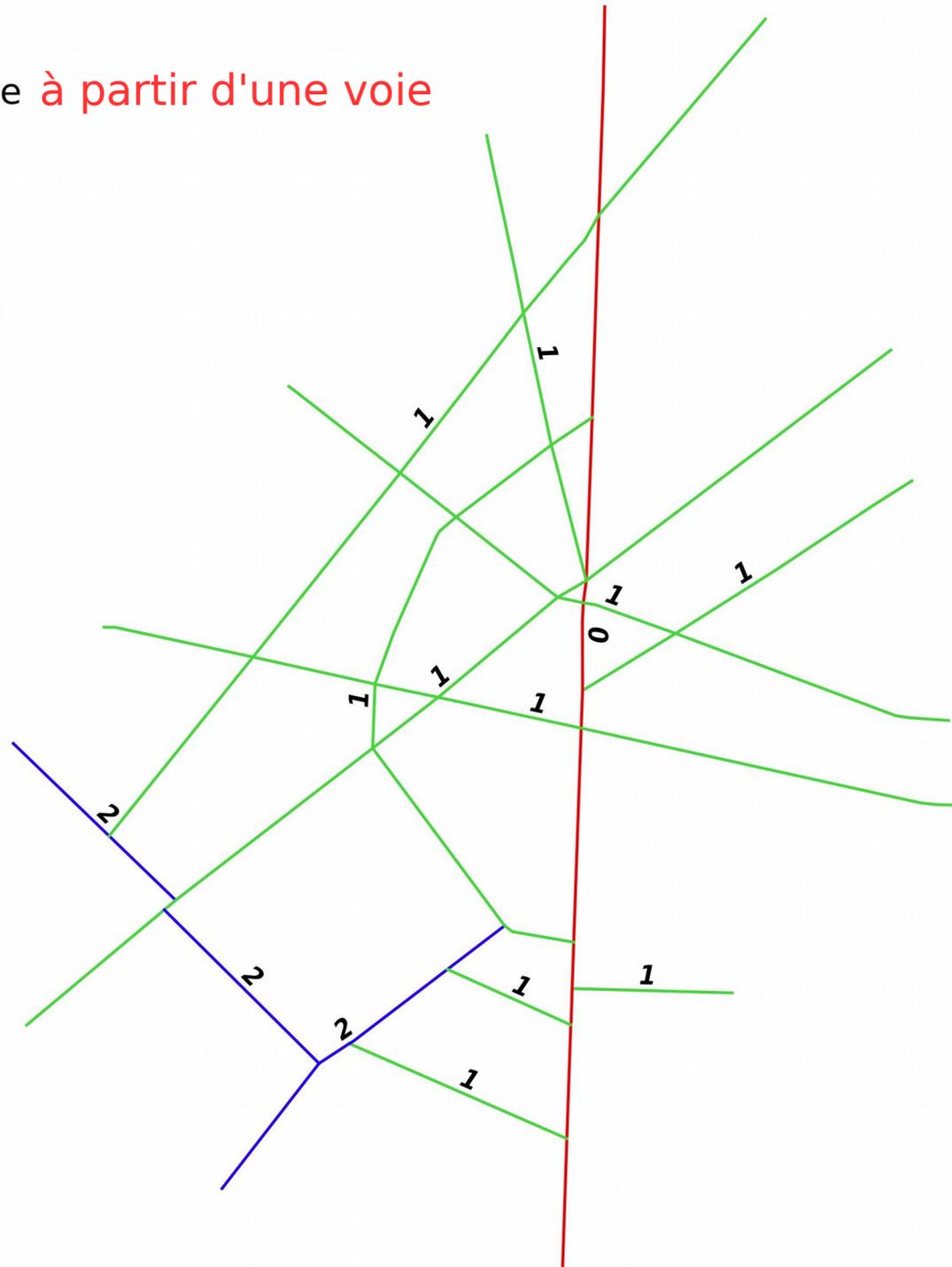
- Caractérisation locale
- **Caractérisation globale**

Construction d'un objet de lecture : *la voie*

Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale

Distance topologique à partir d'une voie

voies
— 0
— 1
— 2



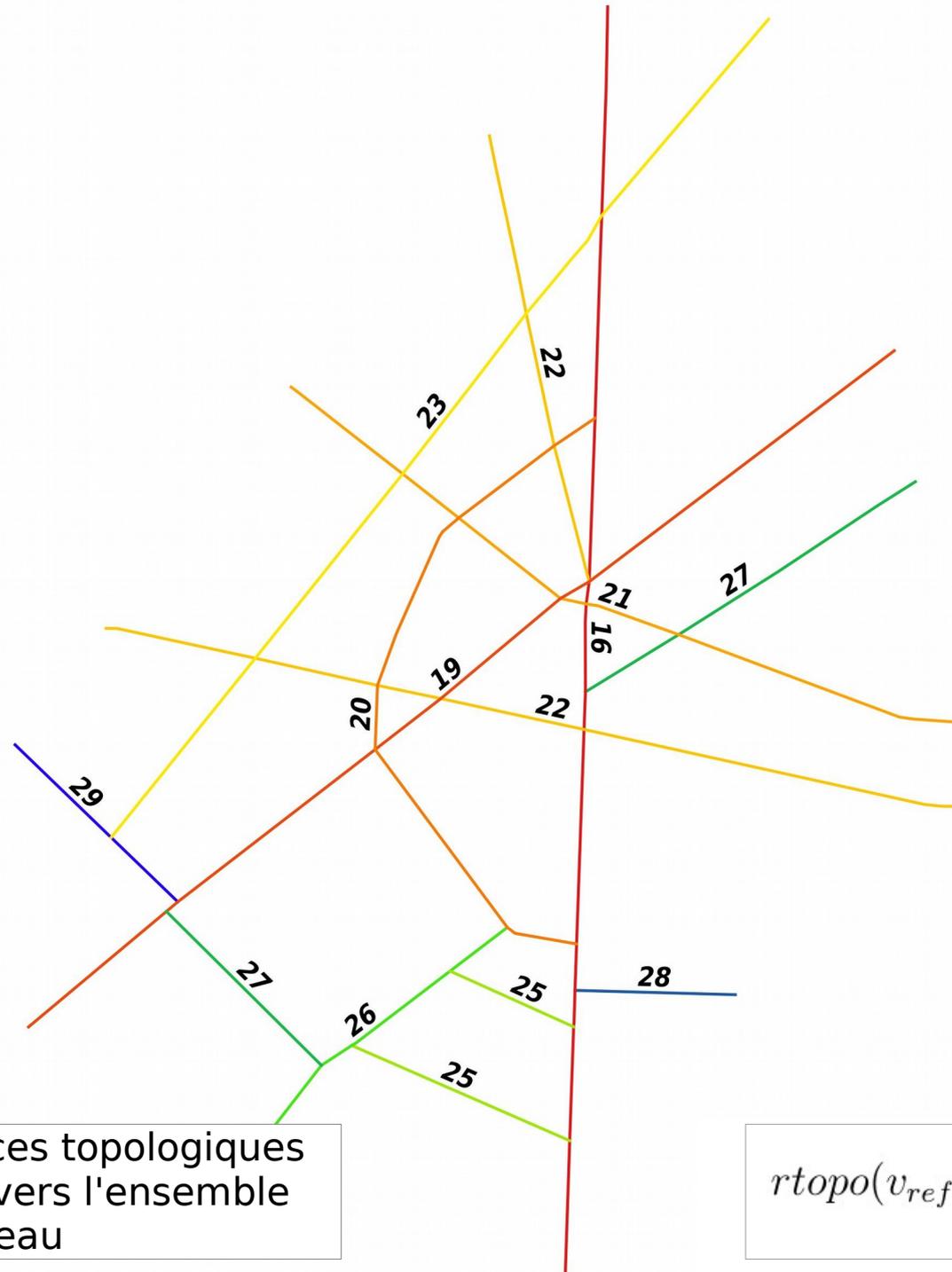
Construction d'un objet de lecture : *la voie*

Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale

Rayon topologique

voies

- 16
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29



Somme des distances topologiques
pour chaque voie vers l'ensemble
du réseau

$$r_{topo}(v_{ref}) = \sum_{v \in G} d_{simple}(v, v_{ref})$$

Closeness centrality

voies

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9



0 1 2 3 4 km

$$closeness(v_{ref}) = \frac{1}{\sum_{v \in G} d_{simple}(v, v_{ref})}$$

$$rtopo(v_{ref}) = \sum_{v \in G} d_{simple}(v, v_{ref})$$

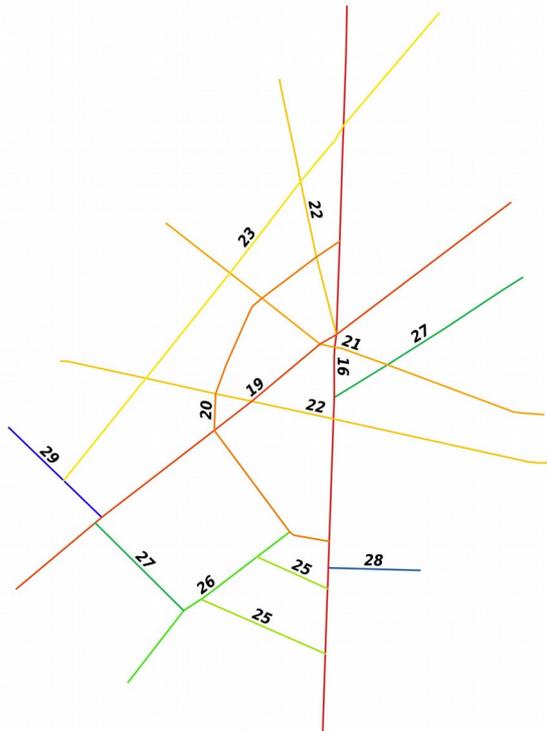
Accessibilité

$$accessibilite(v_{ref}) = \sum_{v \in G} [d_{simple}(v, v_{ref}) \times longueur(v)]$$

Rayon topologique

voies

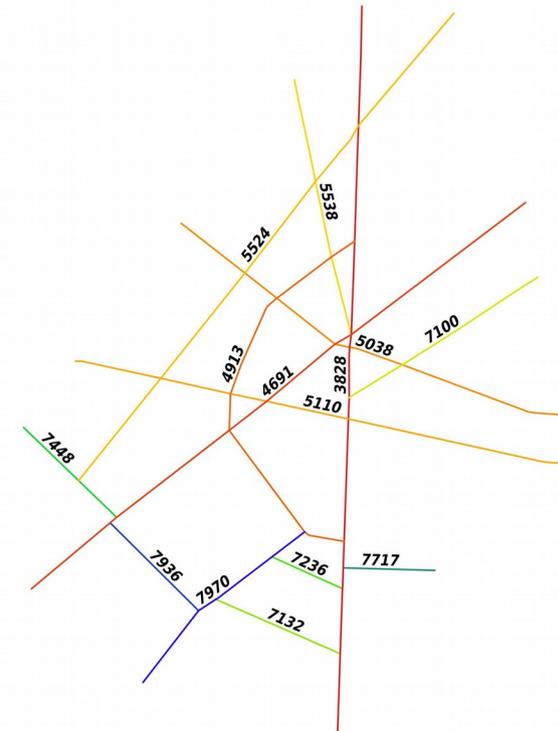
- 16
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29



Accessibilité

voies

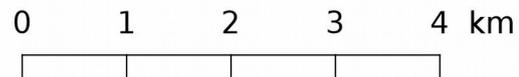
- 3828
- 4691
- 4913
- 5038
- 5110
- 5524
- 5538
- 7100
- 7132
- 7236
- 7448
- 7717
- 7936
- 7970



Accessibilité

voies

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9



$$accessibilite(v_{ref}) = \sum_{v \in G} [d_{simple}(v, v_{ref}) \times longueur(v)]$$

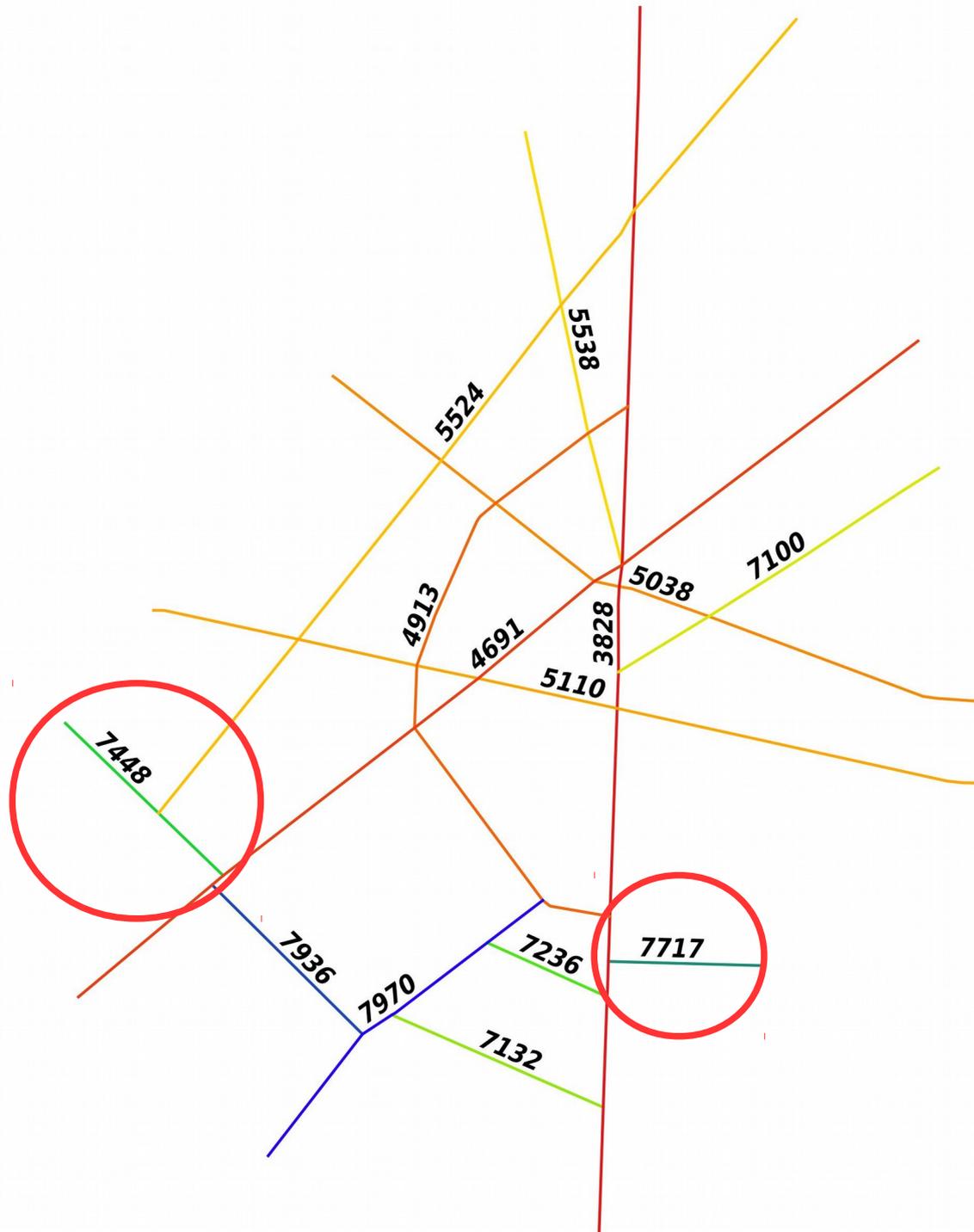
Construction d'un objet de lecture : *la voie*

Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale

Accessibilité

voies

- 3828
- 4691
- 4913
- 5038
- 5110
- 5524
- 5538
- 7100
- 7132
- 7236
- 7448
- 7717
- 7936
- 7970



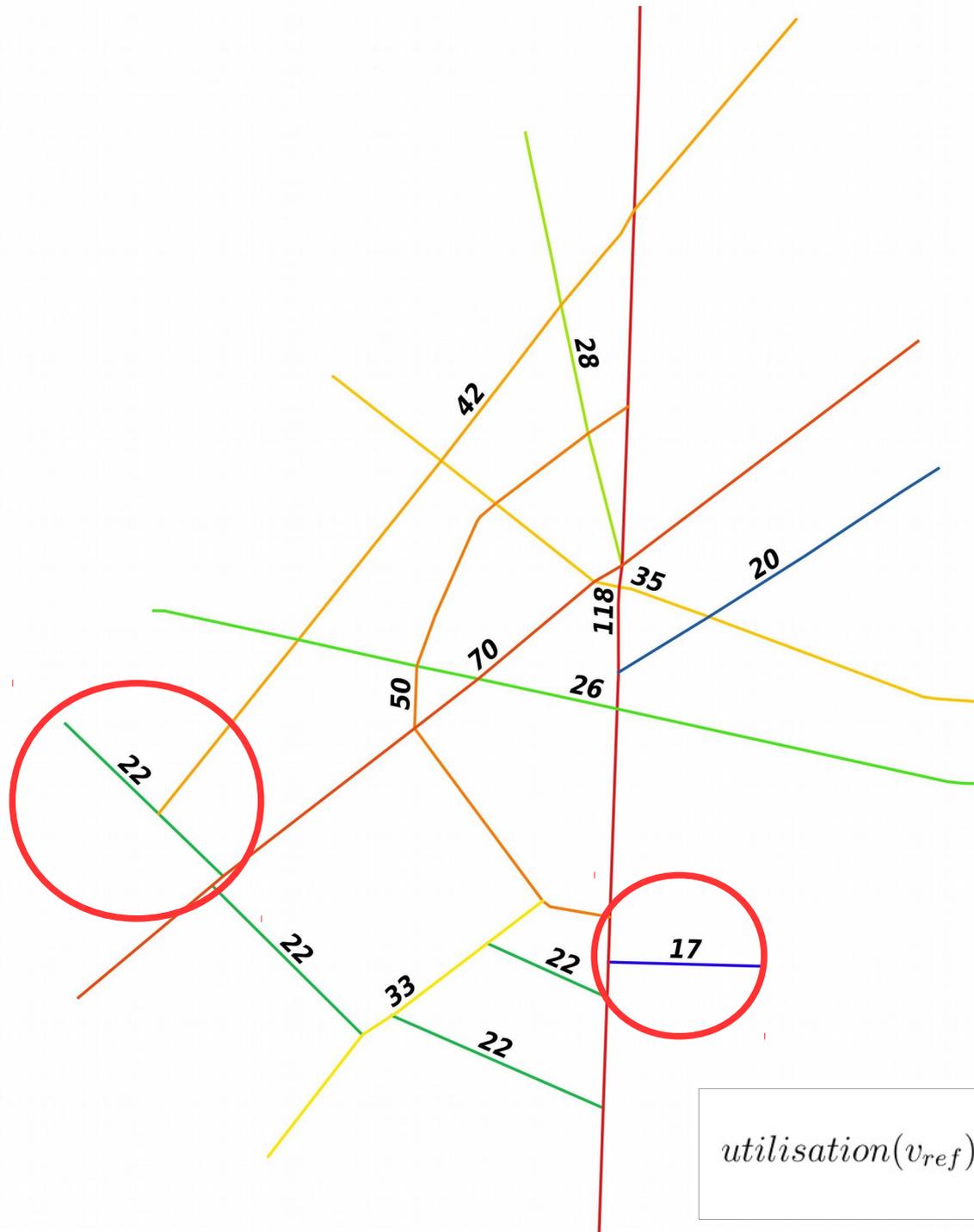
Construction d'un objet de lecture : *la voie*

Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale

Utilisation

voies

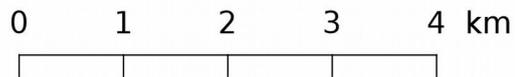
- 17
- 20
- 22
- 26
- 28
- 33
- 35
- 42
- 50
- 70
- 118



$$utilisation(v_{ref}) = \sum_{v_1 \neq v_2 \neq v_{ref} \in G} \sigma_{v_1 v_2}(v_{ref})$$

Stress centrality (Utilisation)

voies



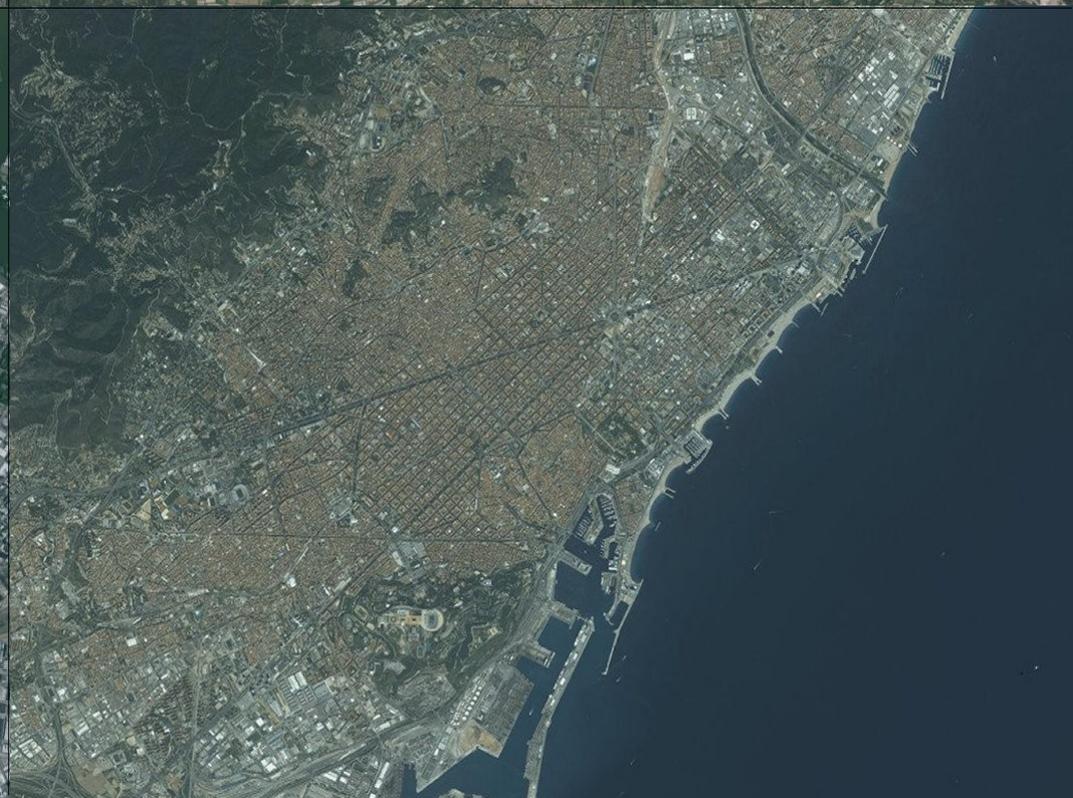
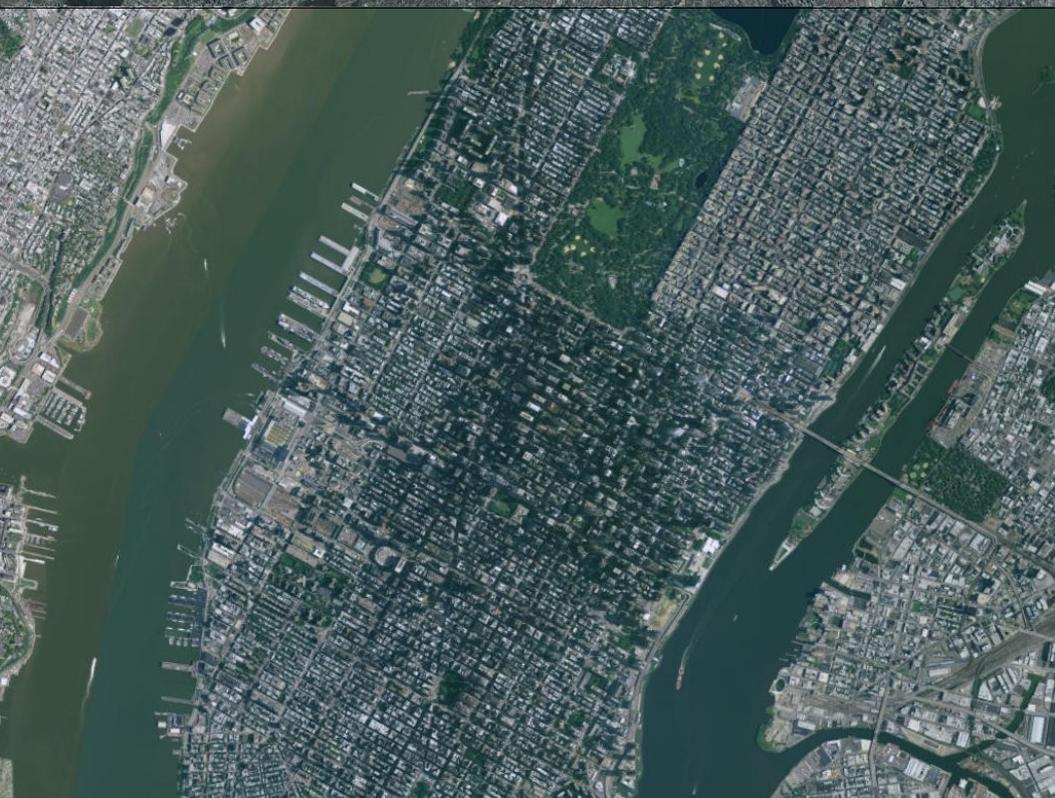
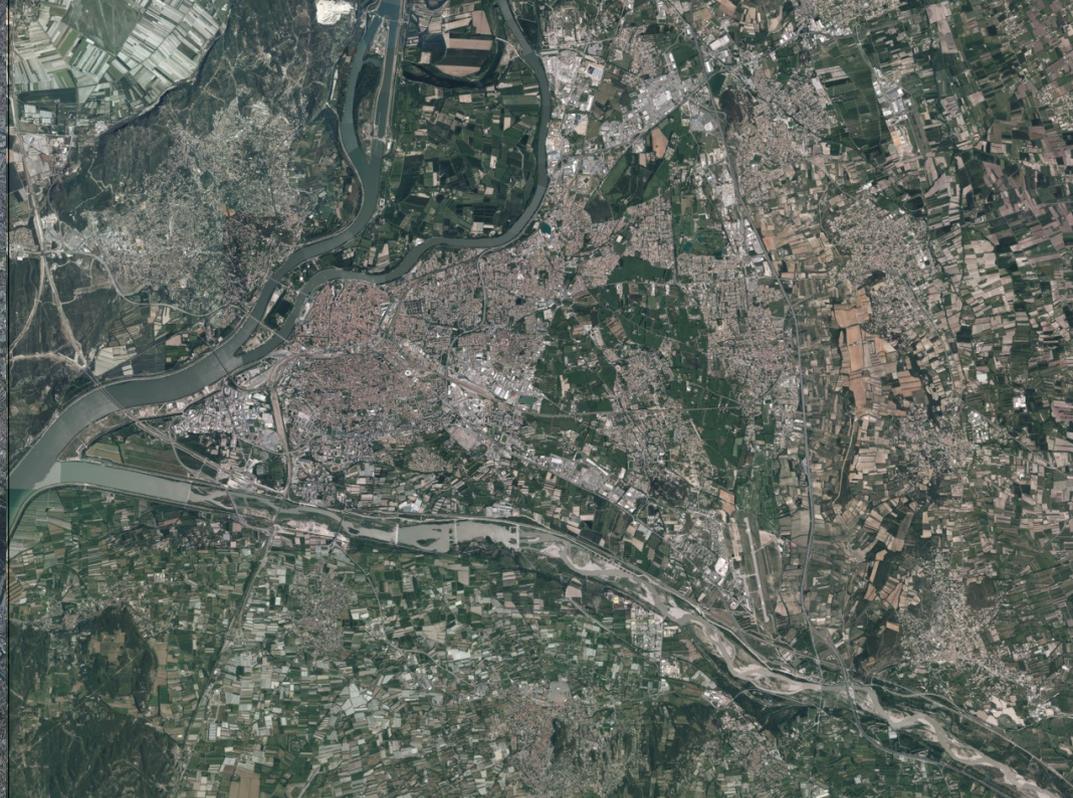
$$utilisation(v_{ref}) = \sum_{v_1 \neq v_2 \neq v_{ref} \in G} \sigma_{v_1 v_2}(v_{ref})$$

Les **indicateurs classiques** de la théorie des graphes

- Longueur
- Degré
- Betweenness centrality
- Utilisation (Stress centrality)
- Closeness centrality

Les **indicateurs complémentaires proposés**

- Degré de desserte
- Espacement
- Orthogonalité
- Accessibilité



Paris (extrait)

— voies



0 1 2 3 4 km

Avignon (extrait)

— voies



0 1 2 3 4 km

Manhattan (extrait)

— voies



0 1 2 3 4 km

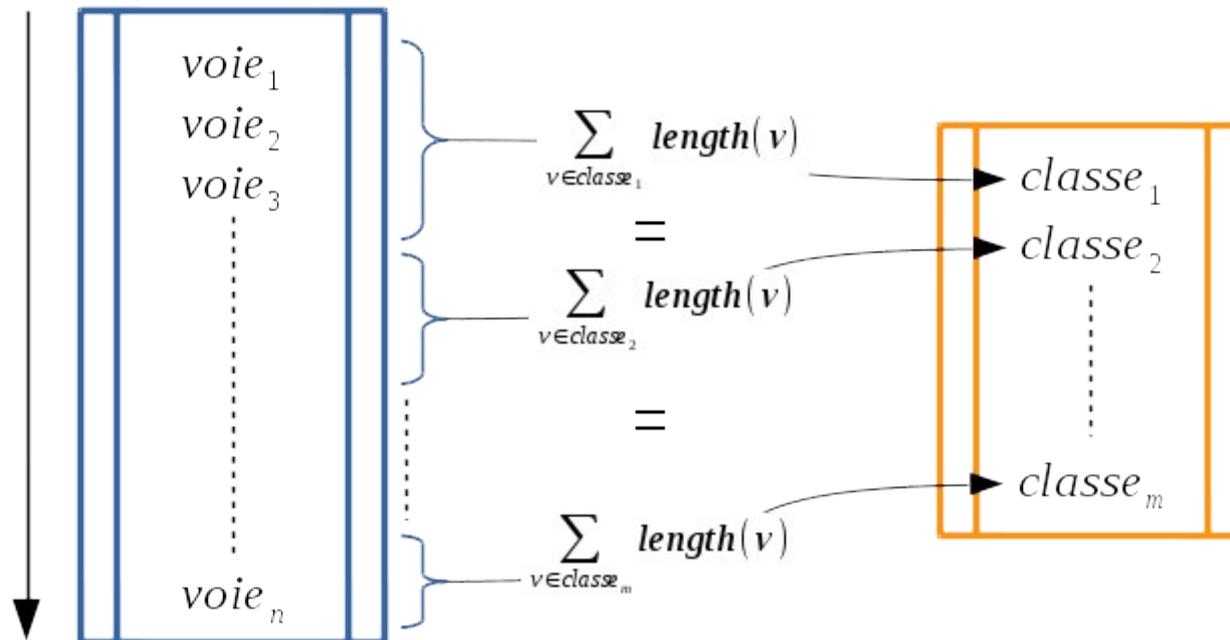
Barcelone (extrait)

— voies



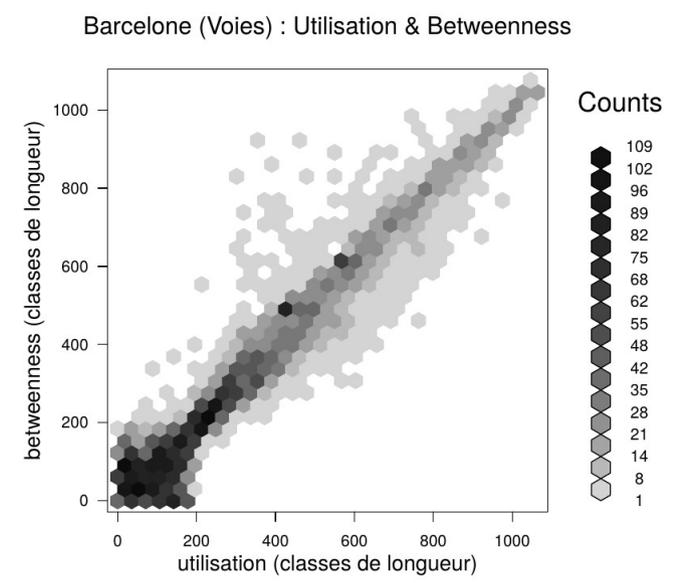
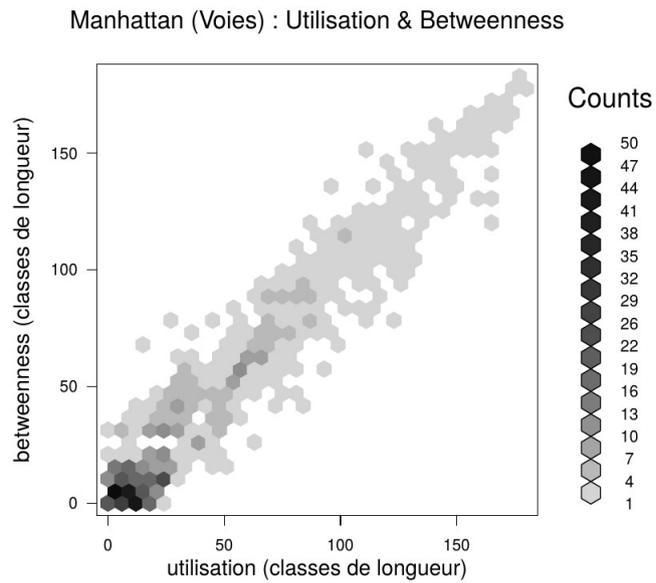
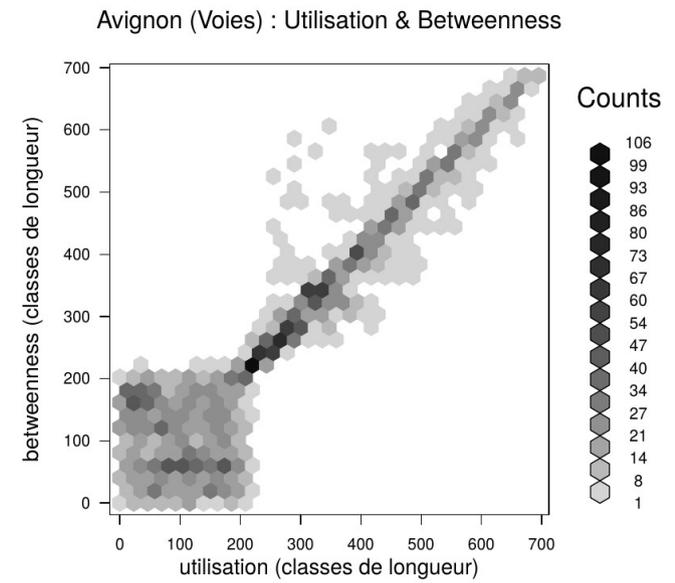
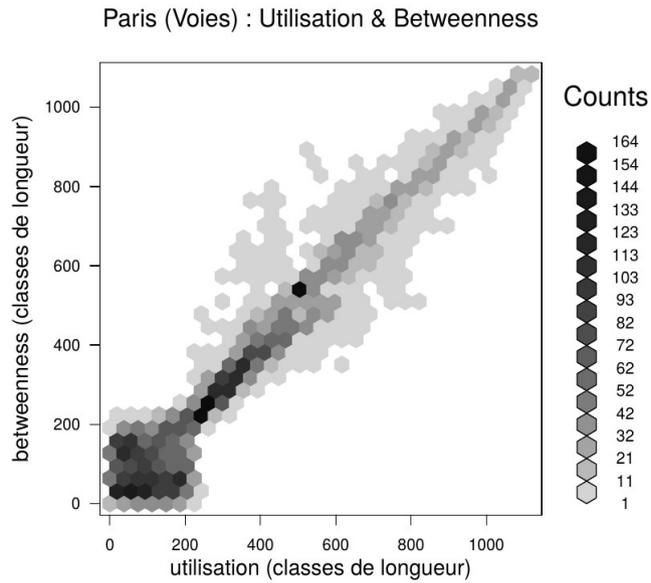
0 500 1000 1500 2000 m

Indicateur λ



Construction d'un objet de lecture : *la voie*

Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale



Les **indicateurs classiques** de la théorie des graphes

- Longueur
- Degré
- Betweenness centrality
- Utilisation (Stress centrality)
- Closeness centrality

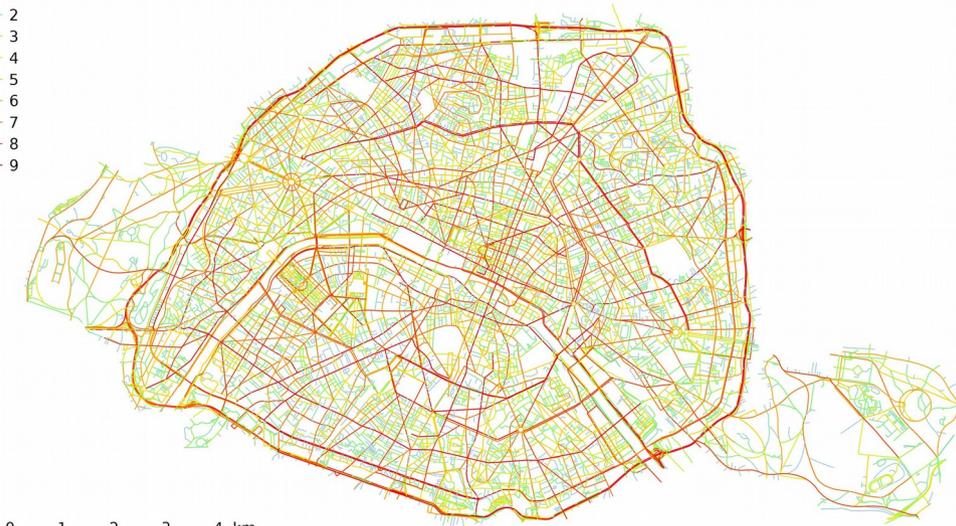
Les **indicateurs complémentaires proposés**

- Degré de desserte
- Espacement
- Orthogonalité
- Accessibilité

Construction d'un objet de lecture : *la voie* Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale

Degré

voies
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9

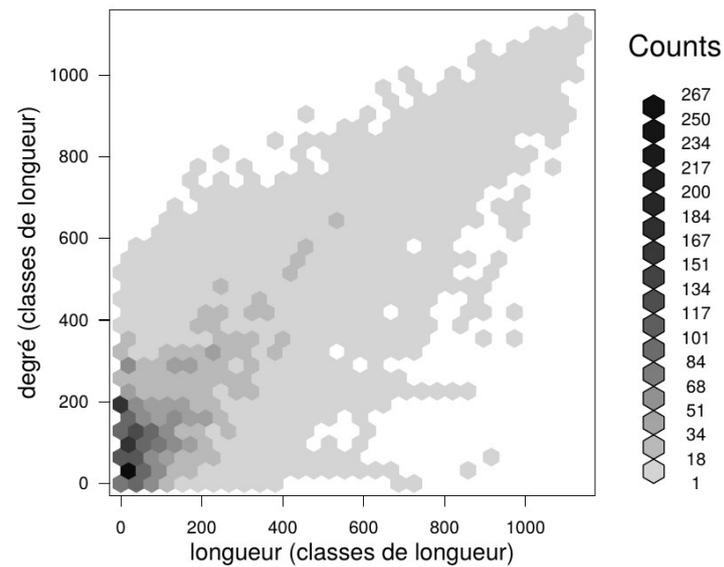


Longueur

voies
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9



Paris (Voies) : Longueur & Degré

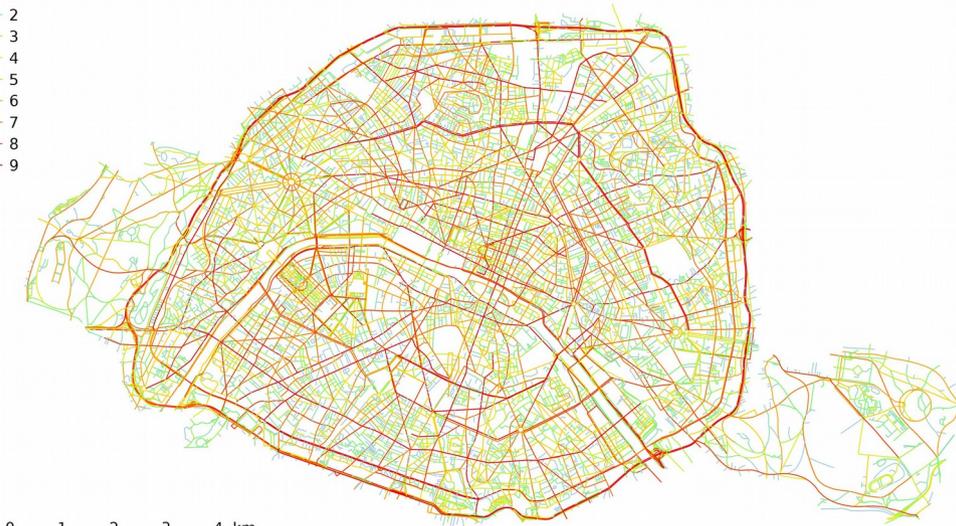


Construction d'un objet de lecture : *la voie*

Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale

Degré

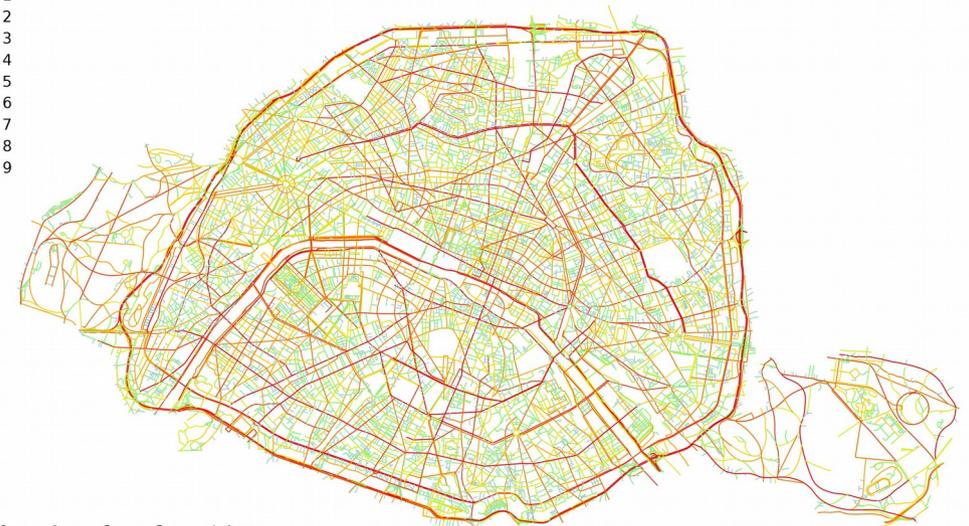
voies
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9



0 1 2 3 4 km

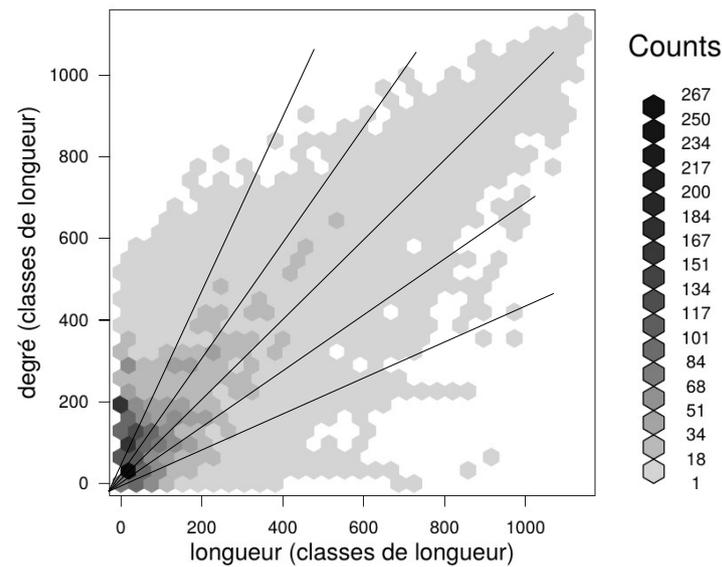
Longueur

voies
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9



0 1 2 3 4 km

Paris (Voies) : Longueur & Degré



$$espacement(v_{ref}) = \frac{longueur(v_{ref})}{connectivite(v_{ref})}$$

Les **indicateurs classiques** de la théorie des graphes

- Longueur
- Degré
- Betweenness centrality
- Utilisation (Stress centrality)
- Closeness centrality

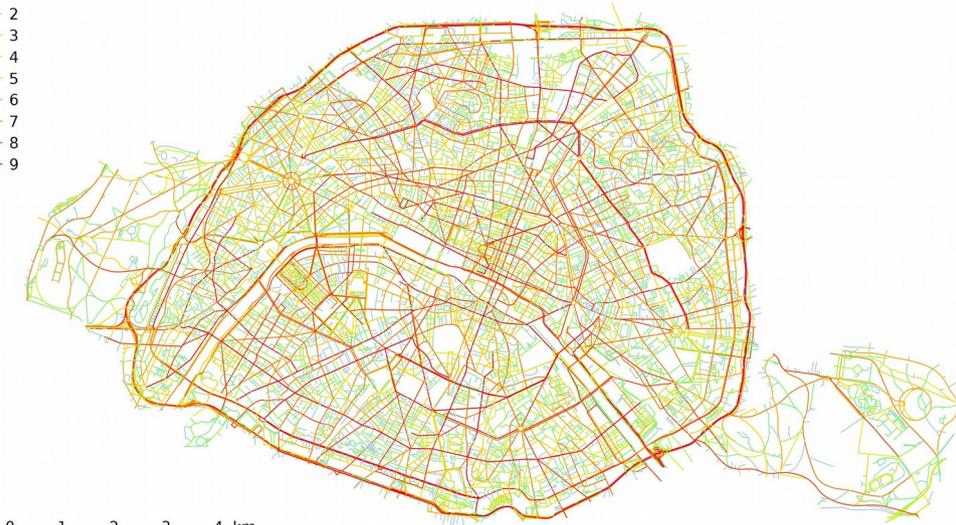
Les **indicateurs complémentaires proposés**

- Degré de desserte
- Espacement
- Orthogonalité
- Accessibilité

Construction d'un objet de lecture : *la voie* Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale

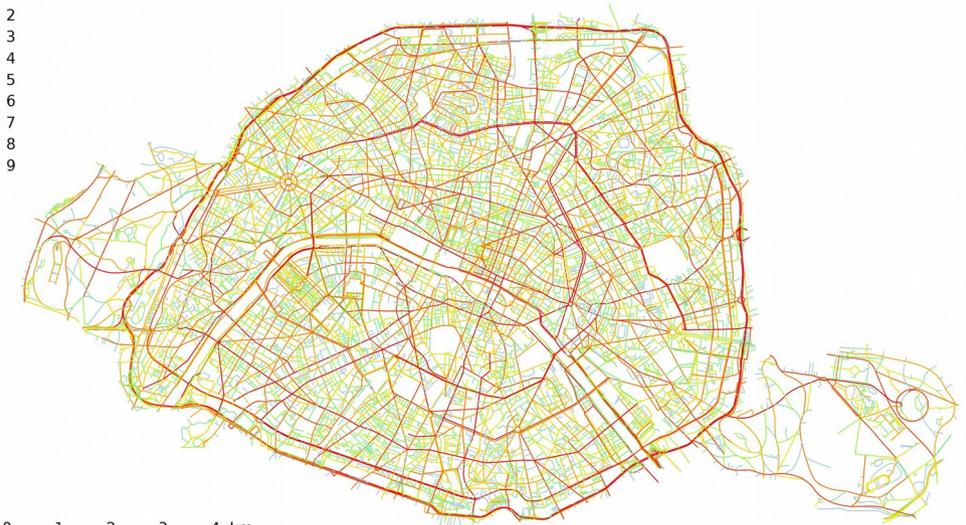
Degré

voies
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9

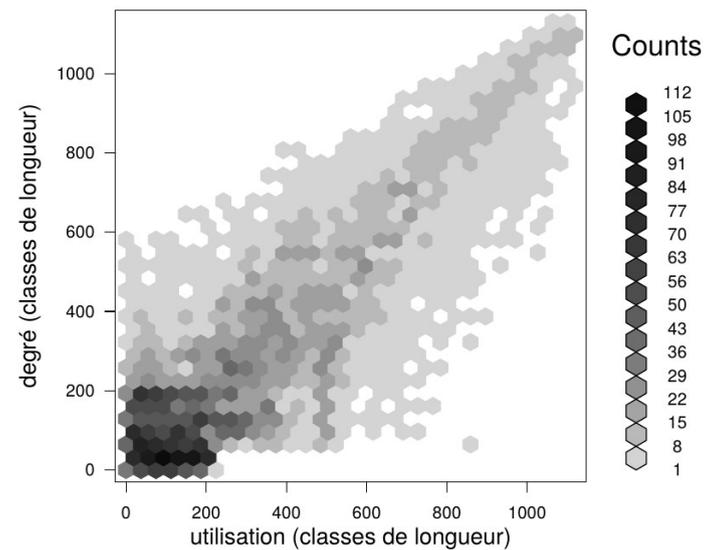


Stress centrality (Utilisation)

voies
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9



Paris (Voies) : Utilisation & Degré



Les **indicateurs classiques** de la théorie des graphes

- Longueur
- Degré
- Betweenness centrality
- Utilisation (Stress centrality)
- Closeness centrality

Les **indicateurs complémentaires proposés**

- Degré de desserte
- Espacement
- Orthogonalité
- Accessibilité

Construction d'un objet de lecture : *la voie* Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale

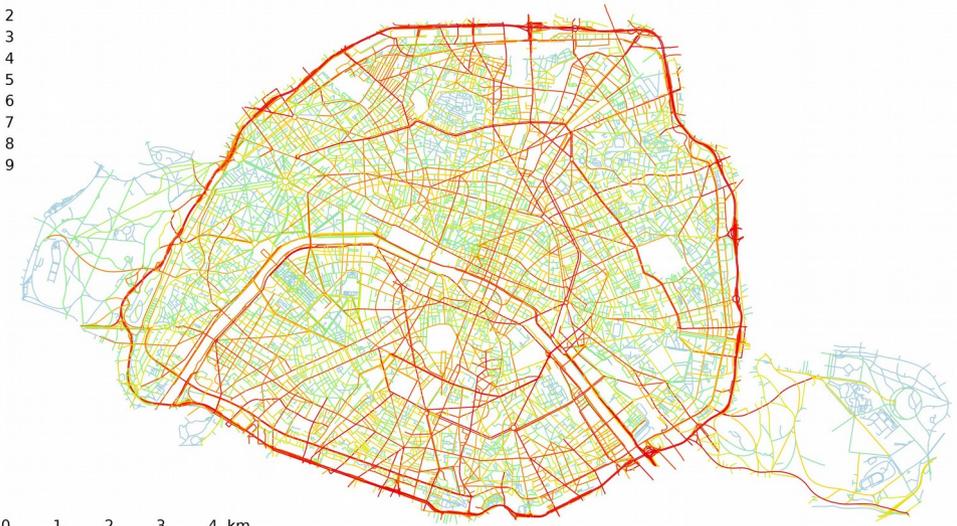
Closeness centrality

voies
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9

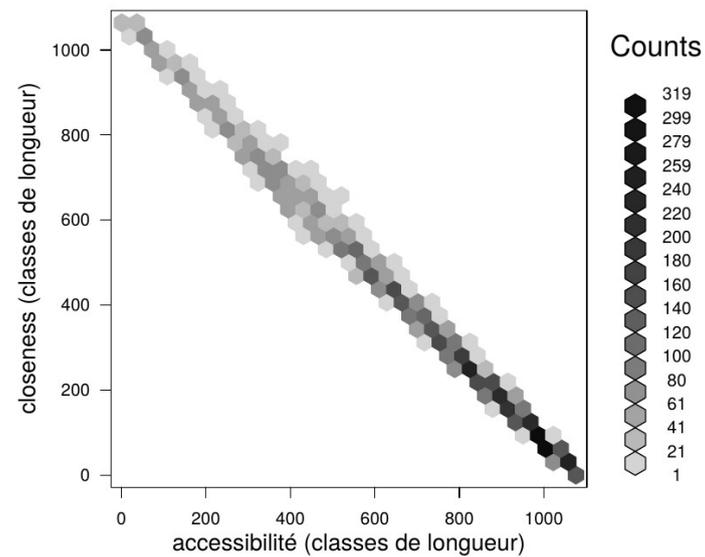


Accessibilité

voies
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9



Paris (Voies) : Accessibilité & Closeness



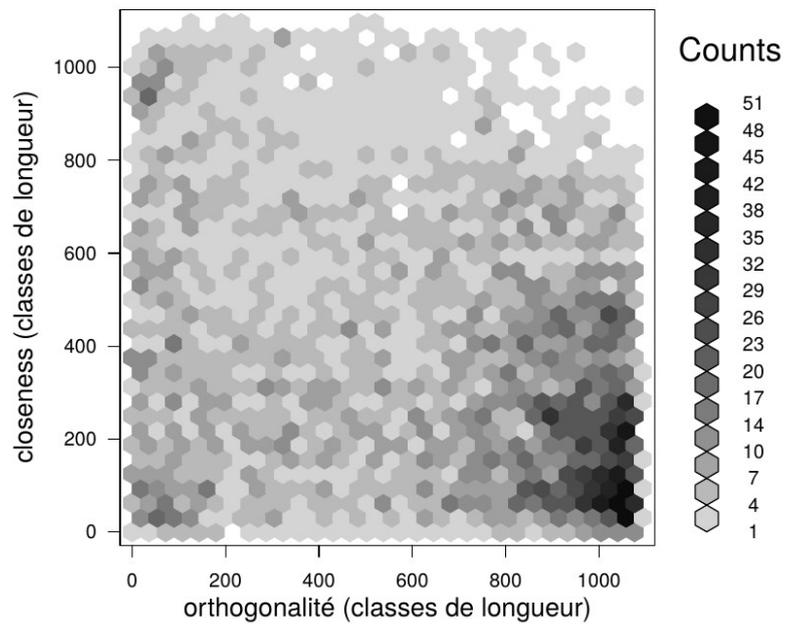
Les **indicateurs classiques** de la théorie des graphes

- Longueur
- Degré
- Betweenness centrality
- Utilisation (Stress centrality)
- Closeness centrality

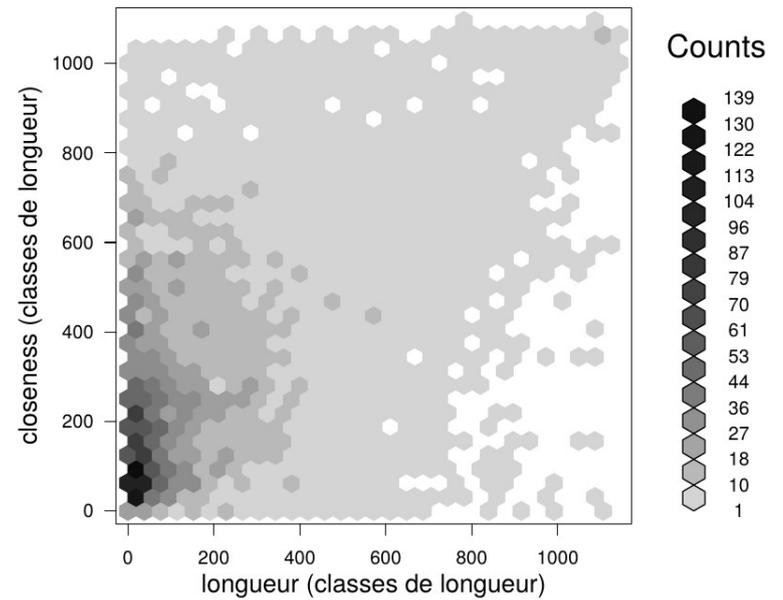
Les **indicateurs complémentaires proposés**

- Degré de desserte
- Espacement
- Orthogonalité
- Accessibilité

Paris (Voies) : Orthogonalité & Closeness



Paris (Voies) : Longueur & Closeness



Les **indicateurs classiques** de la théorie des graphes

- Longueur
- Degré
- Betweenness centrality
- Utilisation (Stress centrality)
- Closeness centrality

Les **indicateurs complémentaires** proposés

- Degré de desserte
- Espacement
- Orthogonalité
- Accessibilité

Les **indicateurs classiques** de la théorie des graphes

- Longueur
- **Degré**
- Betweenness centrality
- Utilisation (Stress centrality)
- **Closeness** centrality

Les **indicateurs complémentaires** proposés

- **Degré de desserte**
- **Espacement**
- **Orthogonalité**
- Accessibilité

Les indicateurs classiques de la théorie des graphes

- Longueur
 - Degré
 - Betweenness centrality
 - Utilisation (Stress centrality)
 - Closeness centrality
- } caractérisation **locale**
- } caractérisation **globale**

Les indicateurs complémentaires proposés

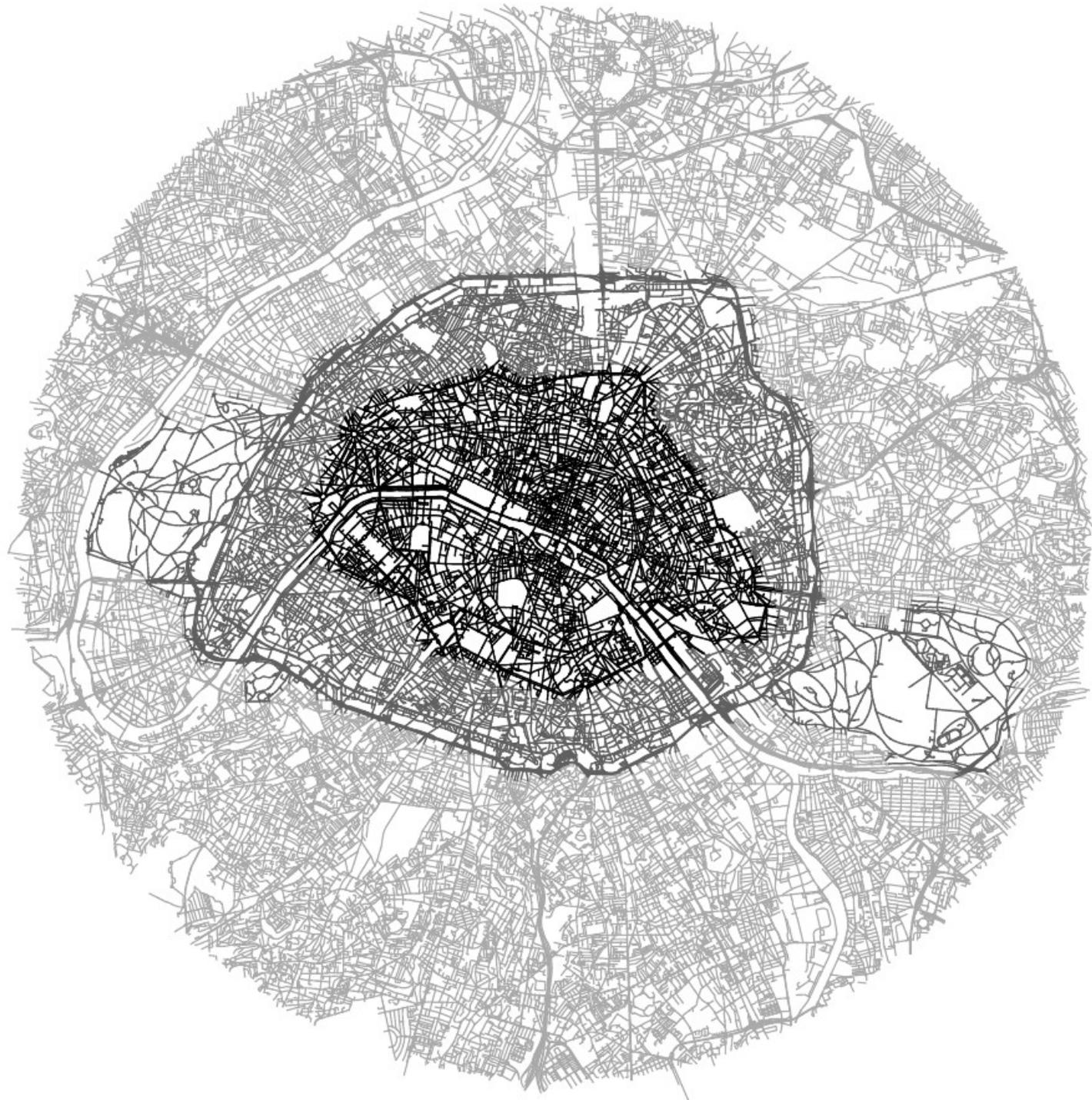
- Degré de desserte
- Espacement
- Orthogonalité
- Accessibilité

Construction d'un objet de lecture : *la voie*

Particularités de la lecture d'un graphe à travers la voie

Paris

- ech1
- ech2
- ech3



0 1 2 3 4 km



Construction d'un objet de lecture : *la voie*

Particularités de la lecture d'un graphe à travers la voie

Paris (ech1 - ech2)

— ajout

Δ_{relatif} (arcs) [12157]

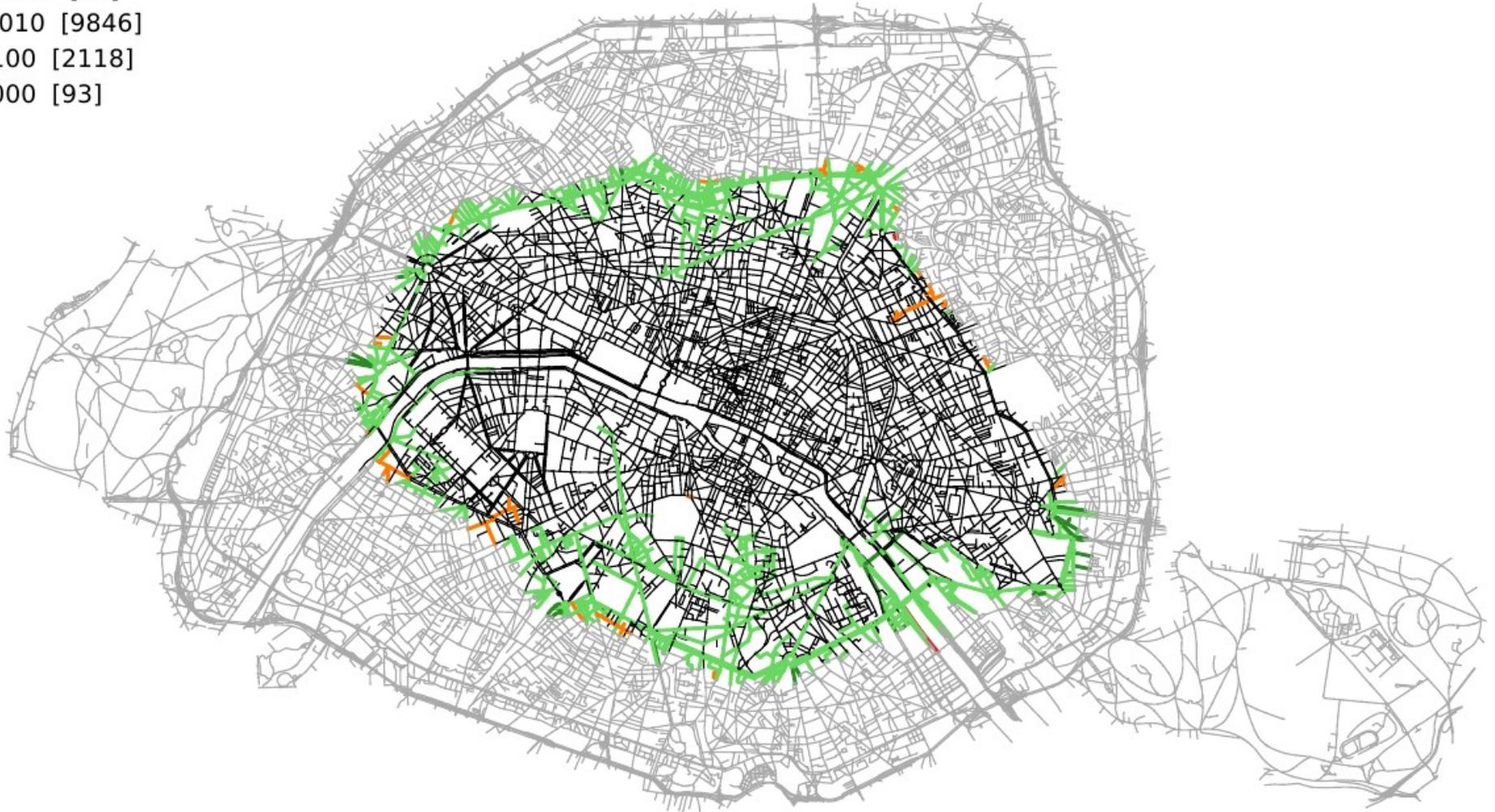
— -1.000 - -0.100 [2]

— -0.100 - -0.010 [94]

— -0.010 - 0.010 [9846]

— 0.010 - 0.100 [2118]

— 0.100 - 1.000 [93]



0 1 2 3 4 km



Construction d'un objet de lecture : *la voie*

Particularités de la lecture d'un graphe à travers la voie

Paris (ech2 - ech3)

— ajout

Δ_{relatif} (arcs) [29920]

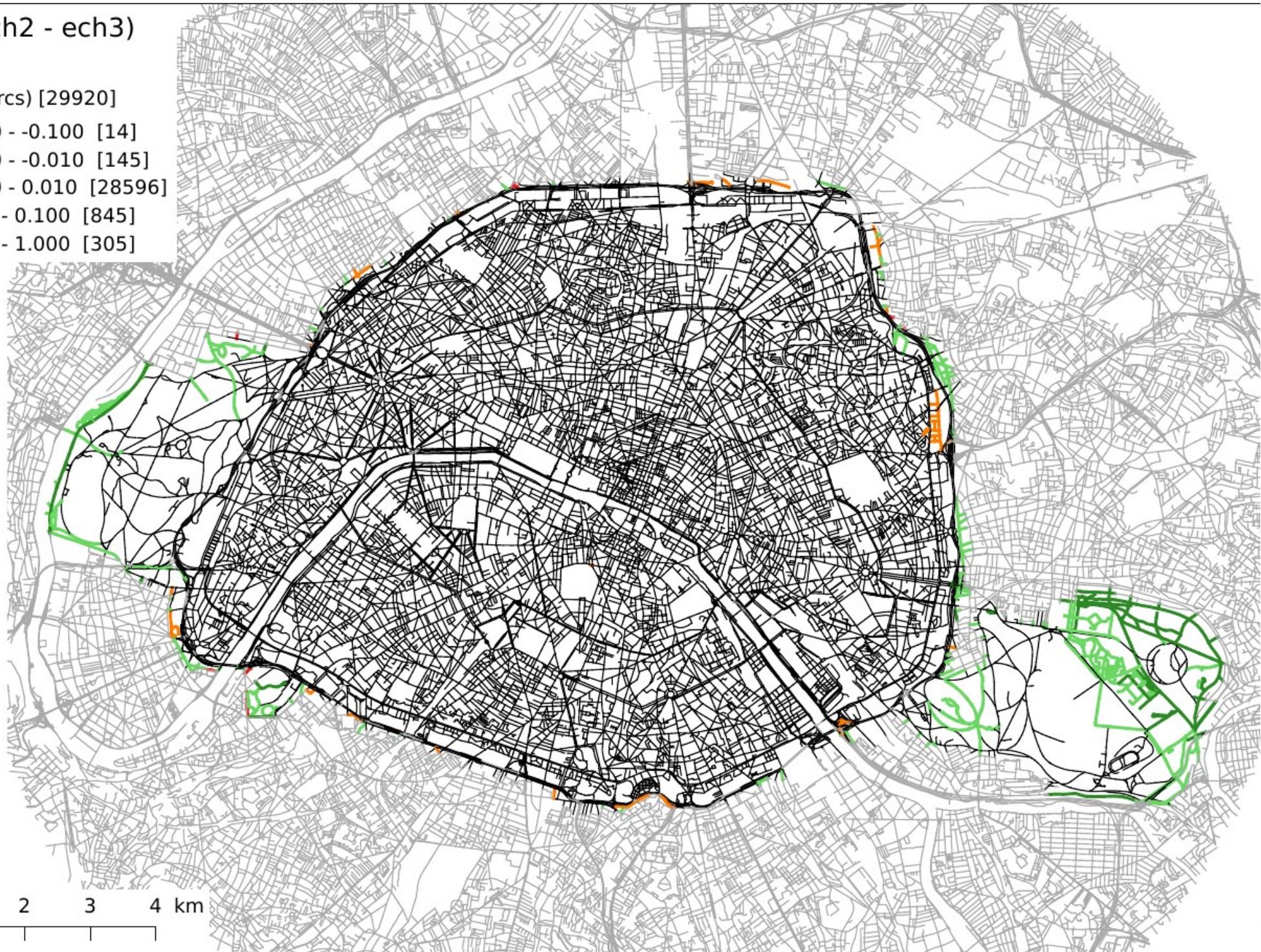
— -1.000 - -0.100 [14]

— -0.100 - -0.010 [145]

— -0.010 - 0.010 [28596]

— 0.010 - 0.100 [845]

— 0.100 - 1.000 [305]



0 1 2 3 4 km

La voie

- Construction robuste au sens de lecture du réseau
- Multi-échelle
- Stabilise la lecture du réseau

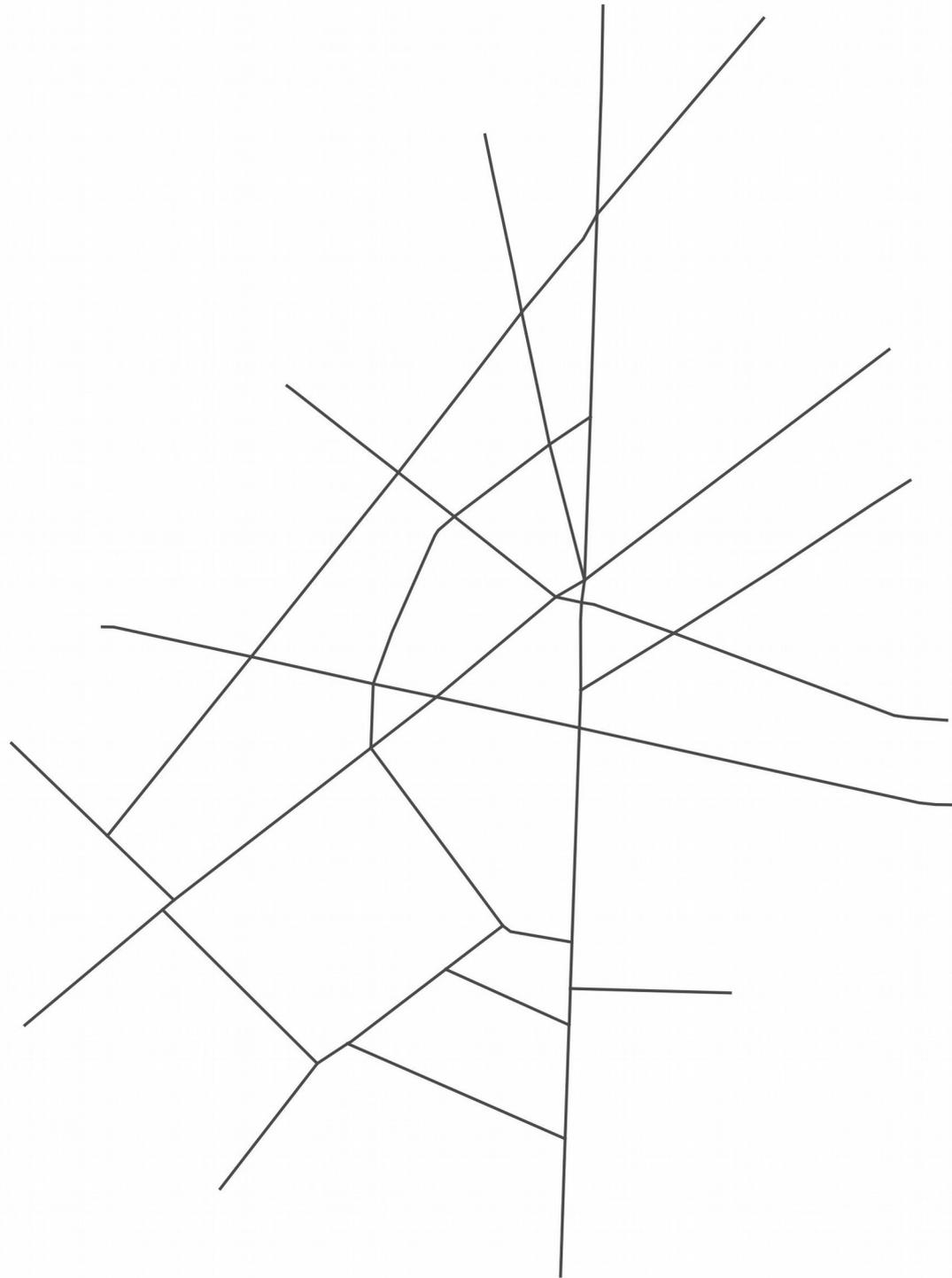


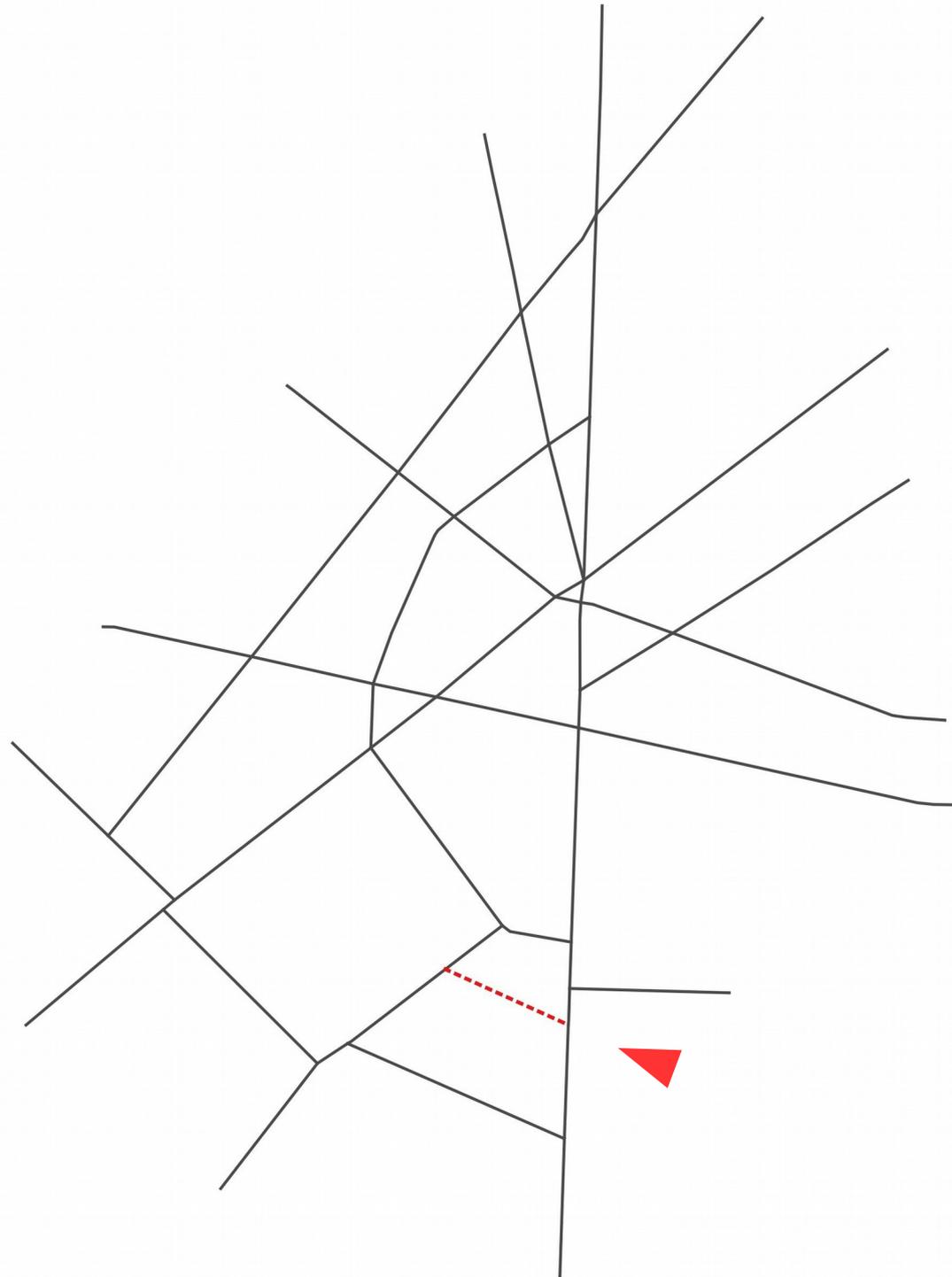
Perspective vers le sud du haut de la rue Le Bastard, Rennes
commons.wikimedia.org

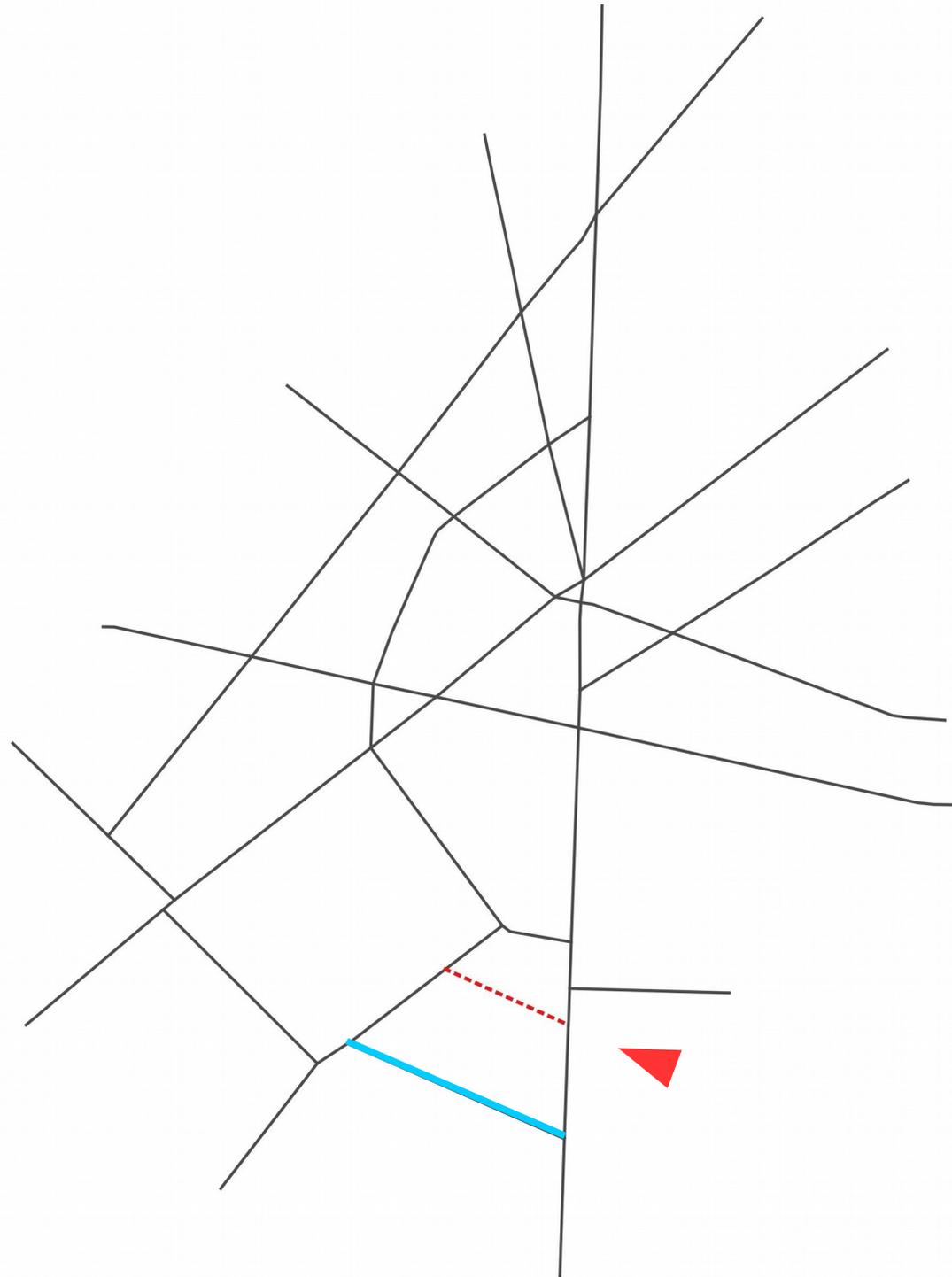
Le fil de la présentation

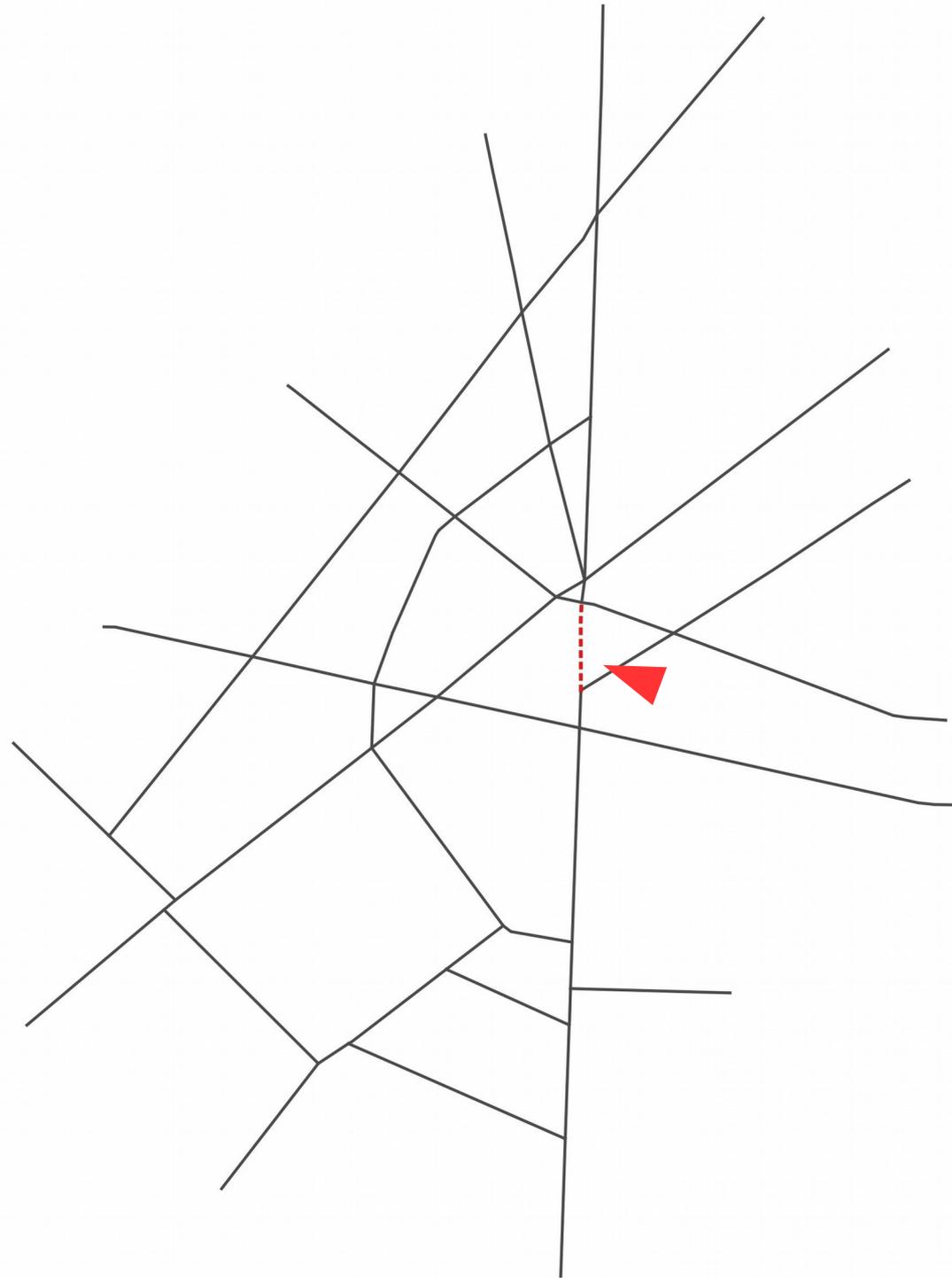
- I ■ Choix d'un réseau complexe pour lire la ville
 - Décomposition structurelle
 - Caractérisation classique d'un graphe spatial
- II ■ Construction d'un objet de lecture : *la voie*
 - Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale
 - Particularités de la lecture d'un graphe à travers la voie
- III ■ Quantification des modifications structurelles
 - Lecture de projets urbains
 - Lecture de la cinématique d'une ville

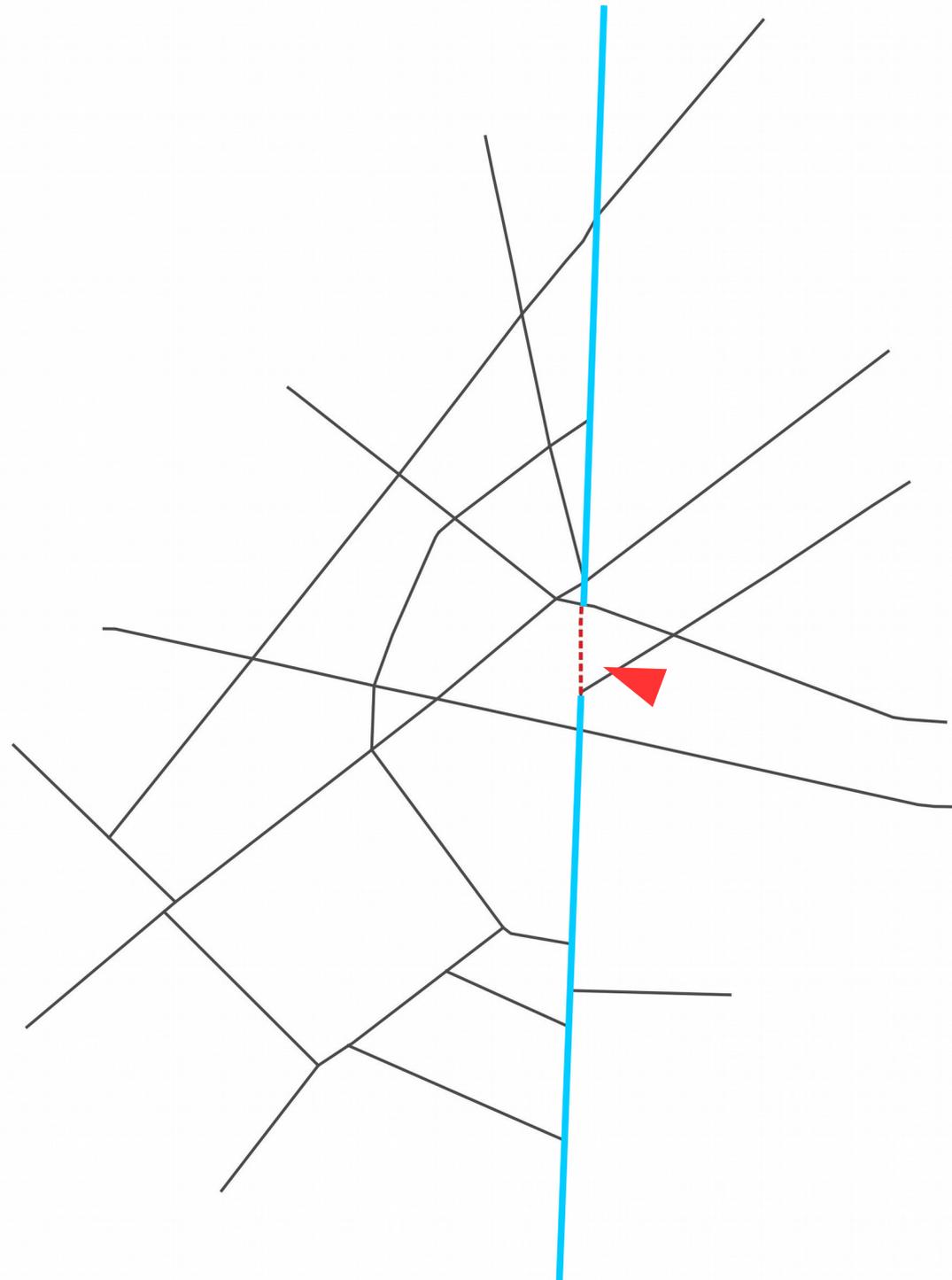
Ouverture











Les **indicateurs classiques** de la théorie des graphes

- Longueur
- **Degré**
- Betweenness centrality
- Utilisation (Stress centrality)
- **Closeness** centrality

Les **indicateurs complémentaires** proposés

- **Degré de desserte**
- **Espacement**
- **Orthogonalité**
- Accessibilité

Les **indicateurs classiques** de la théorie des graphes

- Longueur
- **Degré**
- Betweenness centrality
- Utilisation (Stress centrality)
- **Closeness** centrality

$$closeness(v_{ref}) = \frac{1}{\sum_{v \in G} d_{simple}(v, v_{ref})}$$

Les **indicateurs complémentaires** proposés

- **Degré de desserte**
- **Espacement**
- **Orthogonalité**
- **Accessibilité**

Les **indicateurs classiques** de la théorie des graphes

- Longueur
- **Degré**
- Betweenness centrality
- Utilisation (Stress centrality)
- **Closeness** centrality

$$closeness(v_{ref}) = \frac{1}{\sum_{v \in G} d_{simple}(v, v_{ref})}$$

Les **indicateurs complémentaires** proposés

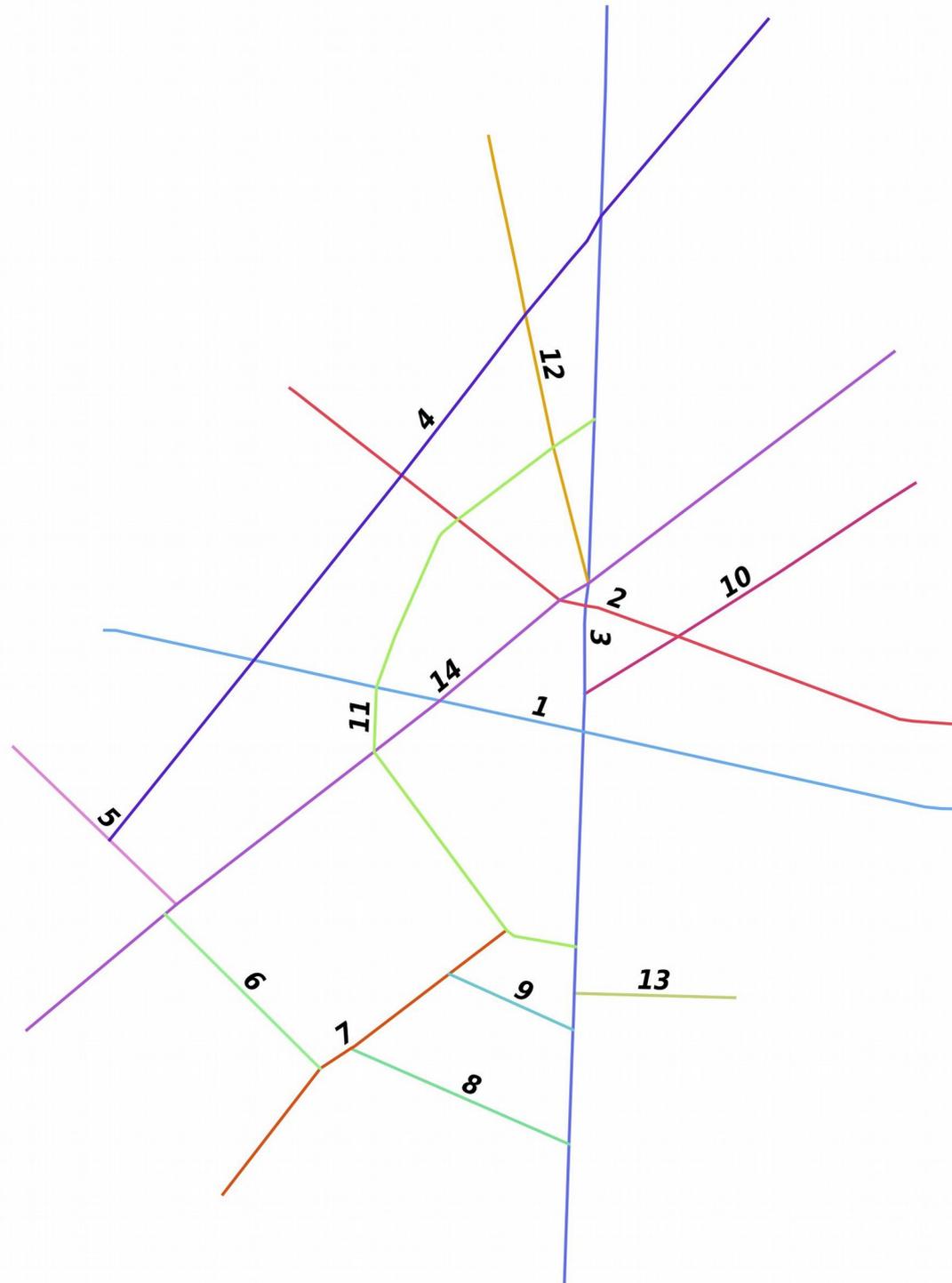
- **Degré de desserte**
- **Espacement**
- **Orthogonalité**
- **Accessibilité**

$$accessibilite(v_{ref}) = \sum_{v \in G} [d_{simple}(v, v_{ref}) \times longueur(v)]$$

Quantification des modifications structurelles

voies

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14

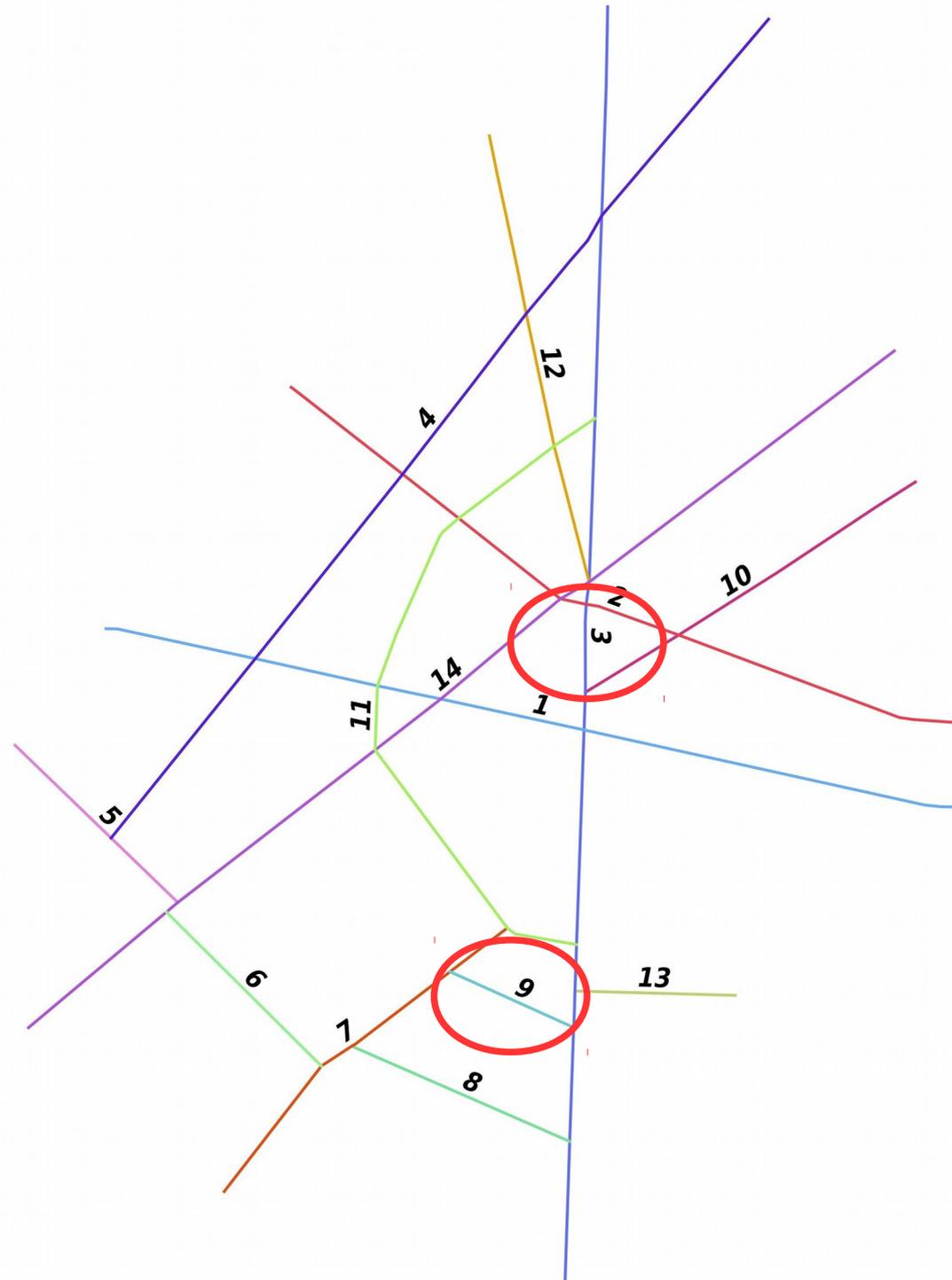


14 voies

Quantification des modifications structurelles

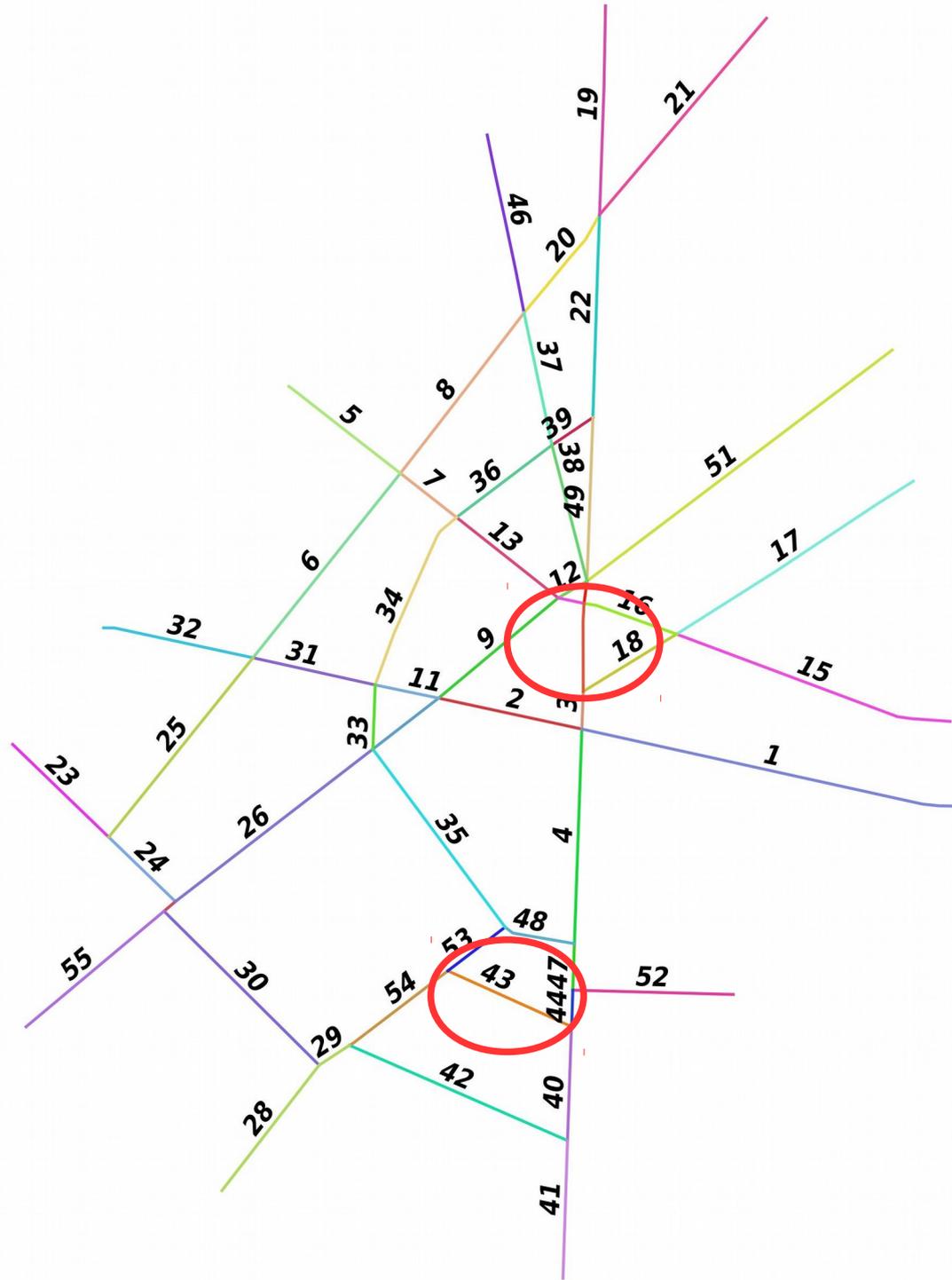
voies

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14



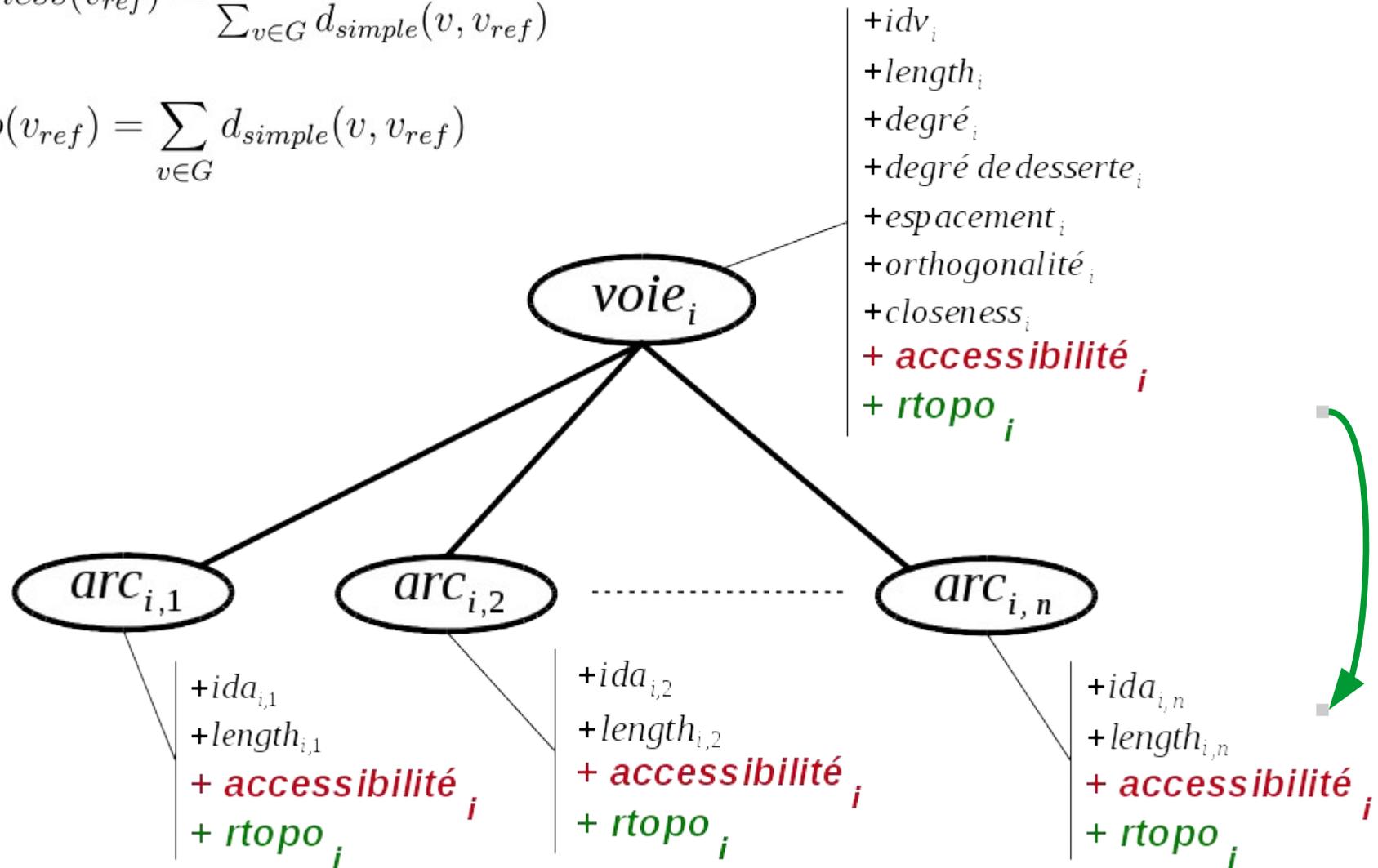
14 voies

Quantification des modifications structurelles



$$closeness(v_{ref}) = \frac{1}{\sum_{v \in G} d_{simple}(v, v_{ref})}$$

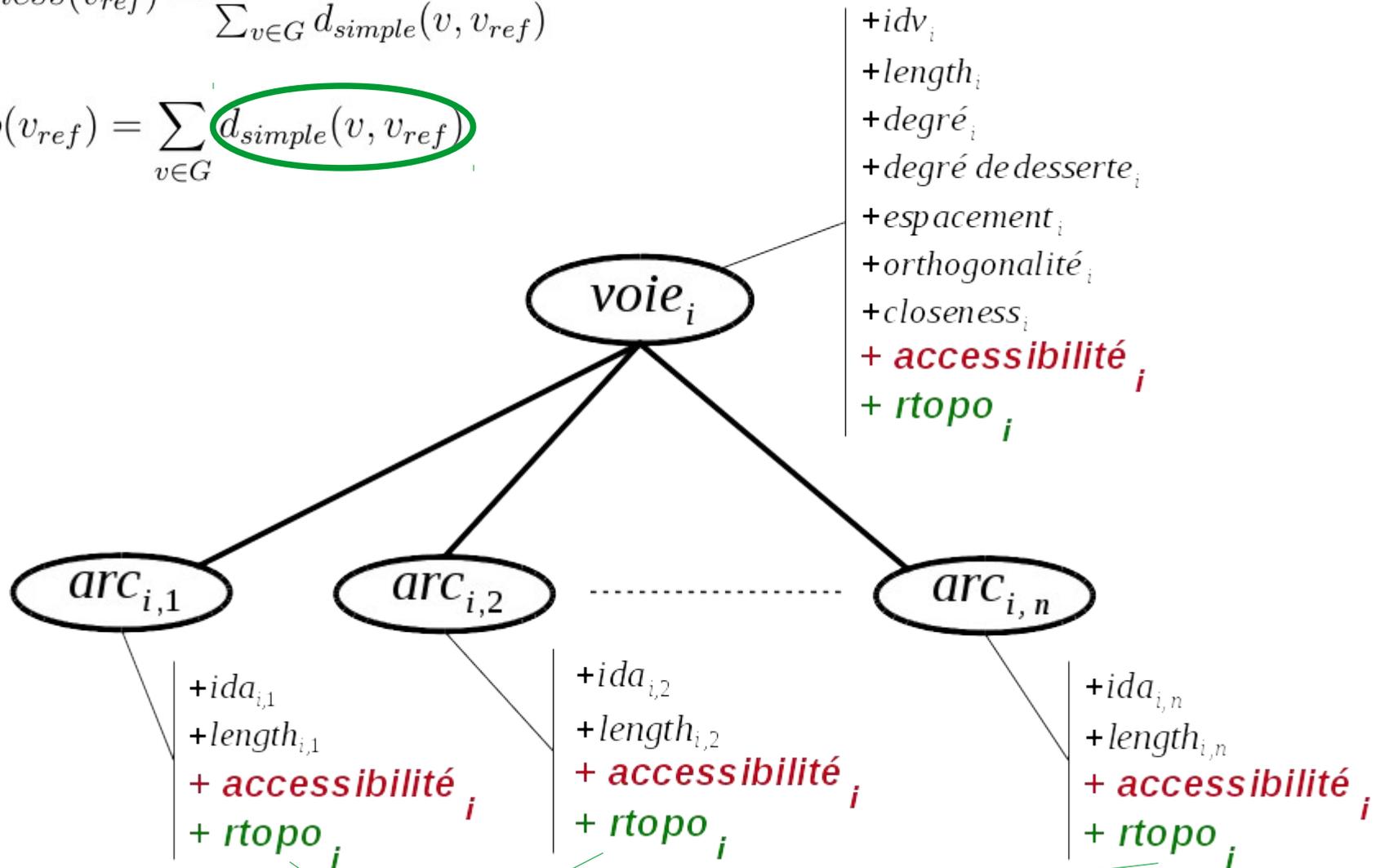
$$rtopo(v_{ref}) = \sum_{v \in G} d_{simple}(v, v_{ref})$$



$$accessibilite(v_{ref}) = \sum_{v \in G} [d_{simple}(v, v_{ref}) \times longueur(v)]$$

$$closeness(v_{ref}) = \frac{1}{\sum_{v \in G} d_{simple}(v, v_{ref})}$$

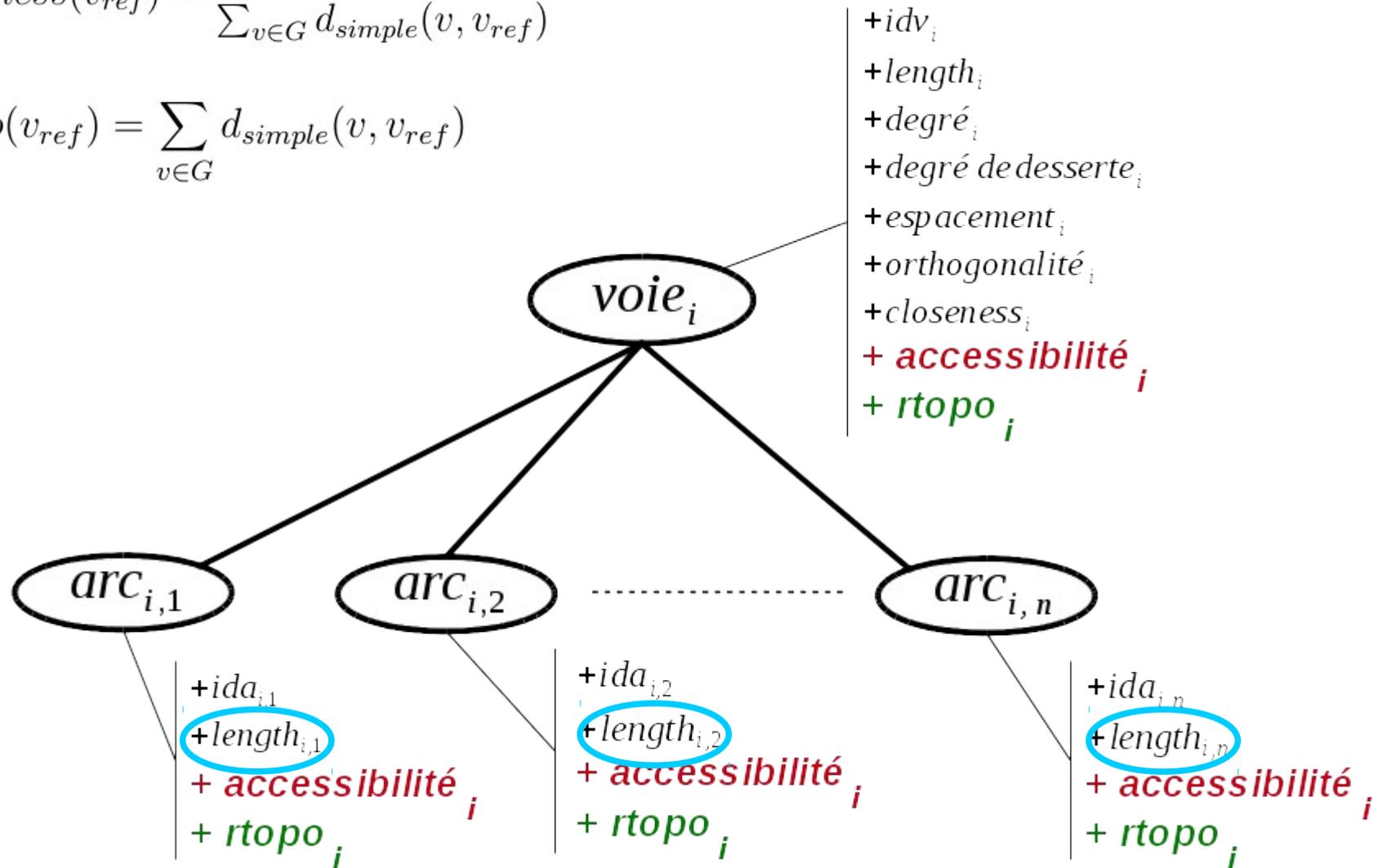
$$rtopo(v_{ref}) = \sum_{v \in G} d_{simple}(v, v_{ref})$$



$$accessibilite(v_{ref}) = \sum_{v \in G} [d_{simple}(v, v_{ref}) \times longueur(v)]$$

$$closeness(v_{ref}) = \frac{1}{\sum_{v \in G} d_{simple}(v, v_{ref})}$$

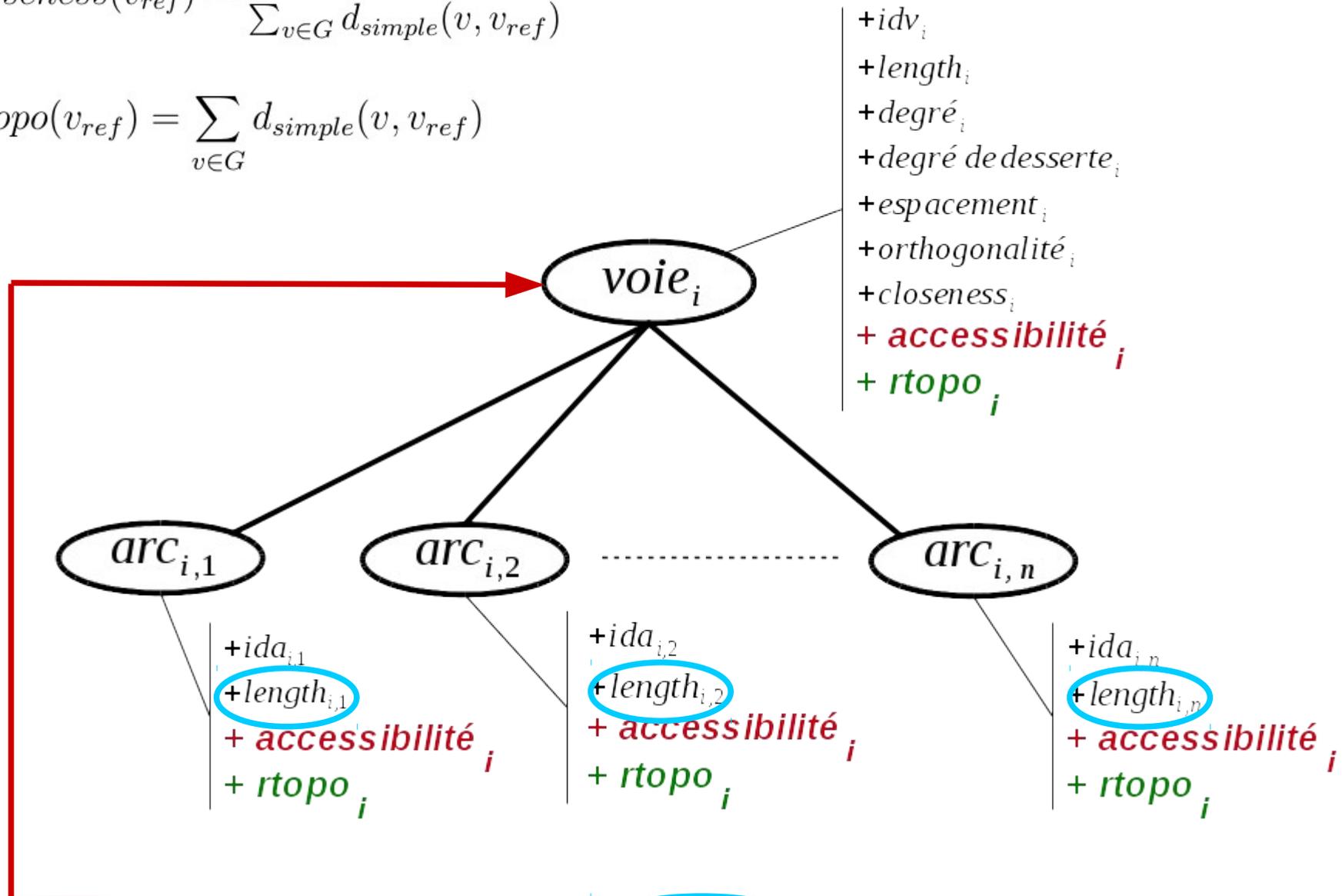
$$rtopo(v_{ref}) = \sum_{v \in G} d_{simple}(v, v_{ref})$$



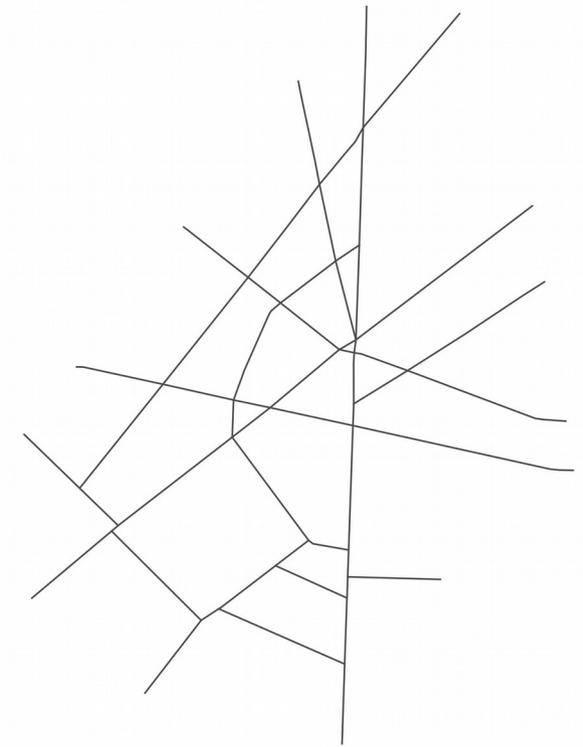
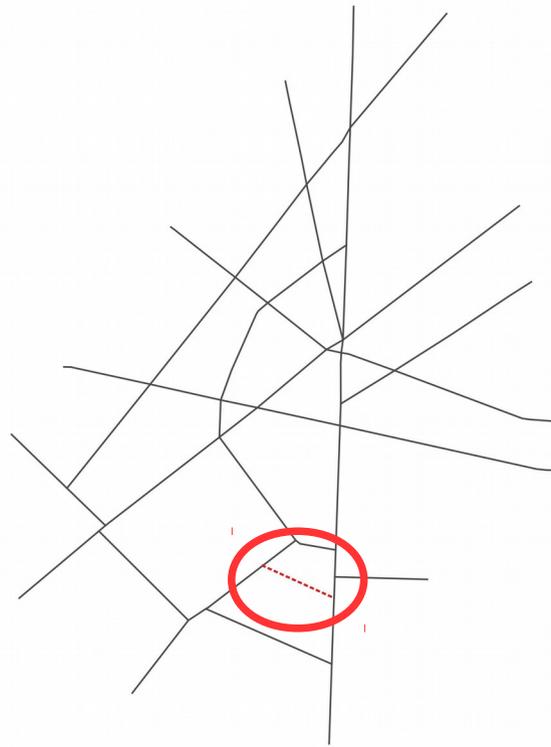
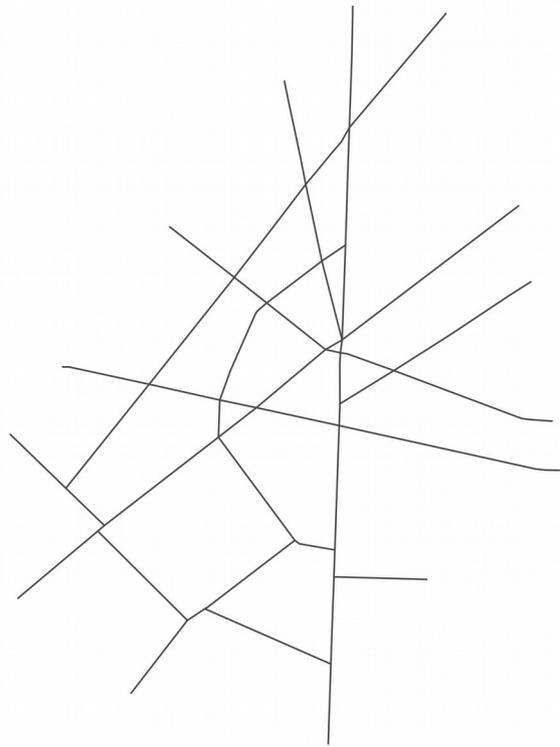
$$accessibilite(v_{ref}) = \sum_{v \in G} [d_{simple}(v, v_{ref}) \times longueur(v)]$$

$$closeness(v_{ref}) = \frac{1}{\sum_{v \in G} d_{simple}(v, v_{ref})}$$

$$rtopo(v_{ref}) = \sum_{v \in G} d_{simple}(v, v_{ref})$$



accessibilite(v_{ref}) = $\sum_{v \in G} [d_{simple}(v, v_{ref}) \times \text{longueur}(v)]$



Graphe 1

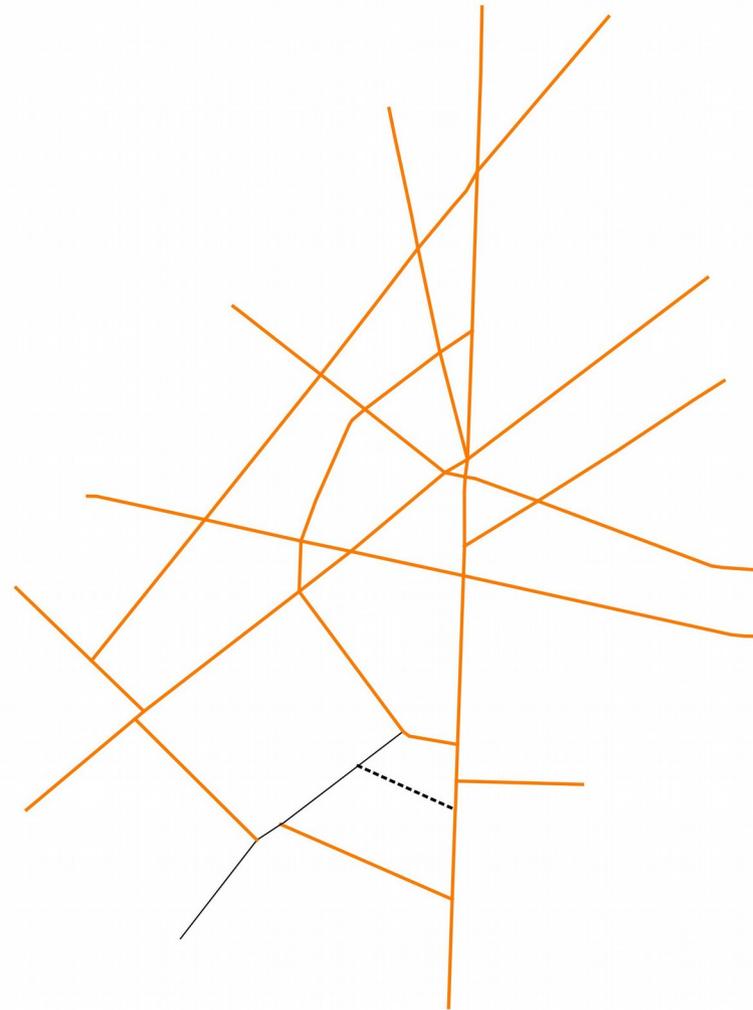


ajout



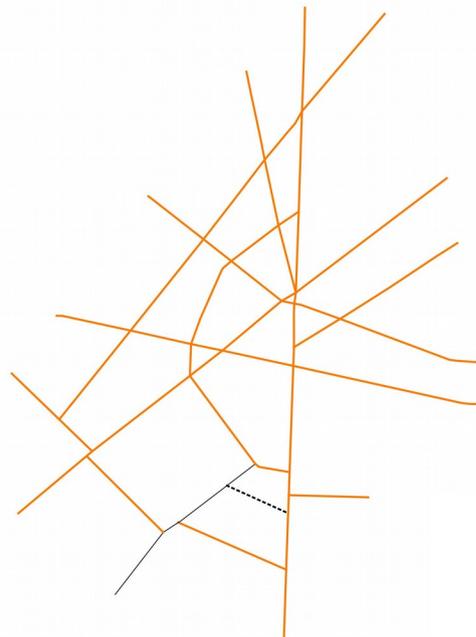
Graphe 2

---- ajout
 Δbrut (arcs)
 — -0.100 - -0.010
 — -0.010 - 0.010



$$\Delta_{brut}access(a_{ref}) = accessibilite_{G_2}(a_{ref}) - accessibilite_{G_1}(a_{ref})$$

$$\Delta_{brut}(a_{ref}) = (-1) \times \frac{\Delta_{brut}access(a_{ref})}{accessibilite_{G_2}(a_{ref})}$$

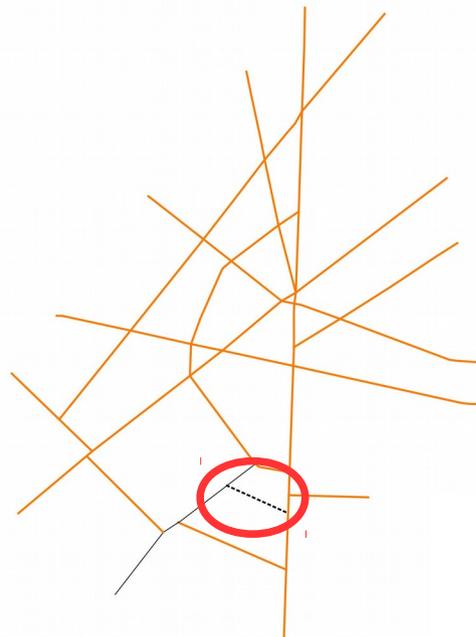


$$accessibilite(v_{ref}) = \sum_{v \in G} [d_{simple}(v, v_{ref}) \times longueur(v)]$$

$$\Delta_{brutaccess}(a_{ref}) = accessibilite_{G_2}(a_{ref}) - accessibilite_{G_1}(a_{ref})$$

$$\delta_{ajouts}(a_{ref}) = \sum_{a_{aj} \in G_2} (d_{simple}(a_{ref}, a_{aj}) \times longueur(a_{aj}))$$

$$\Delta_{access}(a_{ref}) = \Delta_{brutaccess}(a_{ref}) - \delta_{ajouts}(a_{ref})$$



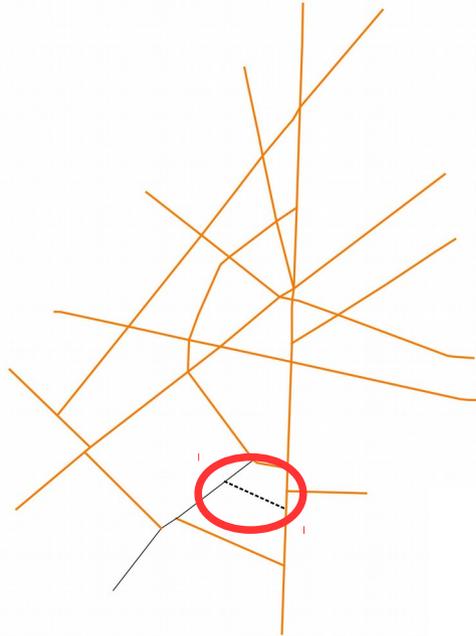
$$accessibilite(v_{ref}) = \sum_{v \in G} [d_{simple}(v, v_{ref}) \times longueur(v)]$$

$$\Delta_{brutaccess}(a_{ref}) = accessibilite_{G_2}(a_{ref}) - accessibilite_{G_1}(a_{ref})$$

$$\delta_{ajouts}(a_{ref}) = \sum_{a_{aj} \in G_2} (d_{simple}(a_{ref}, a_{aj}) \times longueur(a_{aj}))$$

$$\Delta_{access}(a_{ref}) = \Delta_{brutaccess}(a_{ref}) - \delta_{ajouts}(a_{ref})$$

---- ajout
 Δbrut (arcs)
 — -0.100 - 0.010
 — -0.010 - 0.010

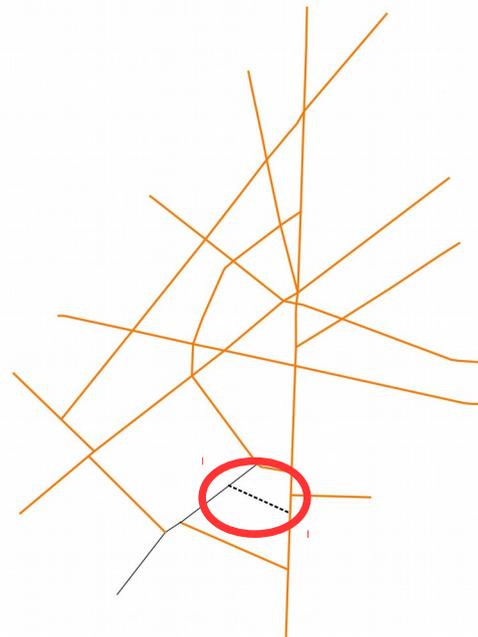


$$accessibilite(v_{ref}) = \sum_{v \in G} [d_{simple}(v, v_{ref}) \times longueur(v)]$$

$$\Delta_{brutaccess}(a_{ref}) = accessibilite_{G_2}(a_{ref}) - accessibilite_{G_1}(a_{ref})$$

$$\delta_{ajouts}(a_{ref}) = \sum_{a_{aj} \in G_2} (d_{simple}(a_{ref}, a_{aj}) \times longueur(a_{aj}))$$

$$\Delta_{access}(a_{ref}) = \Delta_{brutaccess}(a_{ref}) - \delta_{ajouts}(a_{ref})$$

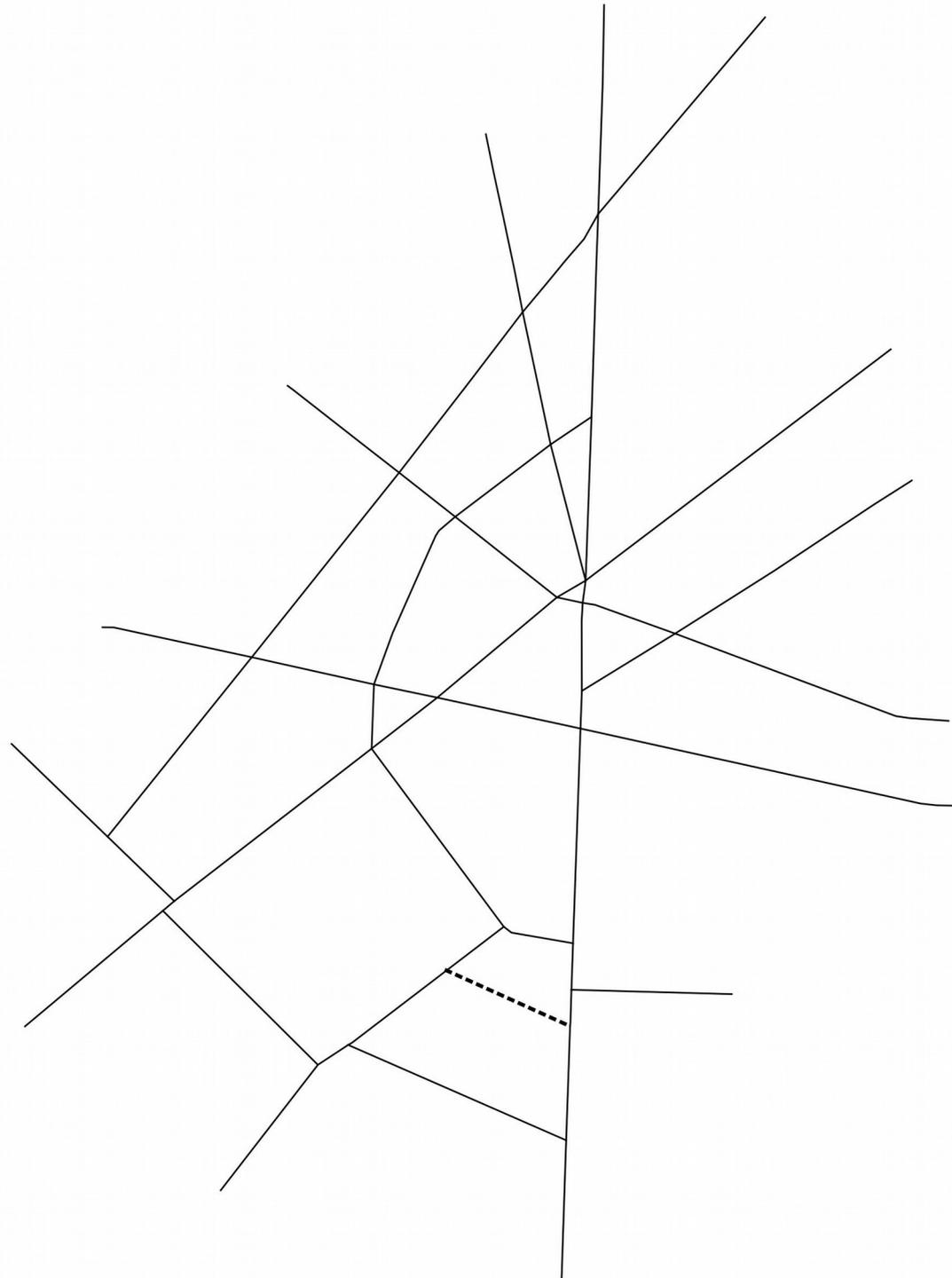


$$\Delta_{access}(a_{ref}) = \Delta_{brutaccess}(a_{ref}) - \delta_{ajouts}(a_{ref})$$

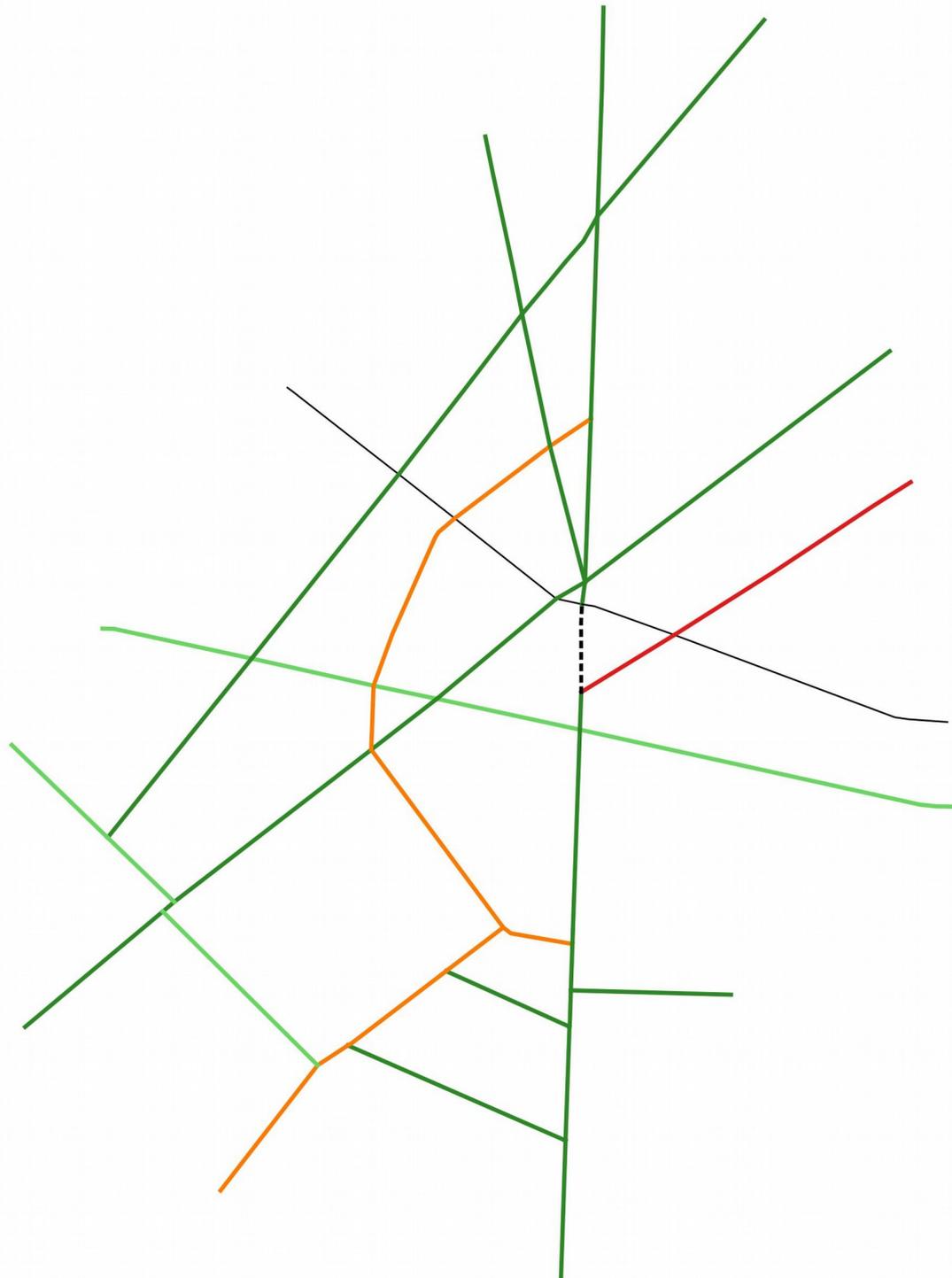
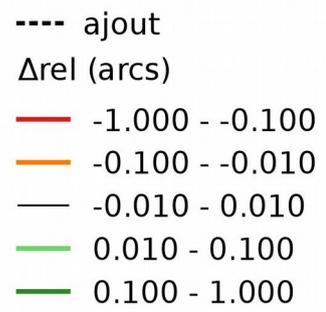
$$\Delta_{relatif}(a_{ref}) = (-1) \times \frac{\Delta_{access}(a_{ref})}{accessibilite_{G_2}(a_{ref})}$$

Quantification des modifications structurelles

---- ajout
 Δ_{rel} (arcs)
— -0.010 - 0.010

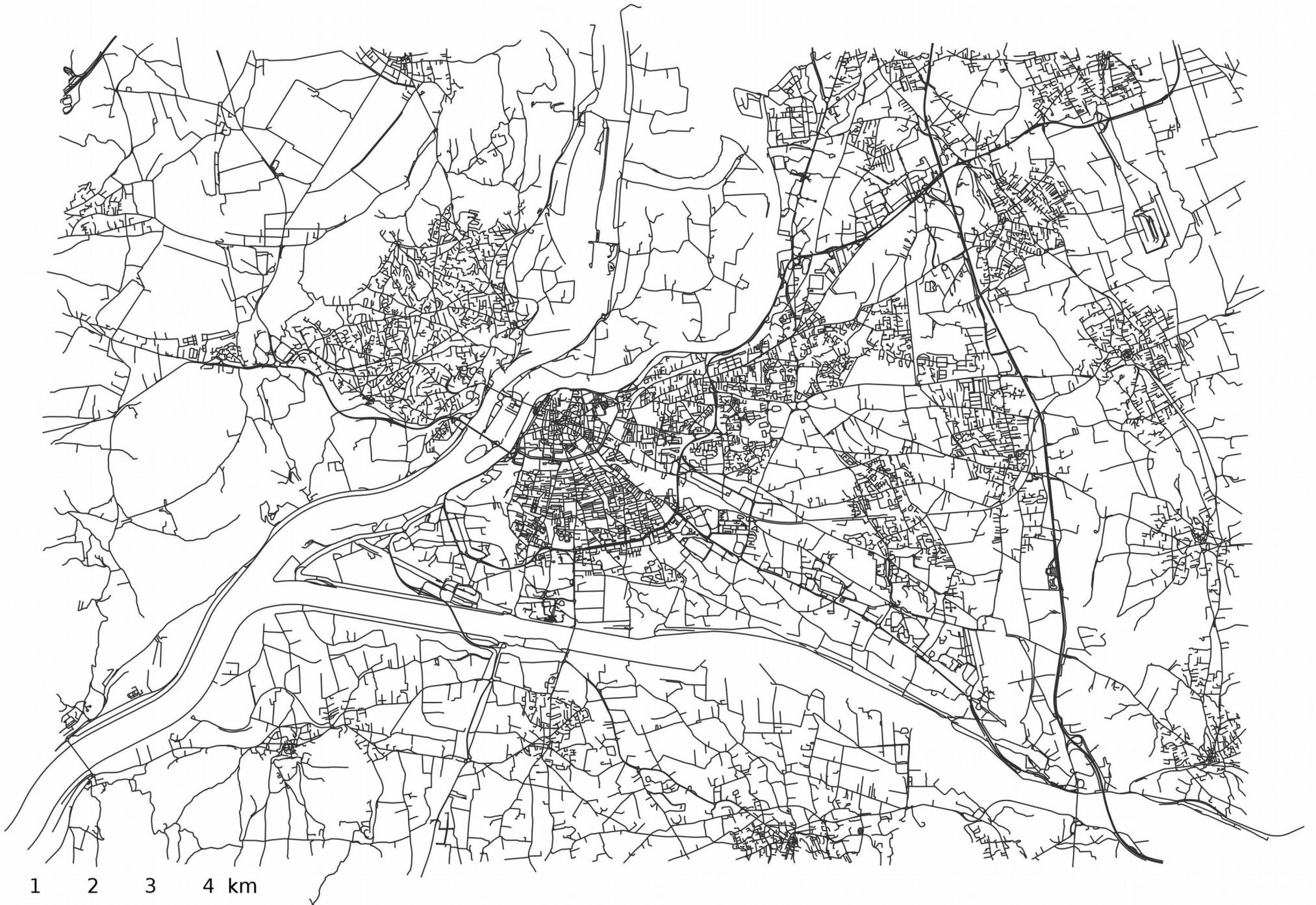


Quantification des modifications structurelles



Quantification des modifications structurelles

Lecture de projets urbains



Quantification des modifications structurelles

Lecture de projets urbains

Leo2

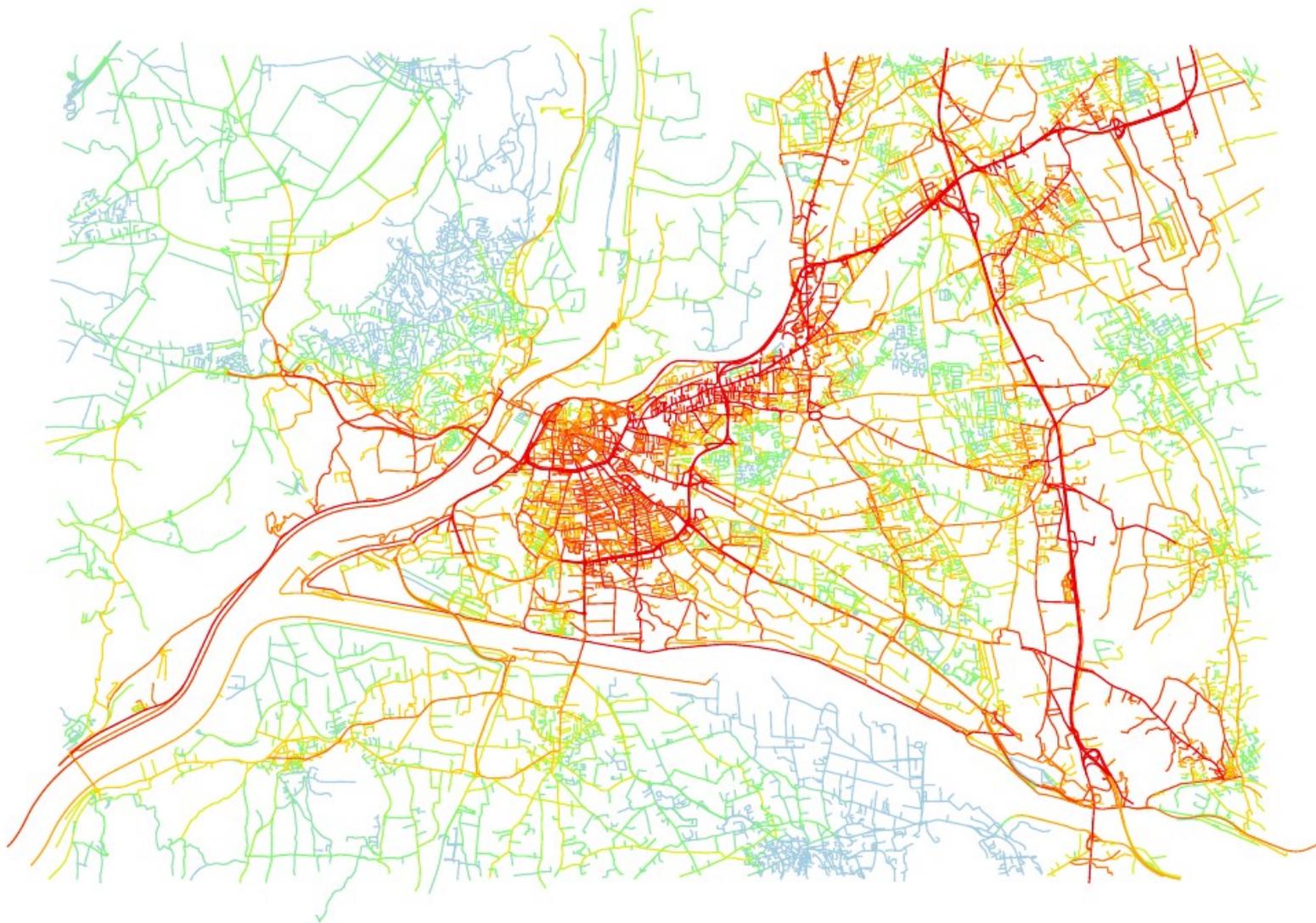
— voies
- - - ajout



Quantification des modifications structurelles Lecture de projets urbains

Closeness

voies (neutre)



0 1 2 3 4 km



Quantification des modifications structurelles Lecture de projets urbains

Closeness

voies (leo2)



0 1 2 3 4 km



Projet Leo2

---- ajout

Δ_{relatif} (arcs)

- 1 - -0.1
- 0.1 - -0.01
- 0.01 - -0.001
- 0 - 0.001
- 0.001 - 0.01
- 0.01 - 0.1
- 0.1 - 1



0 1 2 3 4 km

Quantification des modifications structurelles

Lecture de projets urbains

Raoul

— voies
- - - ajout

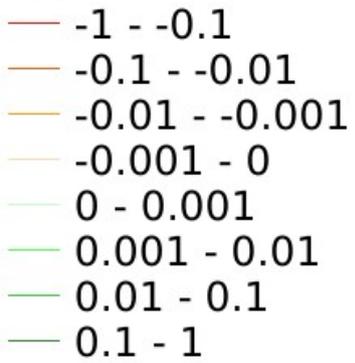


0 1 2 3 4 km

Projet Raoul

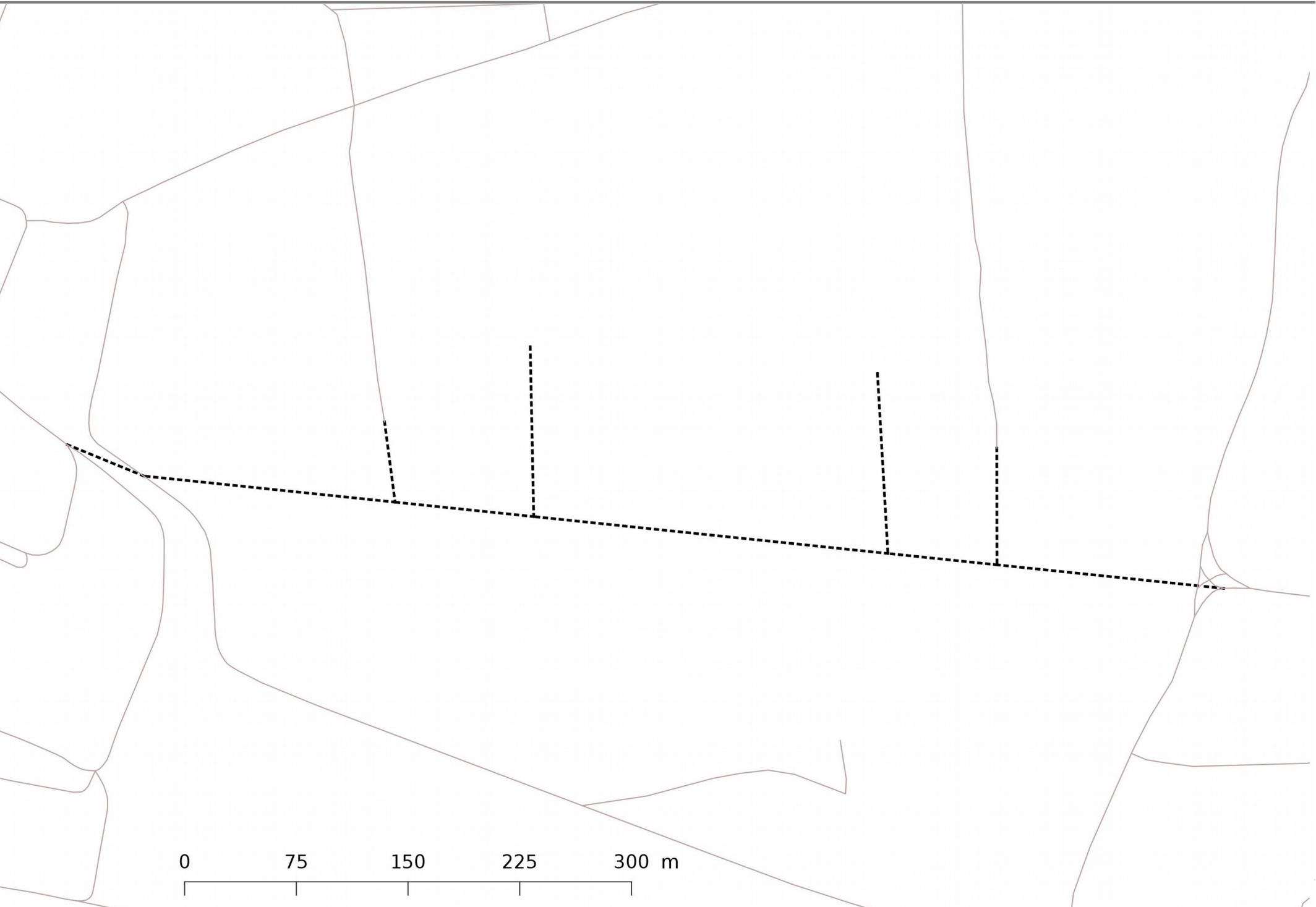
---- ajout

Δ_{relatif} (arcs)

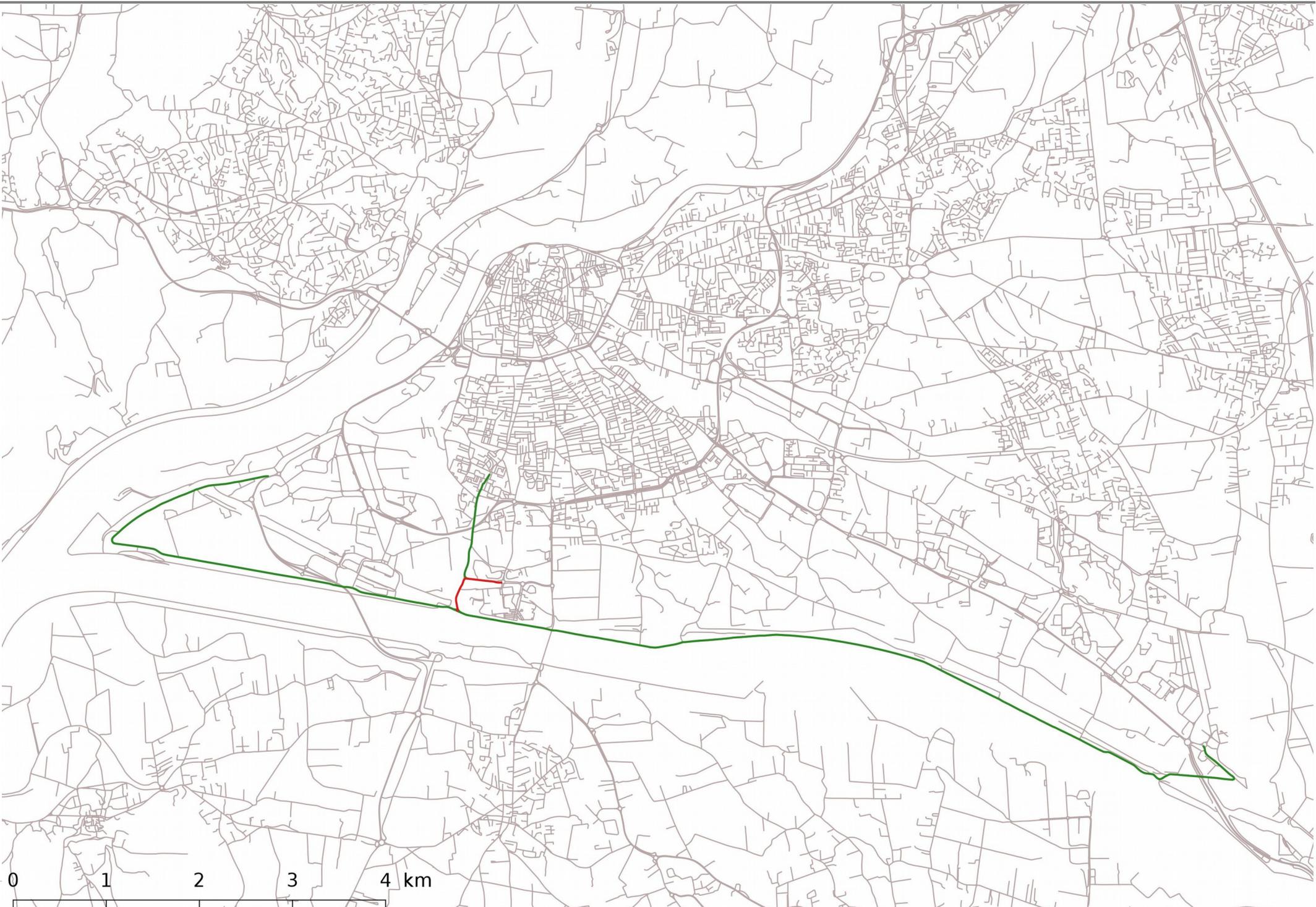


0 1 2 3 4 km

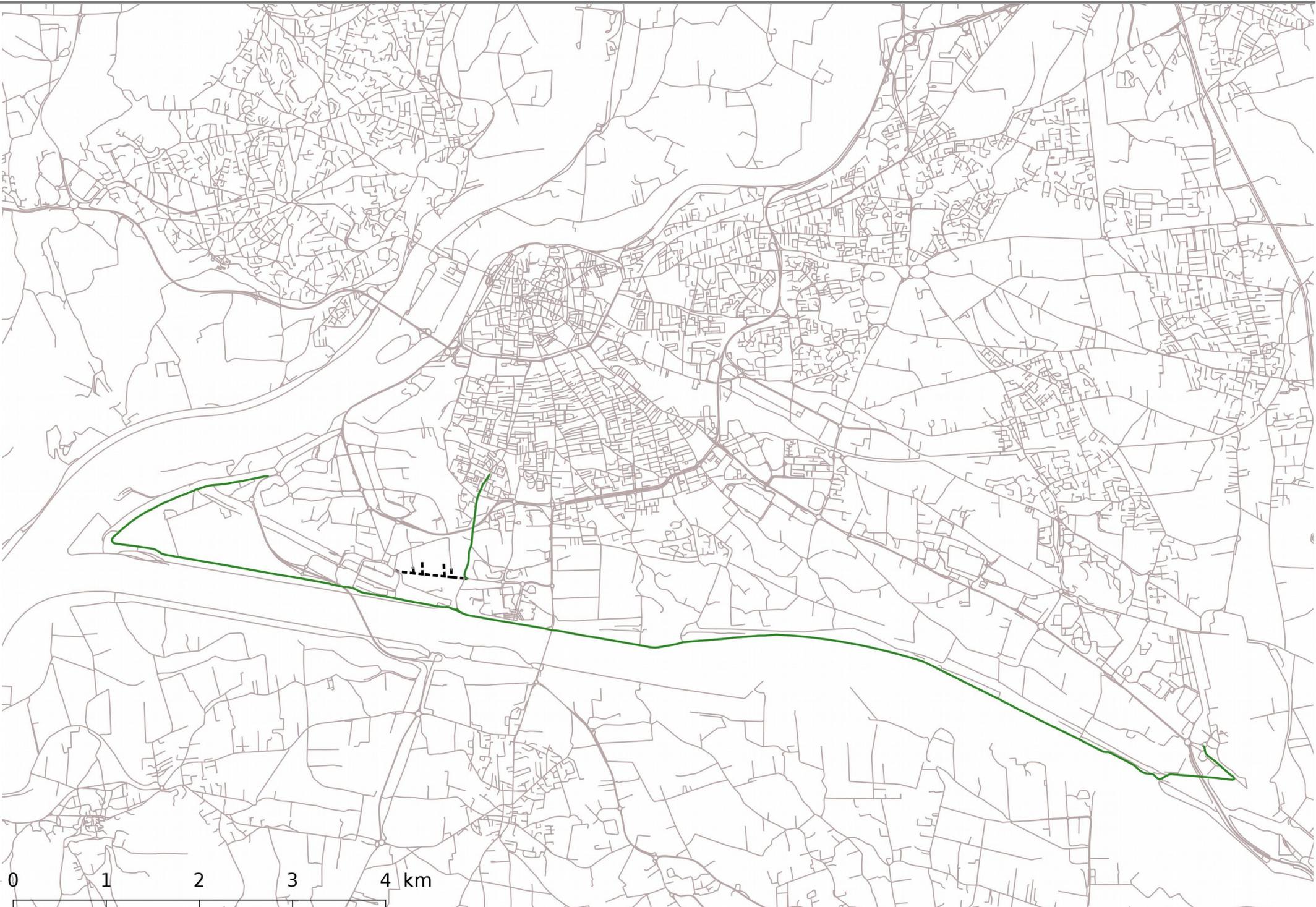
Quantification des modifications structurelles Lecture de projets urbains



Quantification des modifications structurelles Lecture de projets urbains

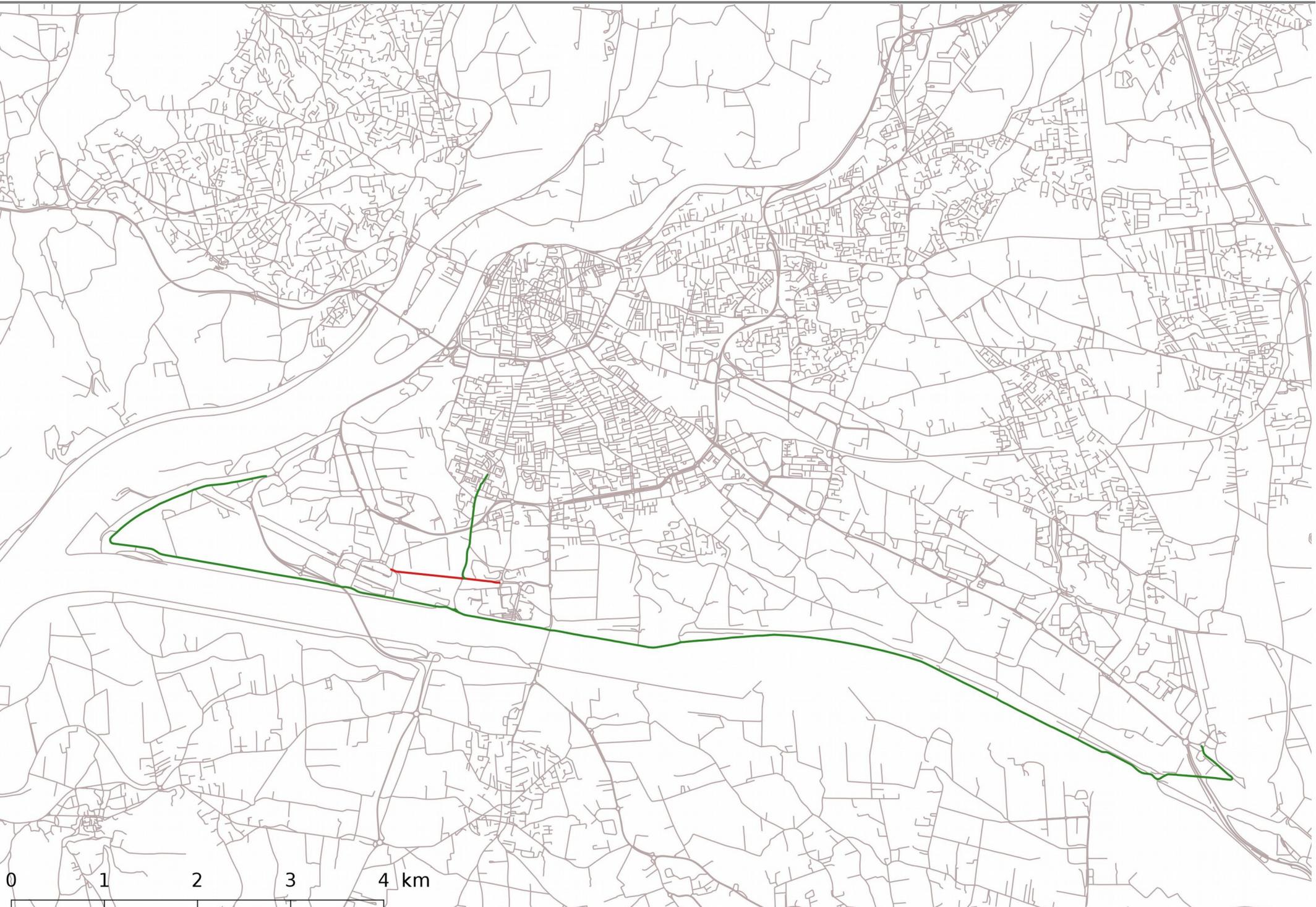


Quantification des modifications structurelles Lecture de projets urbains



Quantification des modifications structurelles

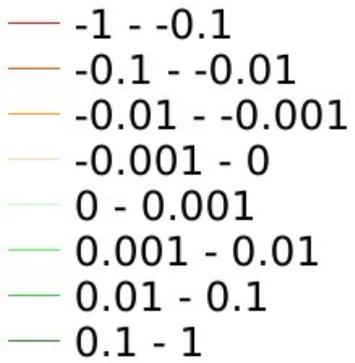
Lecture de projets urbains



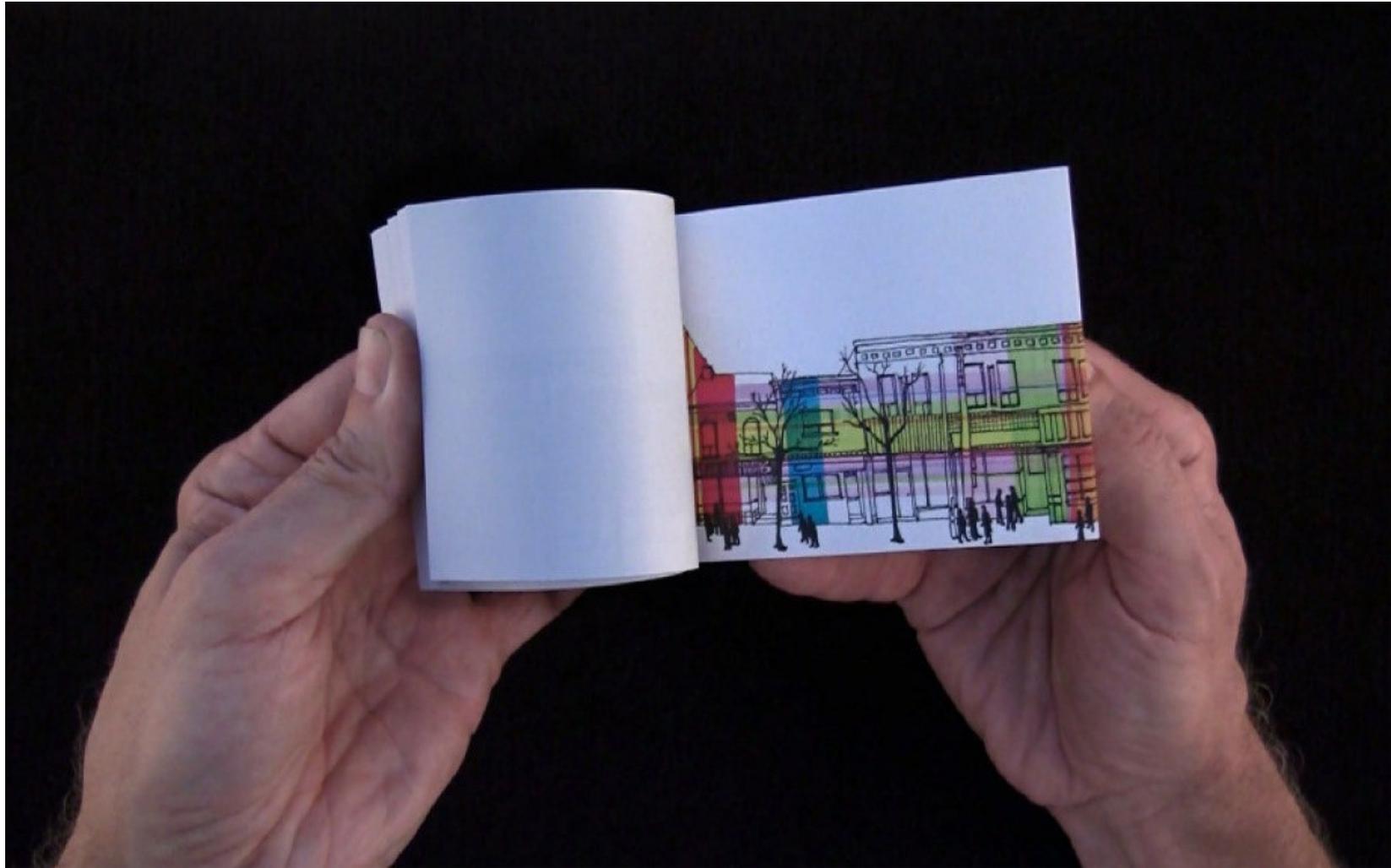
Projet Raoul

---- ajout

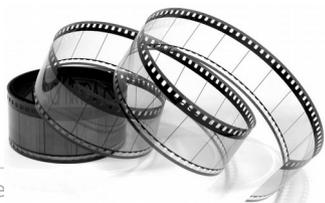
Δ_{relatif} (arcs)



0 1 2 3 4 km

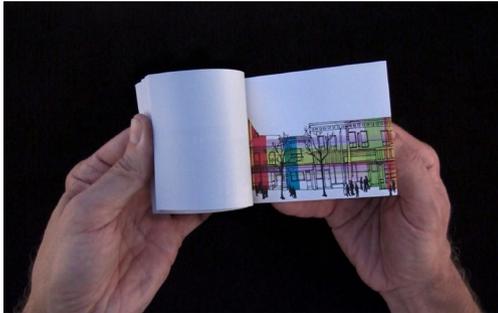


New york film academy - Student ressources









arcs

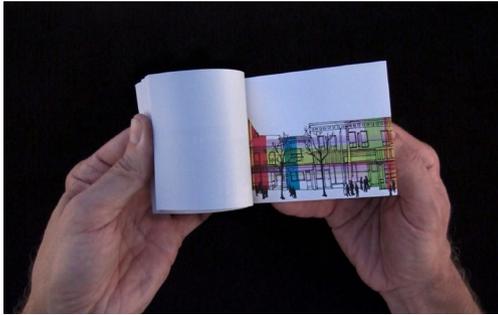


Géométries fixes

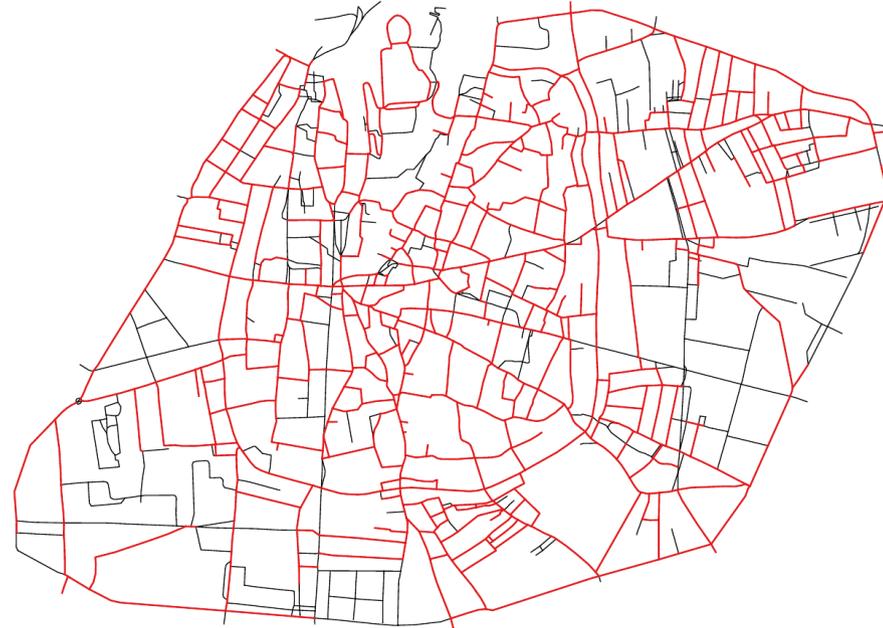


Indicateur de présence ou d'absence selon l'année considérée

Quantification des modifications structurelles Lecture de la cinématique d'une ville



— graphe minimal
— graphe maximal



arcs

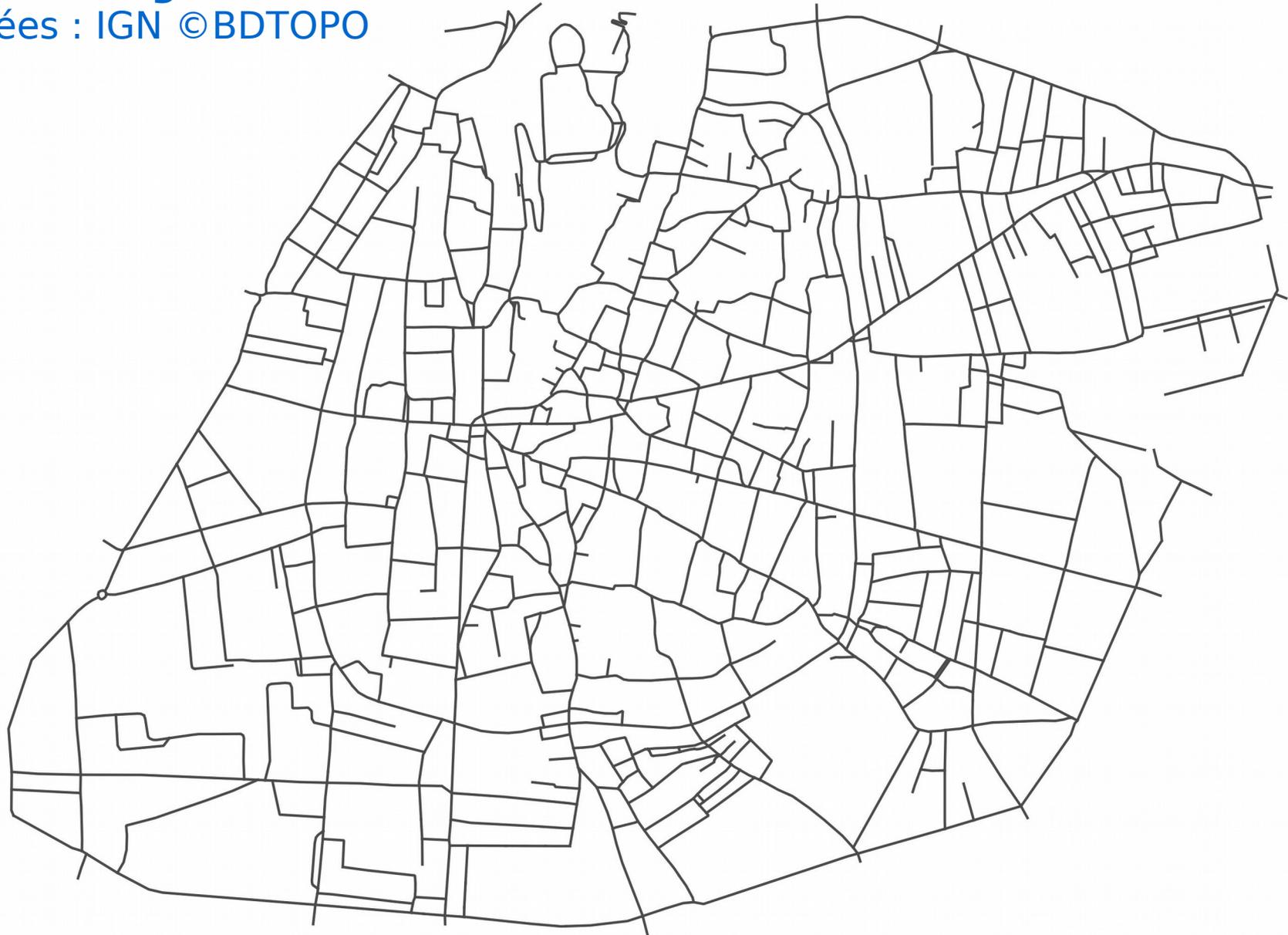


Géométries fixes



Indicateur de **présence ou d'absence selon l'année** considérée

Centre d'Avignon 2014
Données : IGN ©BDTOPO



0 100 200 300 400 m

A scale bar showing increments of 100 meters from 0 to 400 meters. The bar is a horizontal line with vertical tick marks at 0, 100, 200, 300, and 400 meters. The text "0 100 200 300 400 m" is positioned above the bar.

Base de données panchronique

2014

1760

... |

IDHISTO ^	ID	SHAPE LENG	BDP	BDP_C	BDP_L	P1970_IM	P1970_IM_L	P1970_IM_C	P1959	P1959_C	P1959_L	P1926	P1926_C	P1926_L	P1910	P1910_C	P1910_L
1	TRONROUT0...	59.6753115...	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL
2	TRONROUT0...	31.5782636...	1	Place	2	1	3	NULL	1	NULL	3	1	NULL	3	1	NULL	3
3	TRONROUT0...	41.0938548...	1	NULL	2	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL
4	TRONROUT0...	126.570419...	1	NULL	NULL	1	3	NULL	1	NULL	3	0	NULL	NULL	0	NULL	NULL
5	TRONROUT0...	31.2267696...	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL
6	TRONROUT0...	2.99535106...	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL

- ▶ **Ajout** de ce qui a été **détruit**
- ▶ **Retrait** de ce qui a été **créé**

Base de données panchronique

2014

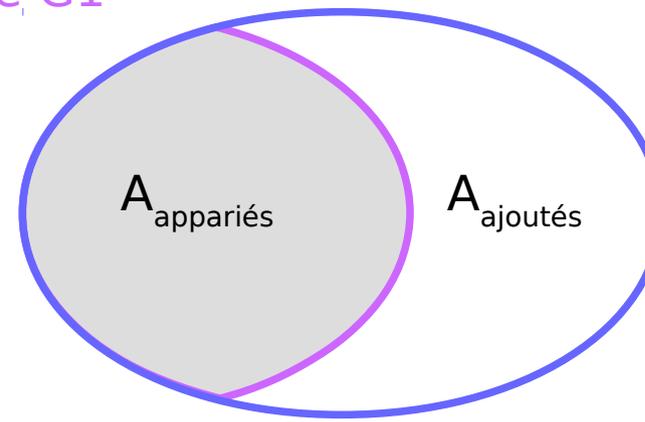
IDHISTO ^	ID	SHAPE LENG	BDP	BDP_C	BDP_L	P1970_IM	P1970_IM_L	P1970_IM_C	P1959	P1959_C	P1959_L	P1926	P1926_C	P1926_L	P1910	P1910_C	P1910_L
1	TRONROUTO...	59.6753115...	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL
2	TRONROUTO...	31.5782636...	1	Place	2	1	3	NULL	1	NULL	3	1	NULL	3	1	NULL	3
3	TRONROUTO...	41.0938548...	1	NULL	2	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL
4	TRONROUTO...	126.570419...	1	NULL	NULL	1	3	NULL	1	NULL	3	0	NULL	NULL	0	NULL	NULL
5	TRONROUTO...	31.2267696...	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL
6	TRONROUTO...	2.99535106...	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL	1	NULL	NULL

1760

10 dates - 9 périodes

2014 - 1970 - 1959 - 1926 - 1910 - 1879 - 1854 - 1836 - 1819 - 1760

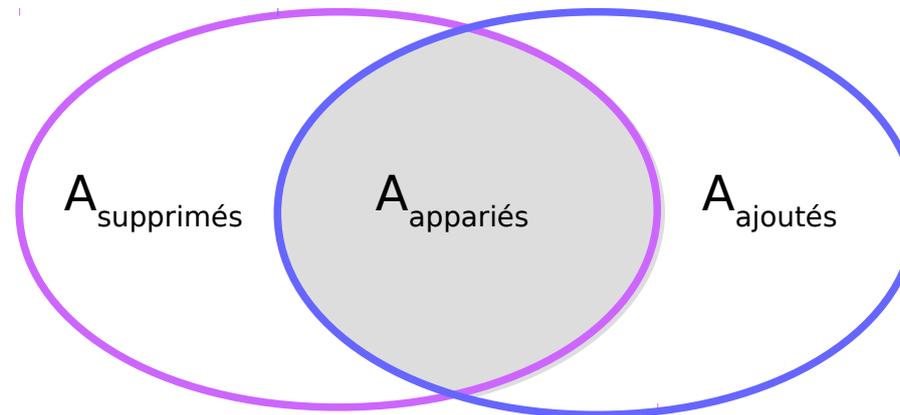
Arcs de G1



Arcs de G2

$$\Delta_{access}(a_{ref}) = \Delta_{brutaccess}(a_{ref}) - \delta_{ajouts}(a_{ref})$$

Arcs de G1



Arcs de G2

$$\Delta_{\text{access}}(a_{\text{ref}}) = \Delta_{\text{brutaccess}}(a_{\text{ref}}) - \delta_{\text{ajouts}}(a_{\text{ref}})$$

$$\Delta_{\text{access}}(a_{\text{ref}}) = \Delta_{\text{brutaccess}}(a_{\text{ref}}) - \delta_{\text{ajouts}}(a_{\text{ref}}) + \delta_{\text{suppressions}}(a_{\text{ref}})$$

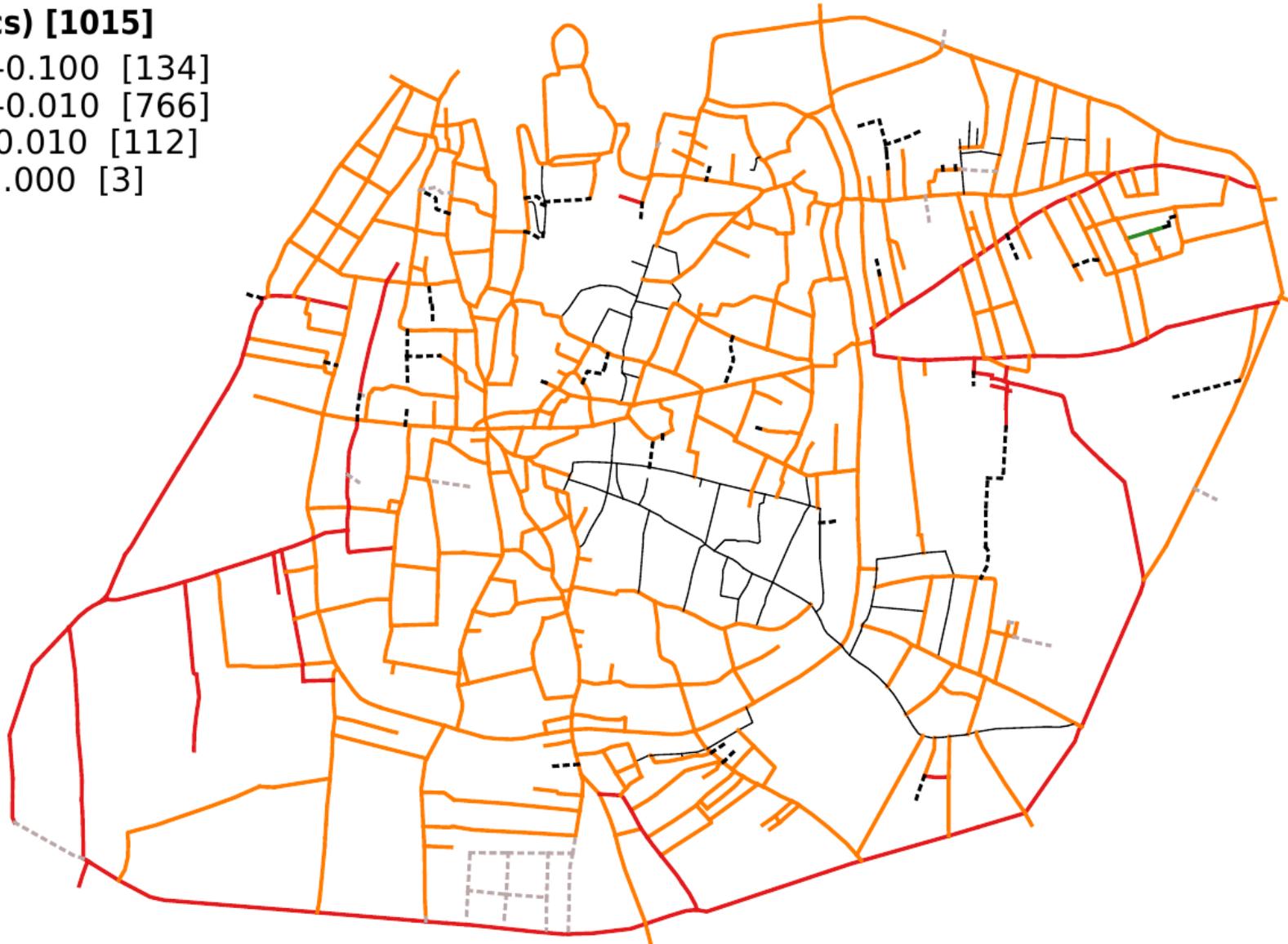
Quantification des modifications structurelles Lecture de la cinématique d'une ville

1760 - 1819

---- ajout
- - - - suppression

Δ_{relatif} (arcs) [1015]

— -1.000 - -0.100 [134]
— -0.100 - -0.010 [766]
— -0.010 - 0.010 [112]
— 0.100 - 1.000 [3]



0 100 200 300 400 m

Quantification des modifications structurelles

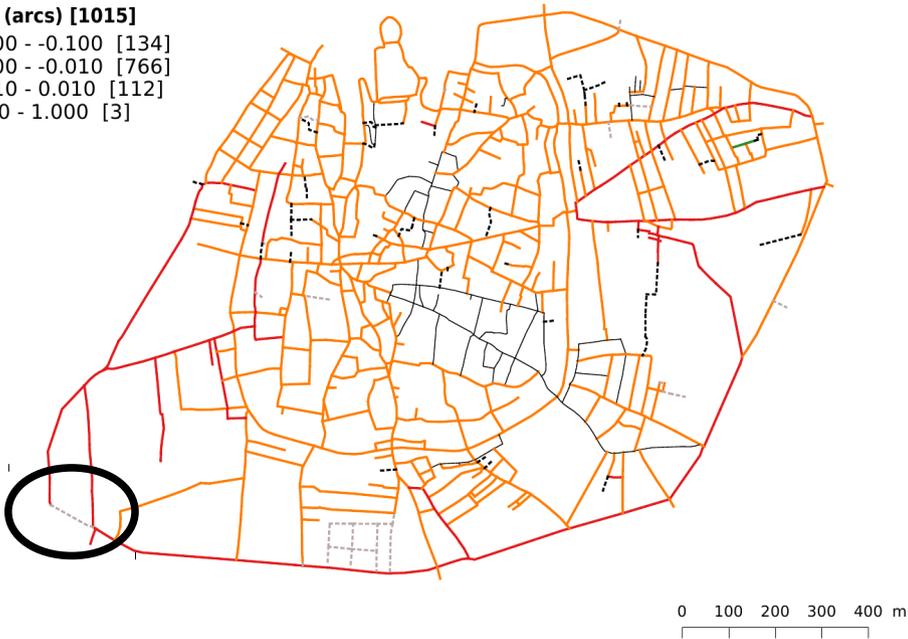
Lecture de la cinématique d'une ville

1760 - 1819

---- ajout
---- suppression

Δ_{relatif} (arcs) [1015]

-1.000 - -0.100 [134]
-0.100 - -0.010 [766]
-0.010 - 0.010 [112]
0.100 - 1.000 [3]

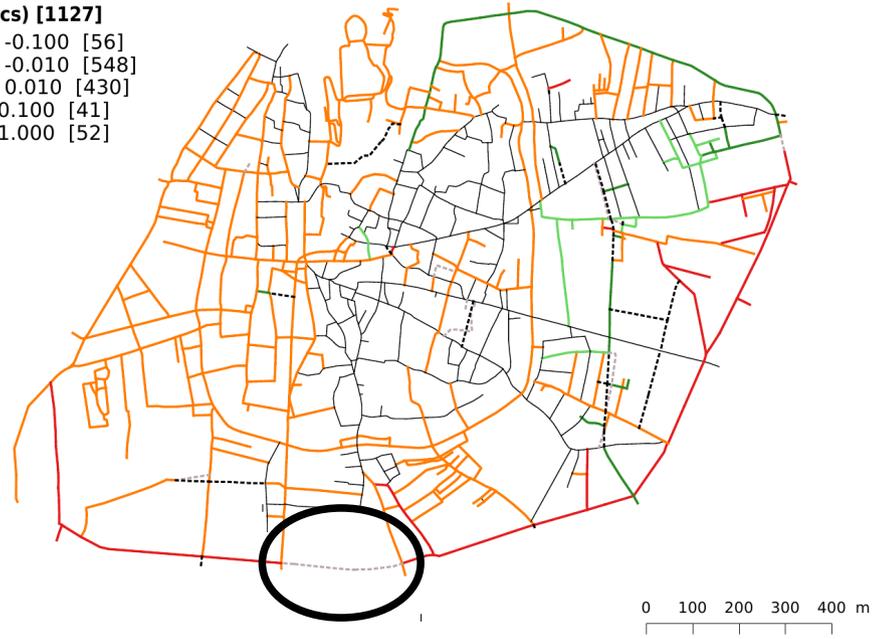


1879 - 1910

---- ajout
---- suppression

Δ_{relatif} (arcs) [1127]

-1.000 - -0.100 [56]
-0.100 - -0.010 [548]
-0.010 - 0.010 [430]
0.010 - 0.100 [41]
0.100 - 1.000 [52]

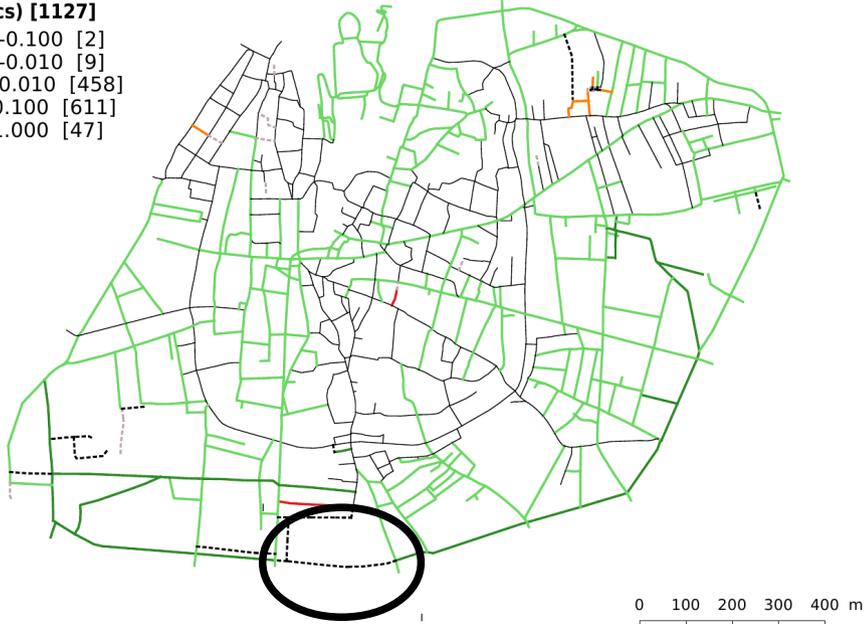


1926 - 1959

---- ajout
---- suppression

Δ_{relatif} (arcs) [1127]

-1.000 - -0.100 [2]
-0.100 - -0.010 [9]
-0.010 - 0.010 [458]
0.010 - 0.100 [611]
0.100 - 1.000 [47]

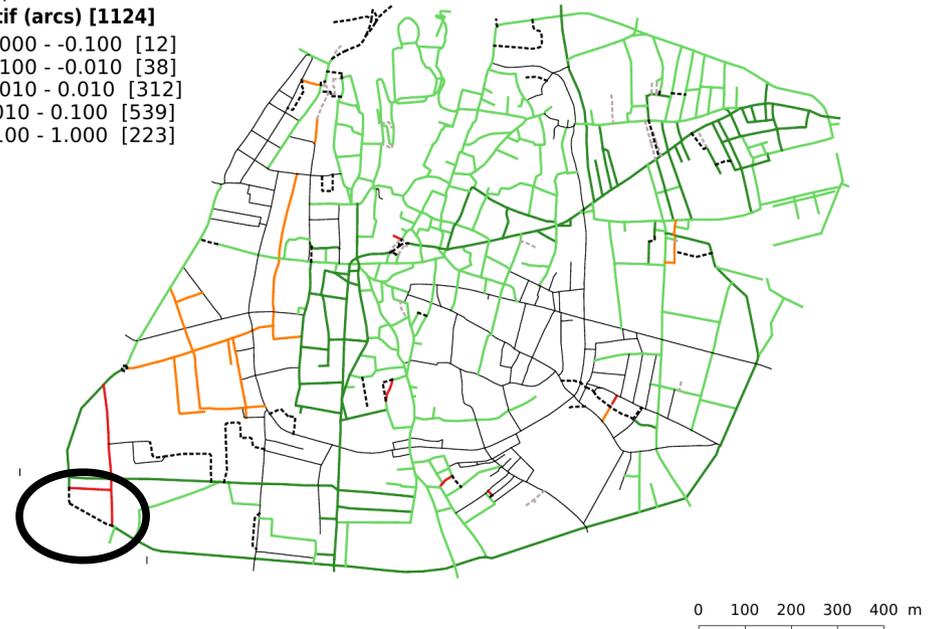


1970 - 2014

---- ajout
---- suppression

Δ_{relatif} (arcs) [1124]

-1.000 - -0.100 [12]
-0.100 - -0.010 [38]
-0.010 - 0.010 [312]
0.010 - 0.100 [539]
0.100 - 1.000 [223]



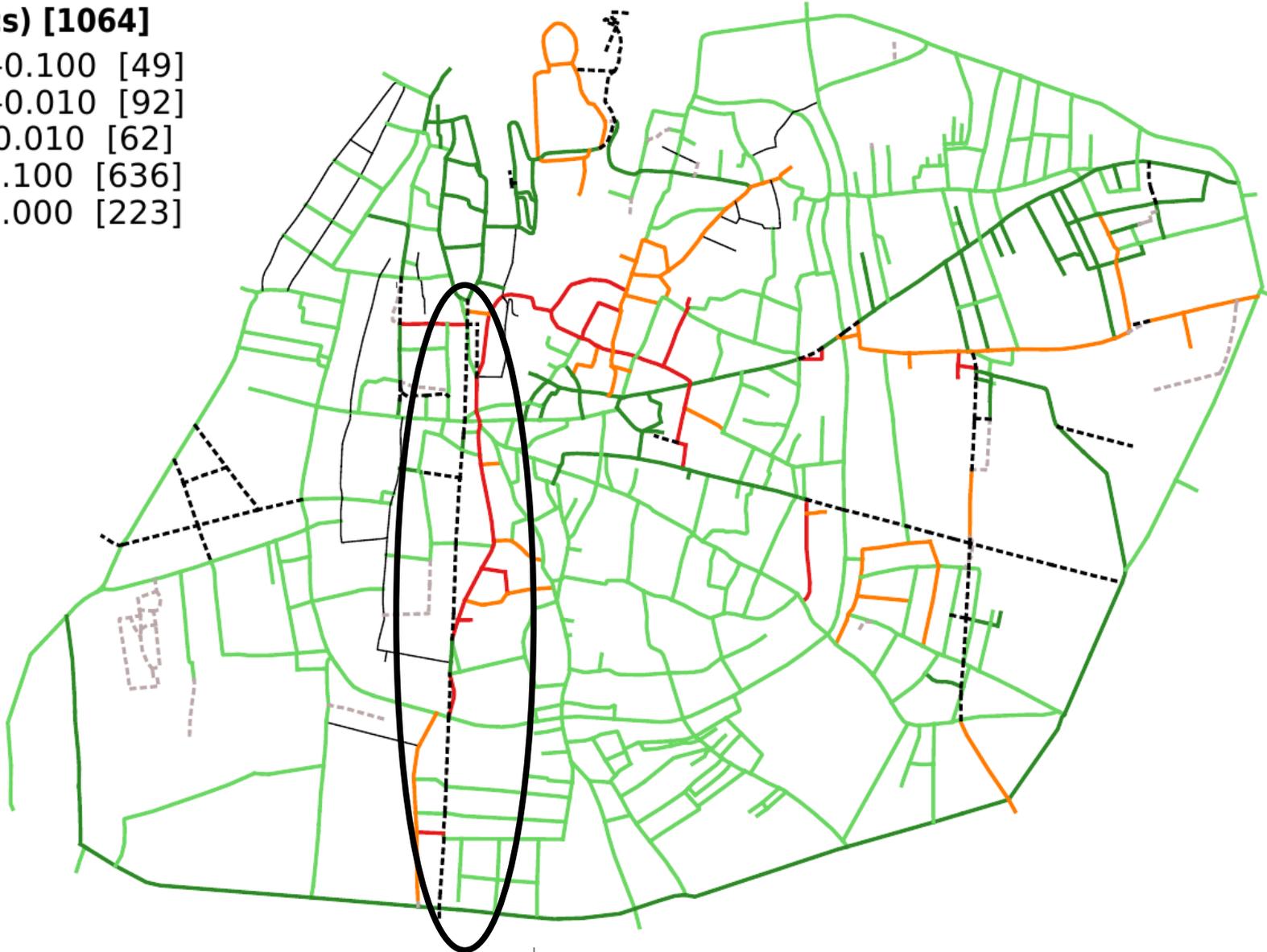
Quantification des modifications structurelles Lecture de la cinématique d'une ville

1836 - 1854

---- ajout
- - - - suppression

Δ_{relatif} (arcs) [1064]

— -1.000 - -0.100 [49]
— -0.100 - -0.010 [92]
— -0.010 - 0.010 [62]
— 0.010 - 0.100 [636]
— 0.100 - 1.000 [223]



0 100 200 300 400 m

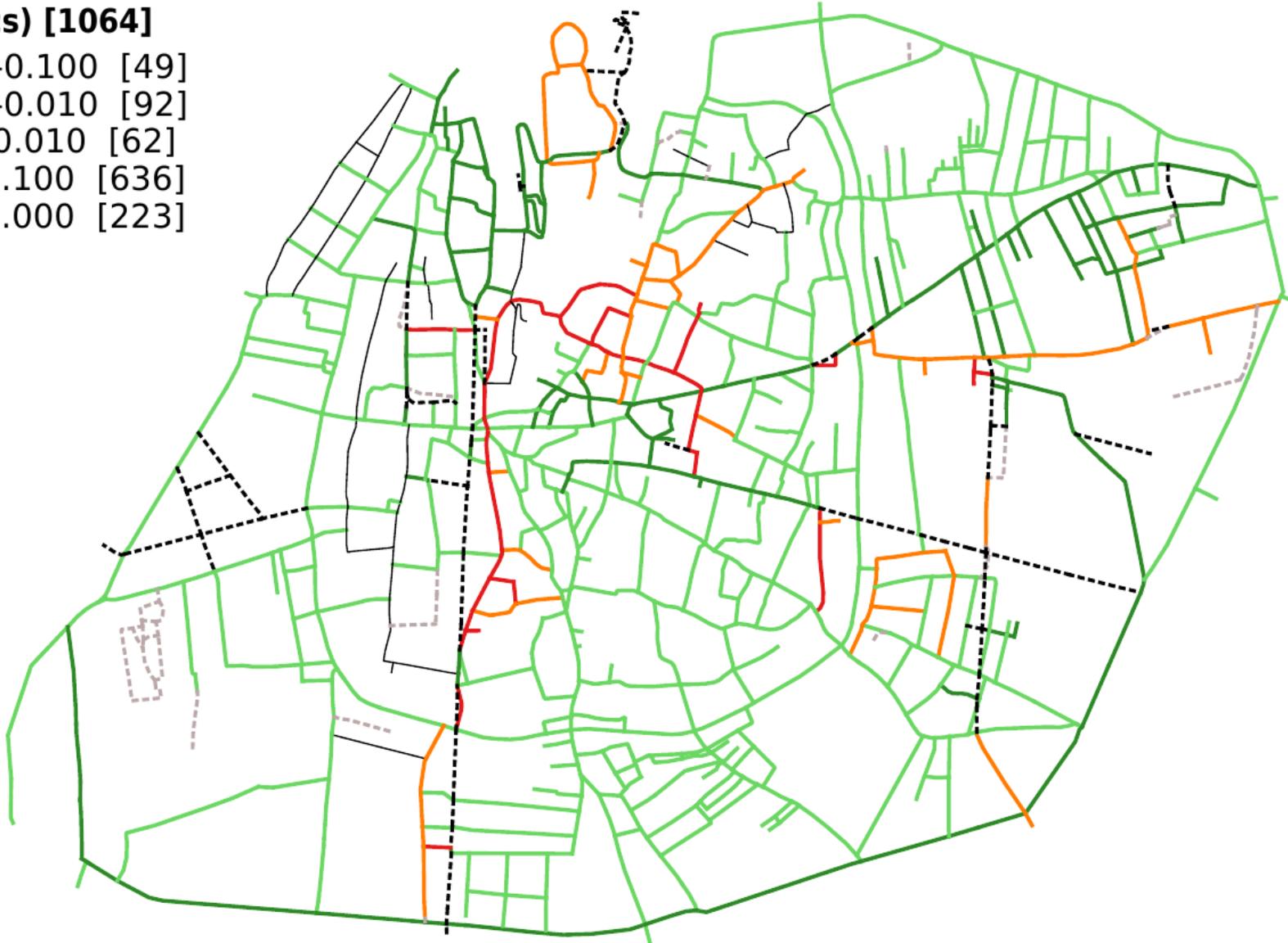
Quantification des modifications structurelles Lecture de la cinématique d'une ville

1836 - 1854

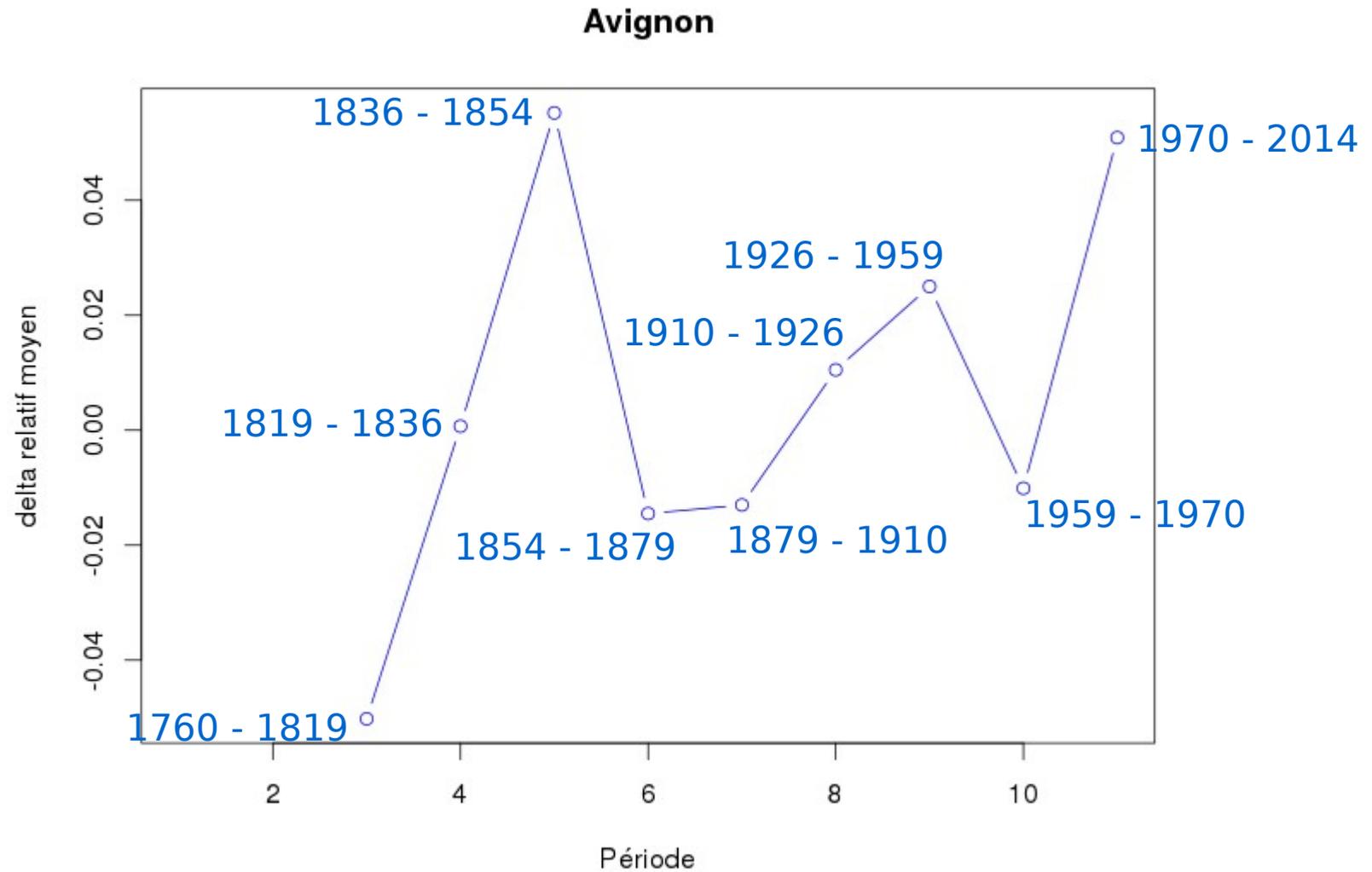
---- ajout
- - - - suppression

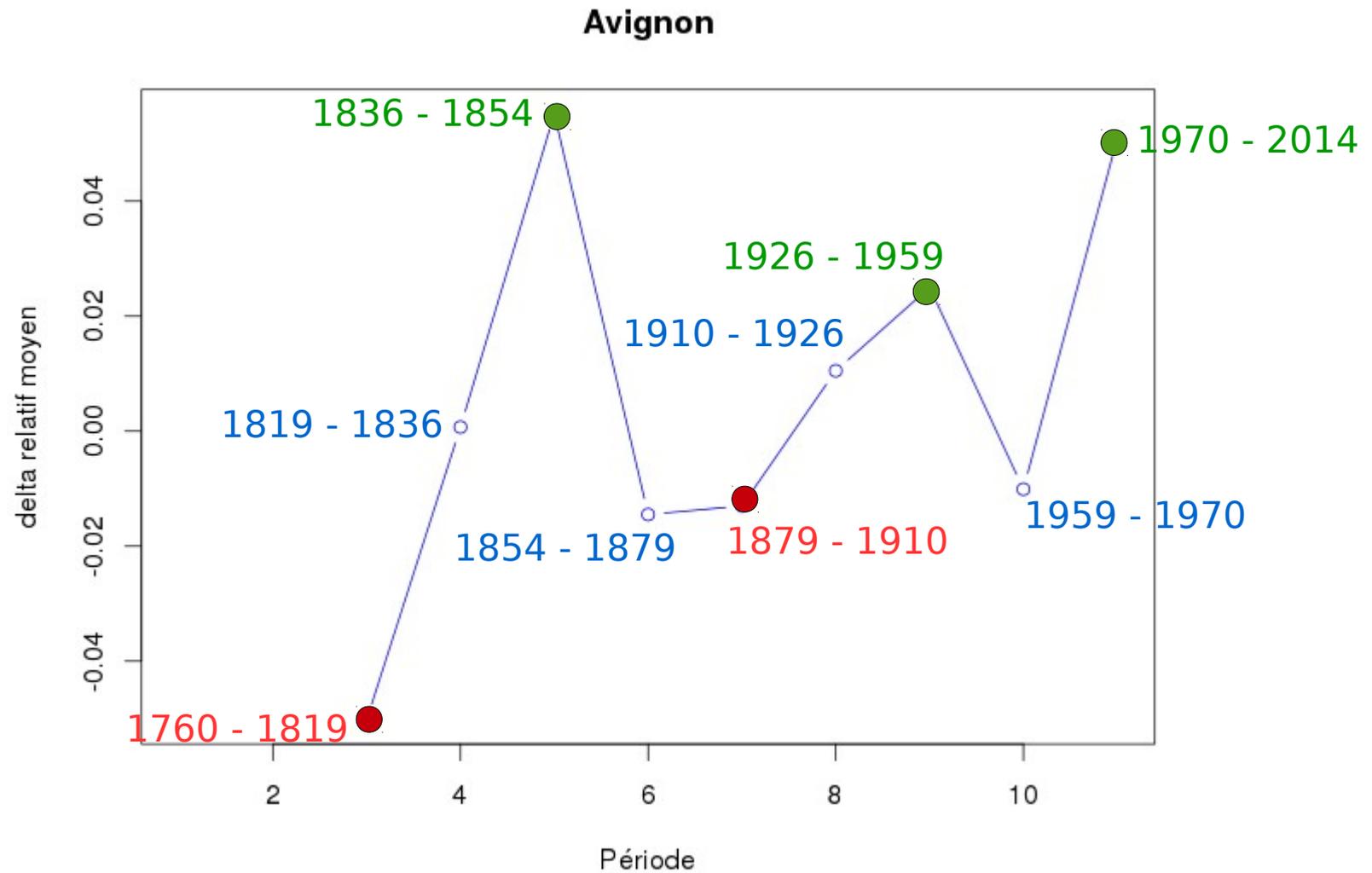
Δ_{relatif} (arcs) [1064]

— -1.000 - -0.100 [49]
— -0.100 - -0.010 [92]
— -0.010 - 0.010 [62]
— 0.010 - 0.100 [636]
— 0.100 - 1.000 [223]



0 100 200 300 400 m

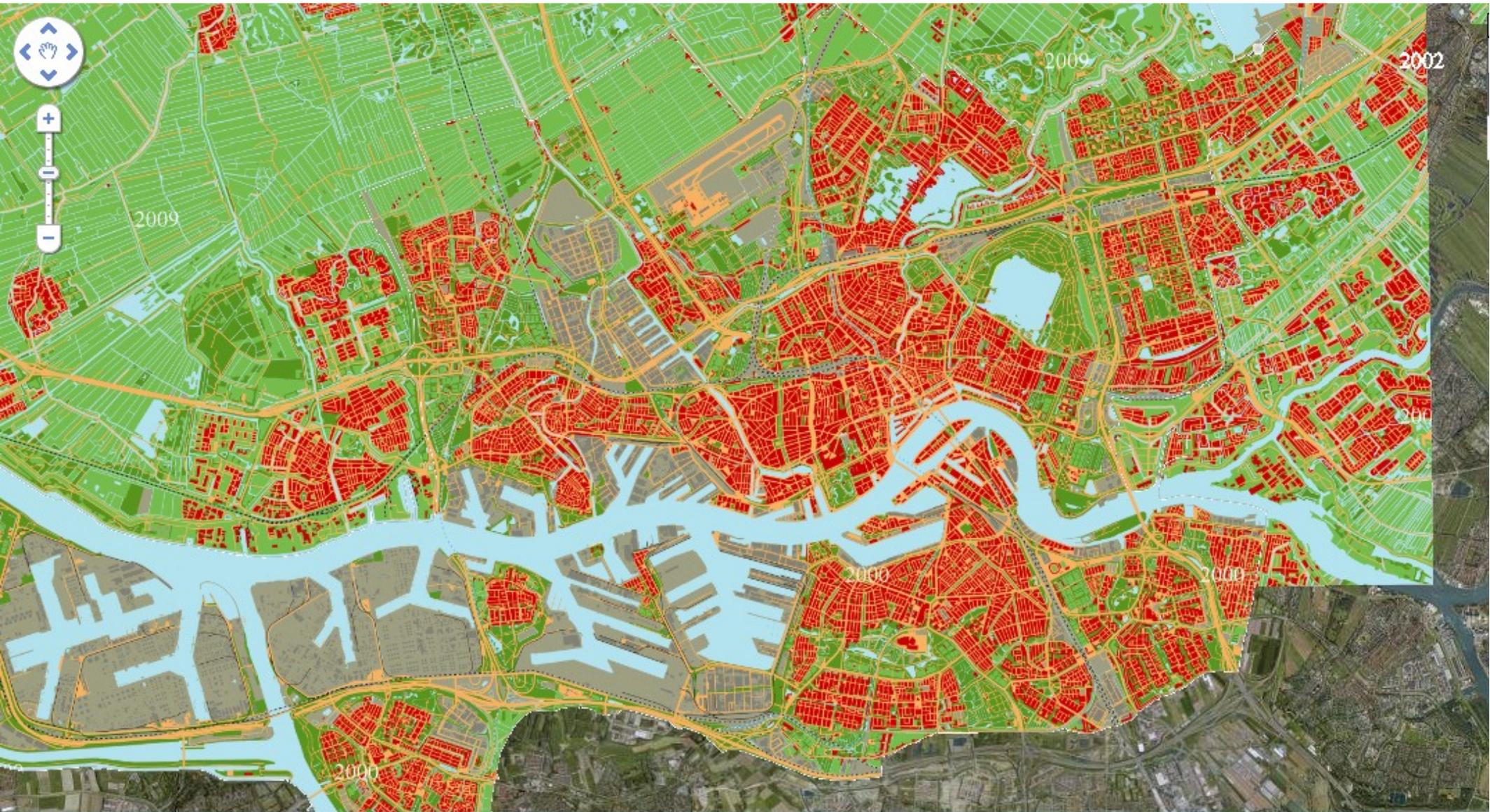




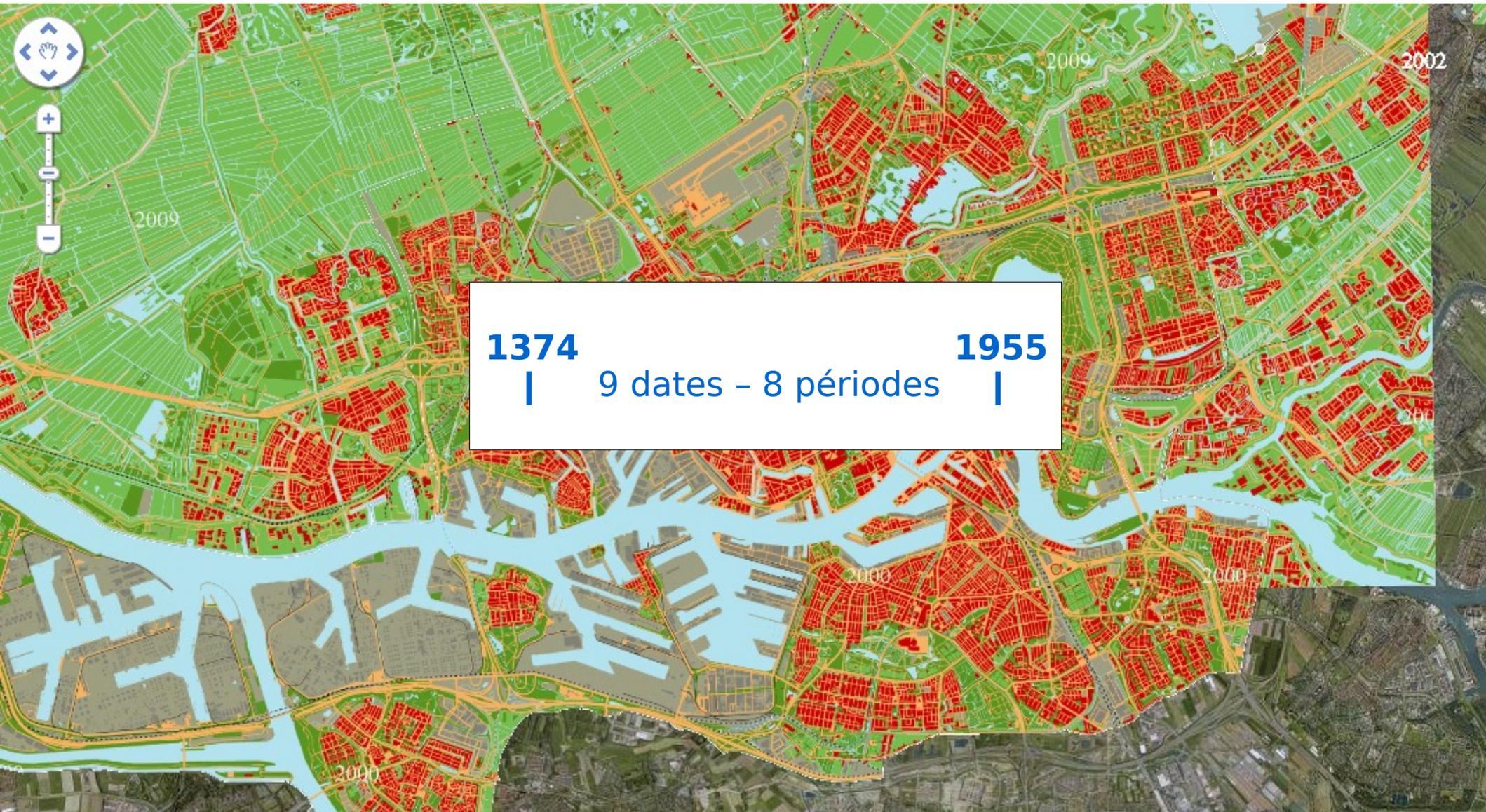




Données : Mapping History

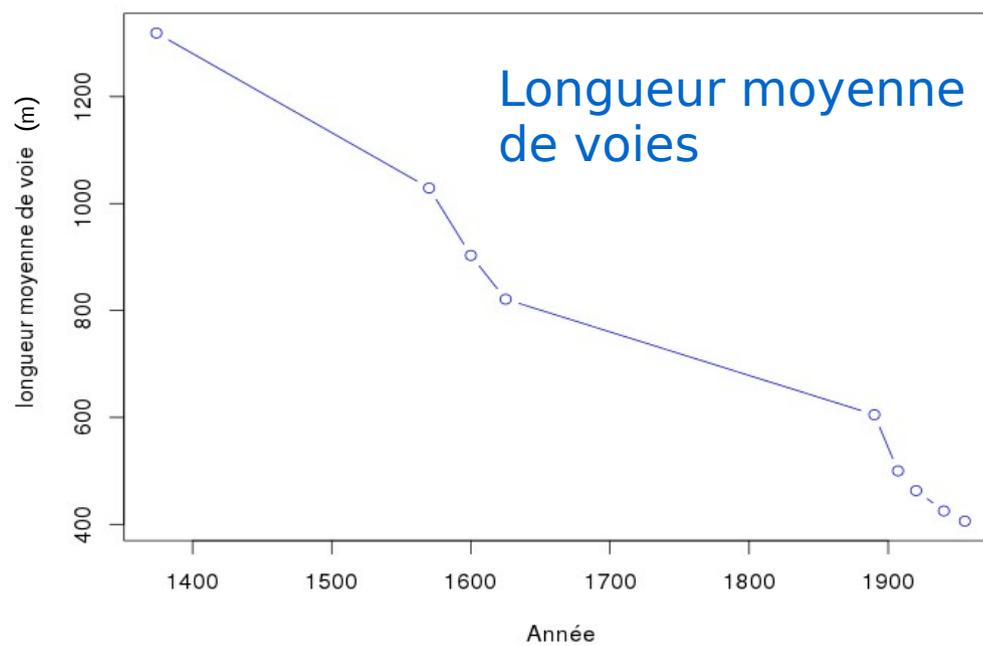
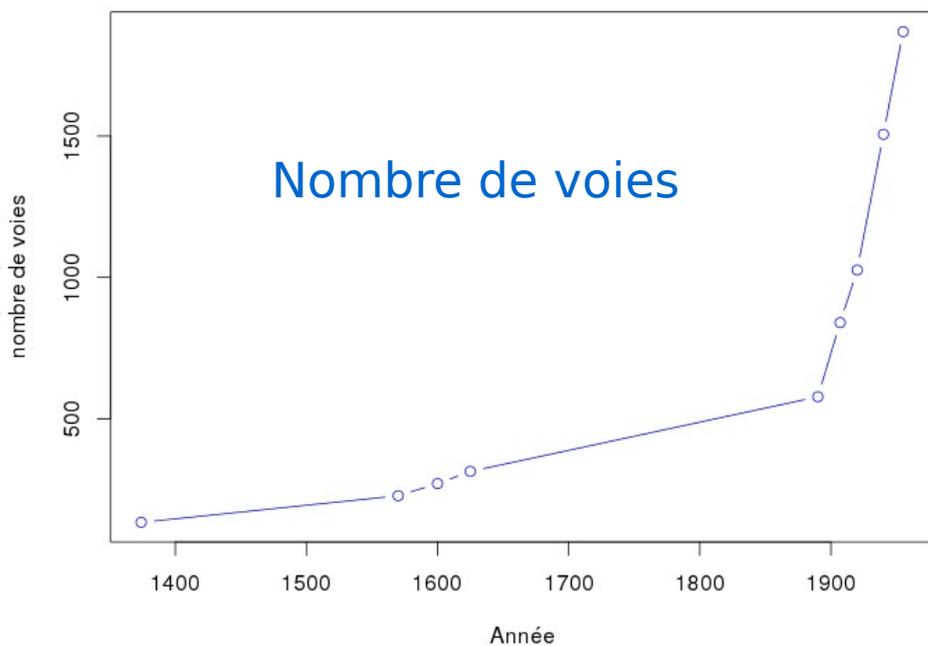
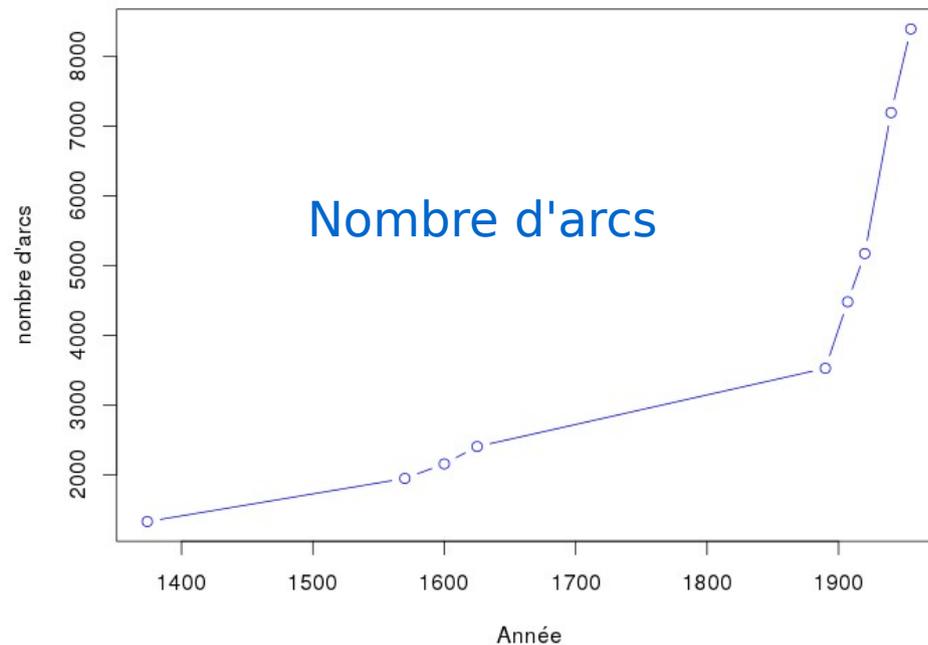
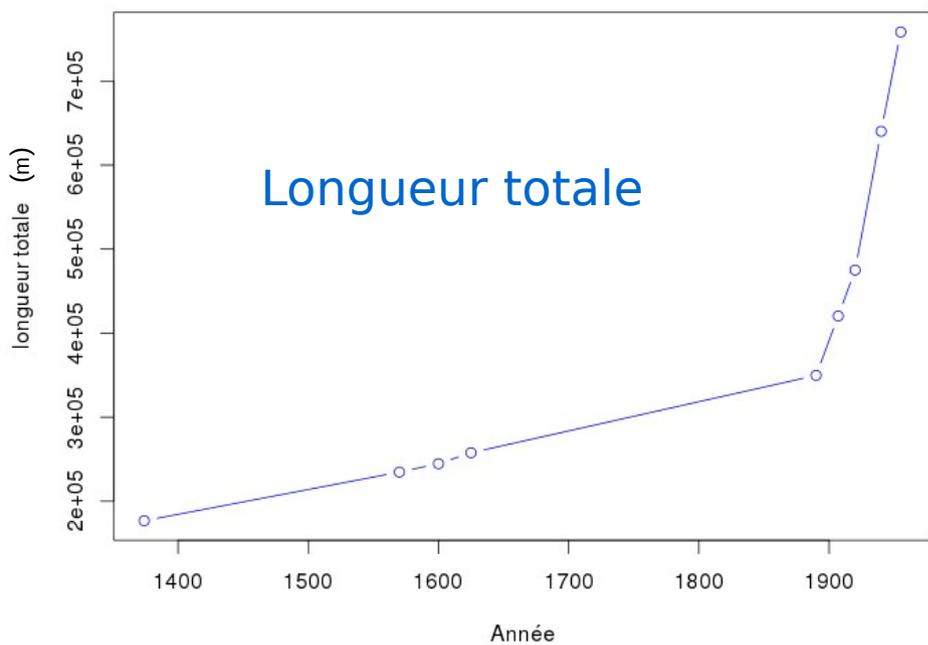


Données : Mapping History



Rotterdam

Quantification des modifications structurelles Lecture de la cinématique d'une ville

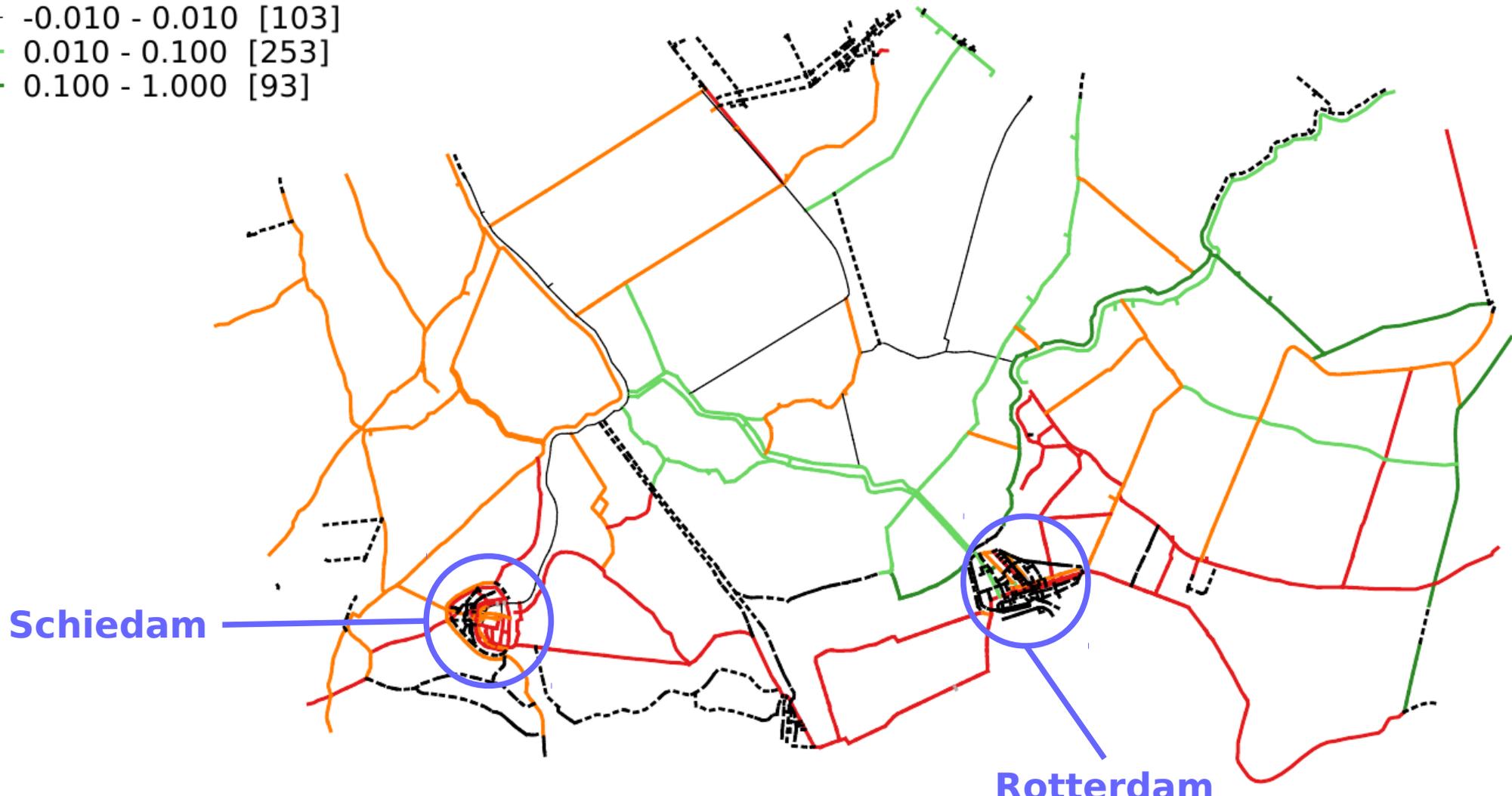


1374 - 1570

---- ajout
- - - - suppression

Δ_{relatif} (arcs) [1324]

— -1.000 - -0.100 [548]
— -0.100 - -0.010 [327]
— -0.010 - 0.010 [103]
— 0.010 - 0.100 [253]
— 0.100 - 1.000 [93]



Schiedam

Rotterdam

0 1 2 3 4 km

Le fil de la présentation

- I ■ Choix d'un réseau complexe pour lire la ville
 - Décomposition structurelle
 - Caractérisation classique d'un graphe spatial
- II ■ Construction d'un objet de lecture : *la voie*
 - Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale
 - Particularités de la lecture d'un graphe à travers la voie
- III ■ Quantification des modifications structurelles
 - Lecture de projets urbains
 - Lecture de la cinématique d'une ville

Ouverture

Le fil de la présentation

- I **Choix d'un réseau** complexe pour lire la ville
 - **Décomposition structurelle**
 - **Caractérisation classique** d'un graphe spatial
- II **Construction d'un objet** de lecture : *la voie*
 - Écriture d'une **grammaire de caractérisation** spatiale
 - **Particularités de la lecture** d'un graphe à travers la voie
- III **Quantification des modifications** structurelles
 - Lecture de **projets urbains**
 - Lecture de la **cinématique d'une ville**

Ouverture

Construction d'un **objet** de lecture **multi-échelle** : *la voie*

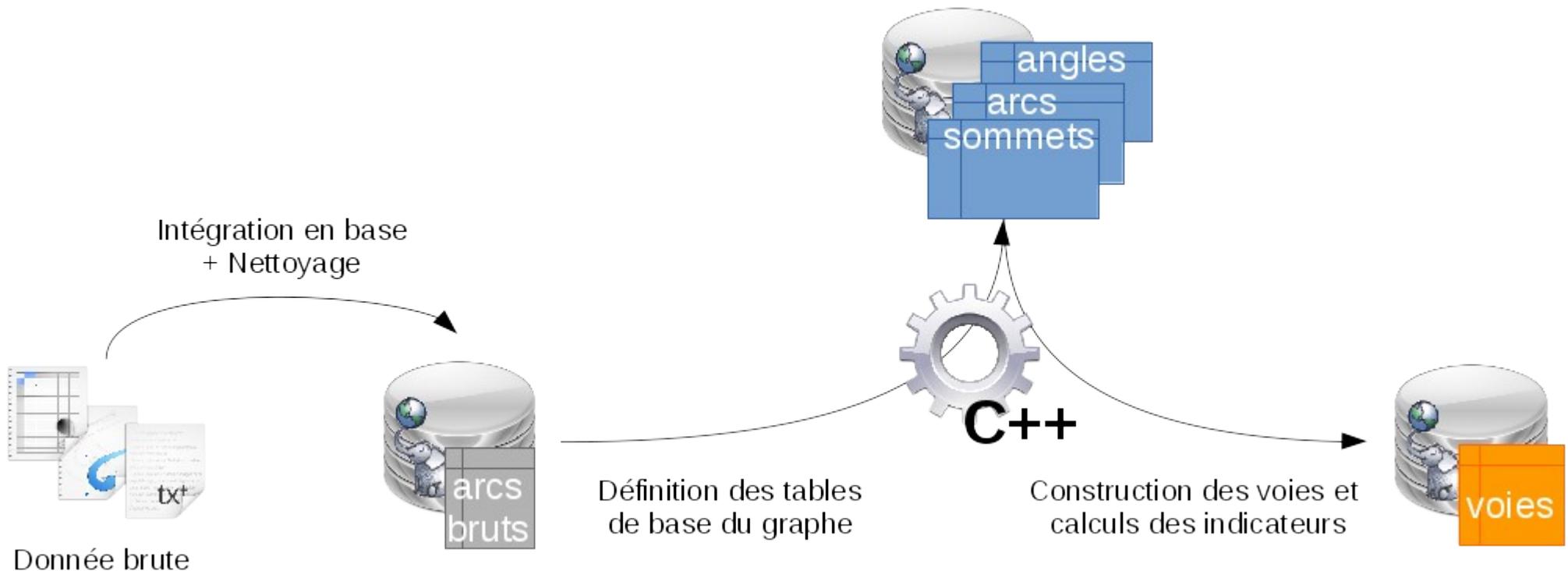
- ↳ Stabilisation la lecture du réseau

Développement de nouveaux **indicateurs liés à la spatialité**

- ↳ Définition d'une grammaire de caractérisation

Quantification des **modifications structurelles**

- ↳ Appui à la lecture diachronique des graphes



Construction d'un **objet** de lecture **multi-échelle** : *la voie*

Développement de nouveaux **indicateurs liés à la spatialité**

Quantification des **modifications structurelles**

Le fil de la présentation

- I ■ Choix d'un réseau complexe pour lire la ville
 - Décomposition structurelle
 - Caractérisation classique d'un graphe spatial
- II ■ Construction d'un objet de lecture : *la voie*
 - Écriture d'une grammaire de caractérisation spatiale
 - Particularités de la lecture d'un graphe à travers la voie
- III ■ Quantification des modifications structurelles
 - Lecture de projets urbains
 - Lecture de la cinématique d'une ville

Ouverture

Construction d'un **objet** de lecture **multi-échelle** : *la voie*

- ↳ Stabilisation la lecture du réseau

Développement de nouveaux **indicateurs liés à la spatialité**

- ↳ Définition d'une grammaire de caractérisation

Quantification des **modifications structurelles**

- ↳ Appui à la lecture diachronique des graphes

Construction d'un **objet** de lecture **multi-échelle** : *la voie*

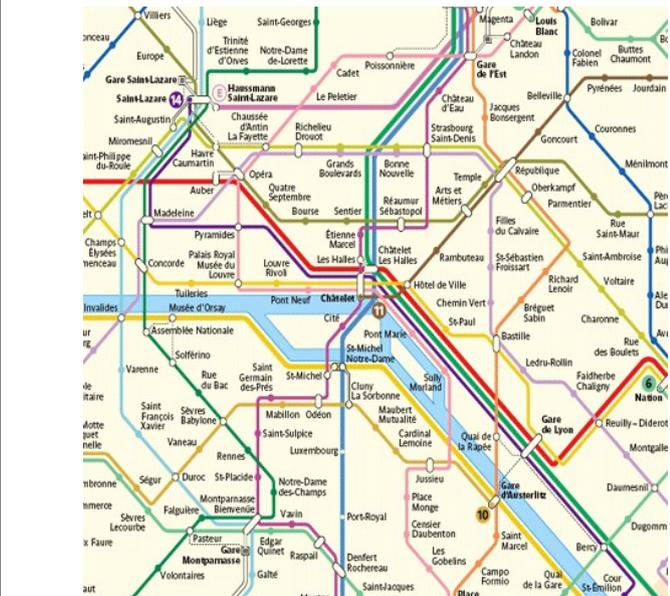
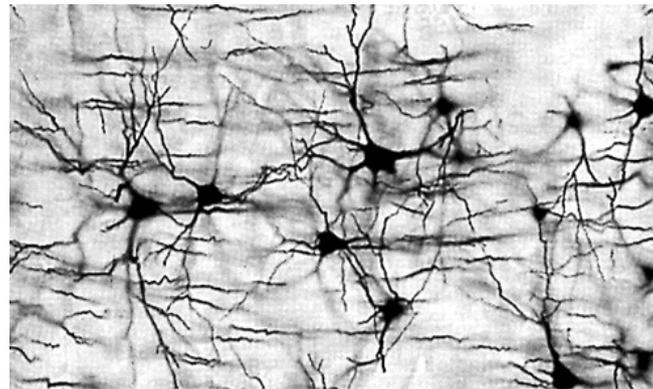
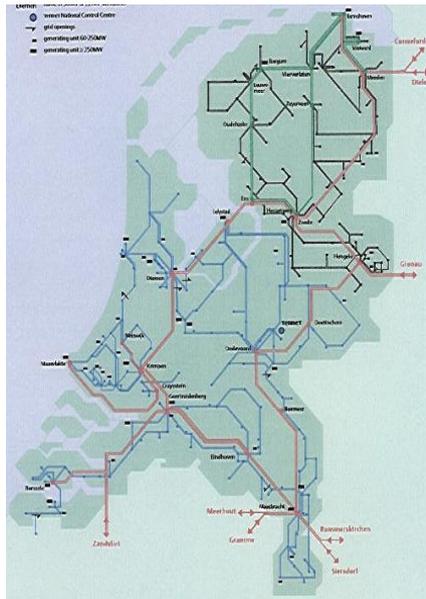
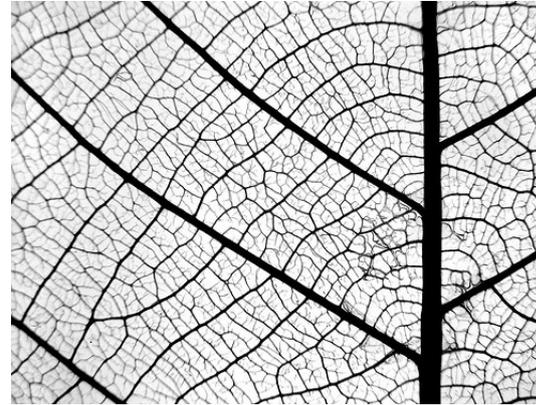
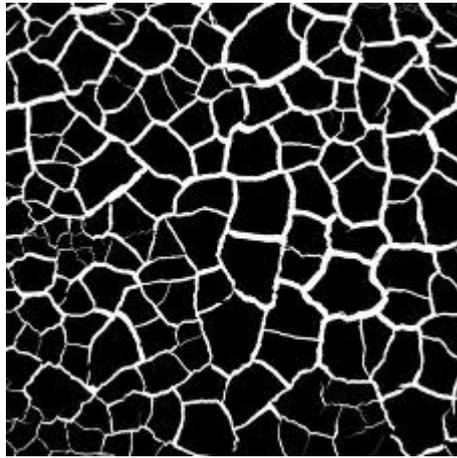
↳ Stabilisation de la lecture du réseau

Développement de nouveaux **indicateurs liés à la spatialité**

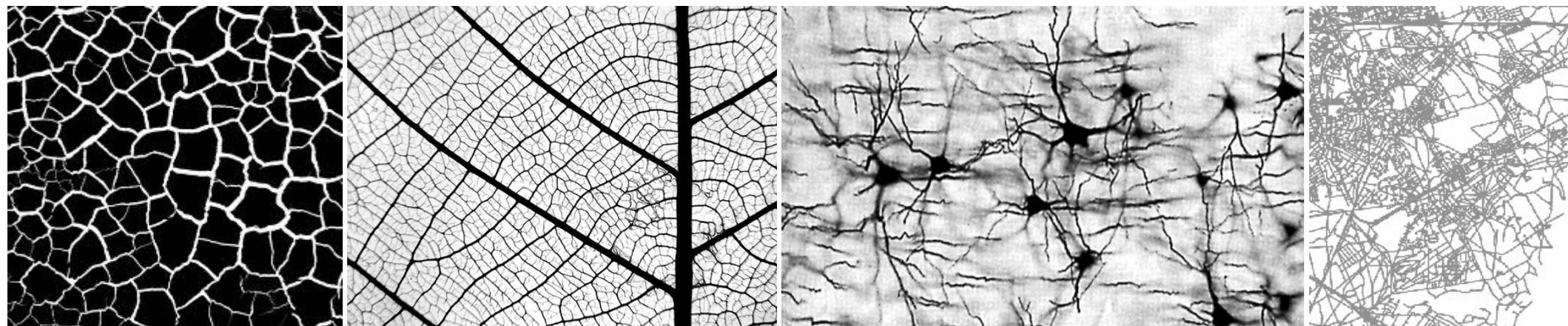
↳ Définition d'une grammaire de caractérisation

Quantification des **modifications structurelles**

↳ Appui à la lecture diachronique des graphes



Mieux **comprendre les réseaux spatiaux**



- Trouver des schémas caractéristiques pour les **identifier**
- Tester leur **robustesse**
- Analyser les **propriétés propres à la spatialité**

Construction d'un **objet** de lecture **multi-échelle** : *la voie*

↳ ■ Stabilisation la lecture du réseau

Développement de nouveaux **indicateurs liés à la spatialité**

↳ ■ Définition d'une grammaire de caractérisation

Quantification des **modifications structurelles**

↳ ■ Appui à la lecture diachronique des graphes

Projet Leo2

---- ajout

Δ_{relatif} (arcs)

- 1 - -0.1
- 0.1 - -0.01
- 0.01 - -0.001
- 0 - 0.001
- 0.001 - 0.01
- 0.01 - 0.1
- 0.1 - 1



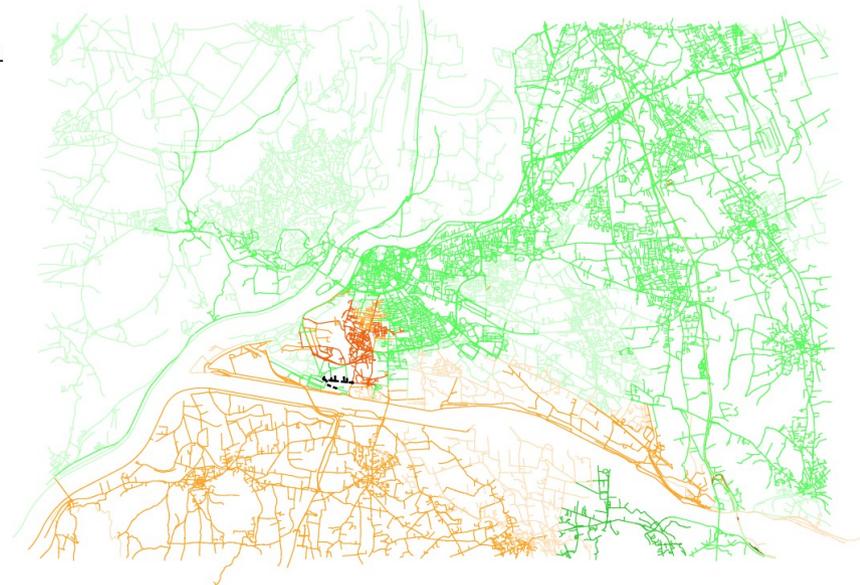
0 1 2 3 4 km

Projet Raoul

---- ajout

Δ_{relatif} (arcs)

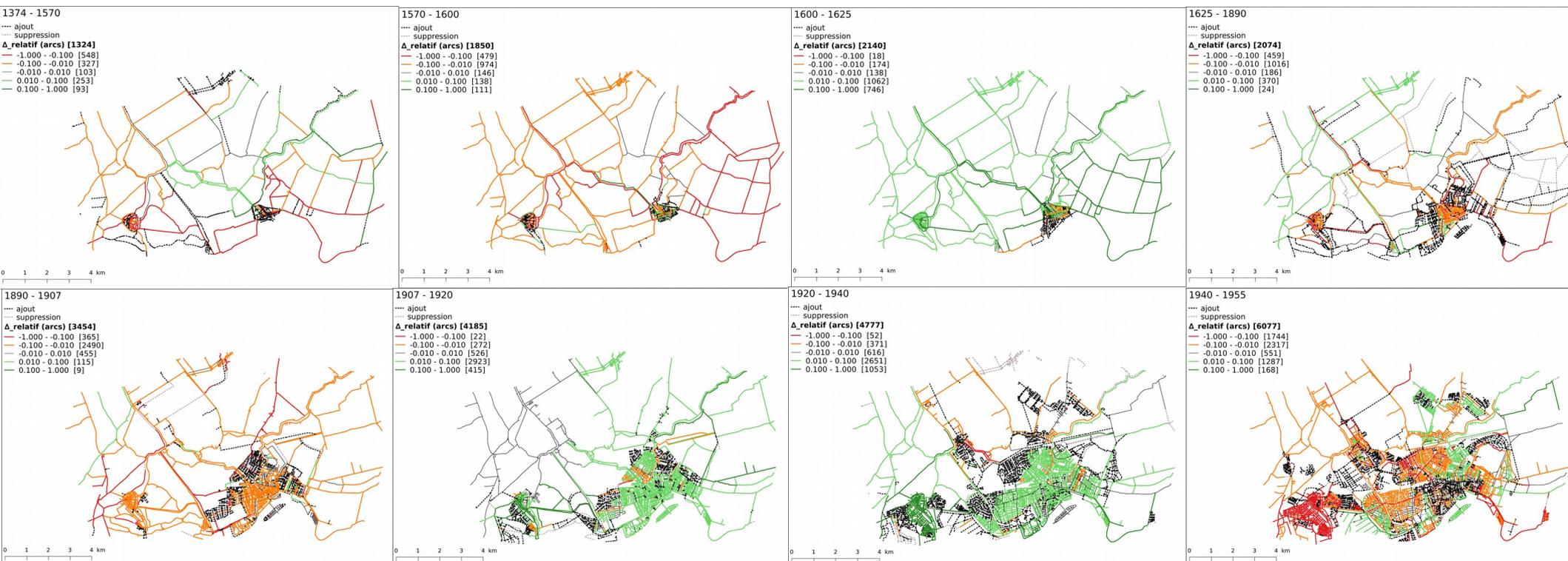
- 1 - -0.1
- 0.1 - -0.01
- 0.01 - -0.001
- 0.001 - 0
- 0 - 0.001
- 0.001 - 0.01
- 0.01 - 0.1
- 0.1 - 1



0 1 2 3 4 km

Quantification des modifications structurelles

► **Aide pour les urbanistes**



Quantification des modifications structurelles

➡ Premiers pas de compréhension de la morphogenèse urbaine

Percements

---- ajout

Δ_{relatif} (arcs)

-1 - -0.1

-0.1 - -0.01

-0.01 - -0.001

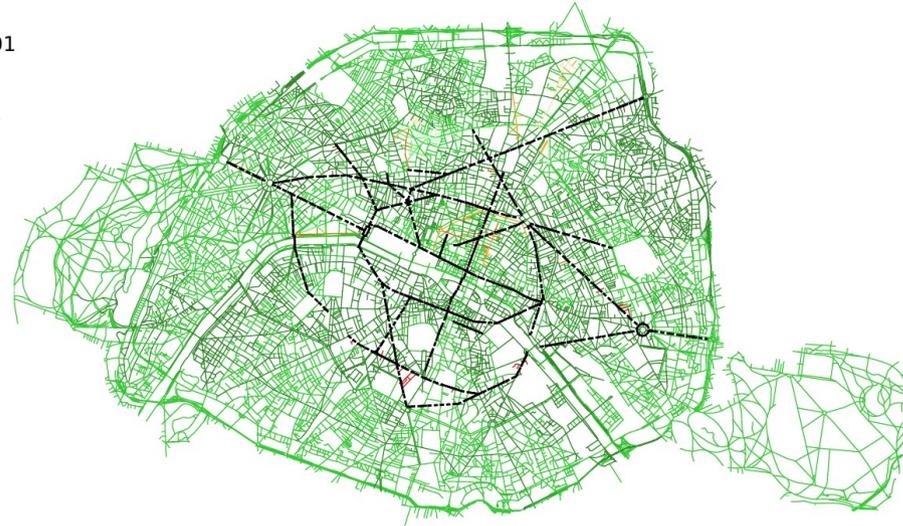
-0.001 - 0

0 - 0.001

0.001 - 0.01

0.01 - 0.1

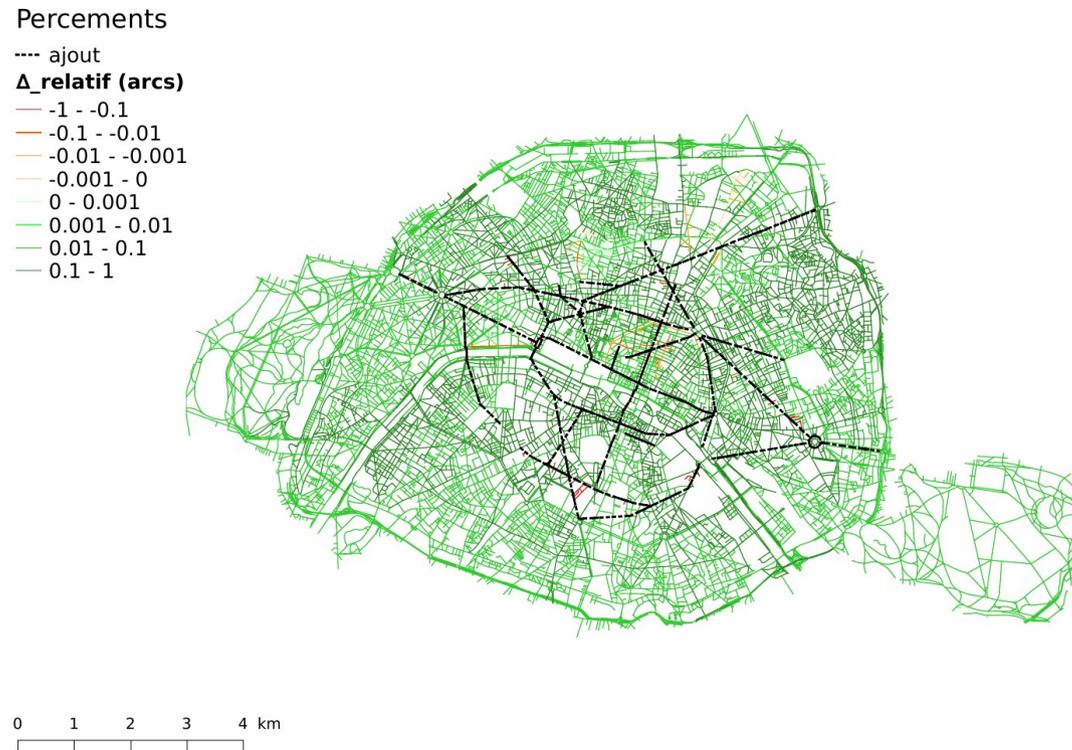
0.1 - 1



0 1 2 3 4 km

Quantification des **modifications structurelles**

└─► **Analyse de projets urbains historiques**



Quantification des **modifications structurelles**

↳ **Analyse de projets urbains historiques**

—————▶ **Analyse structurelle approfondie**

Rendre la caractérisation spatiale **accessible à tous**



Faire de la collecte de données via un **smart game**

Rendre la caractérisation spatiale **accessible à tous**



Faire de la collecte de données via un **smart game**



Rendre la caractérisation spatiale **accessible à tous**



Faire de la collecte de données via un **smart game**

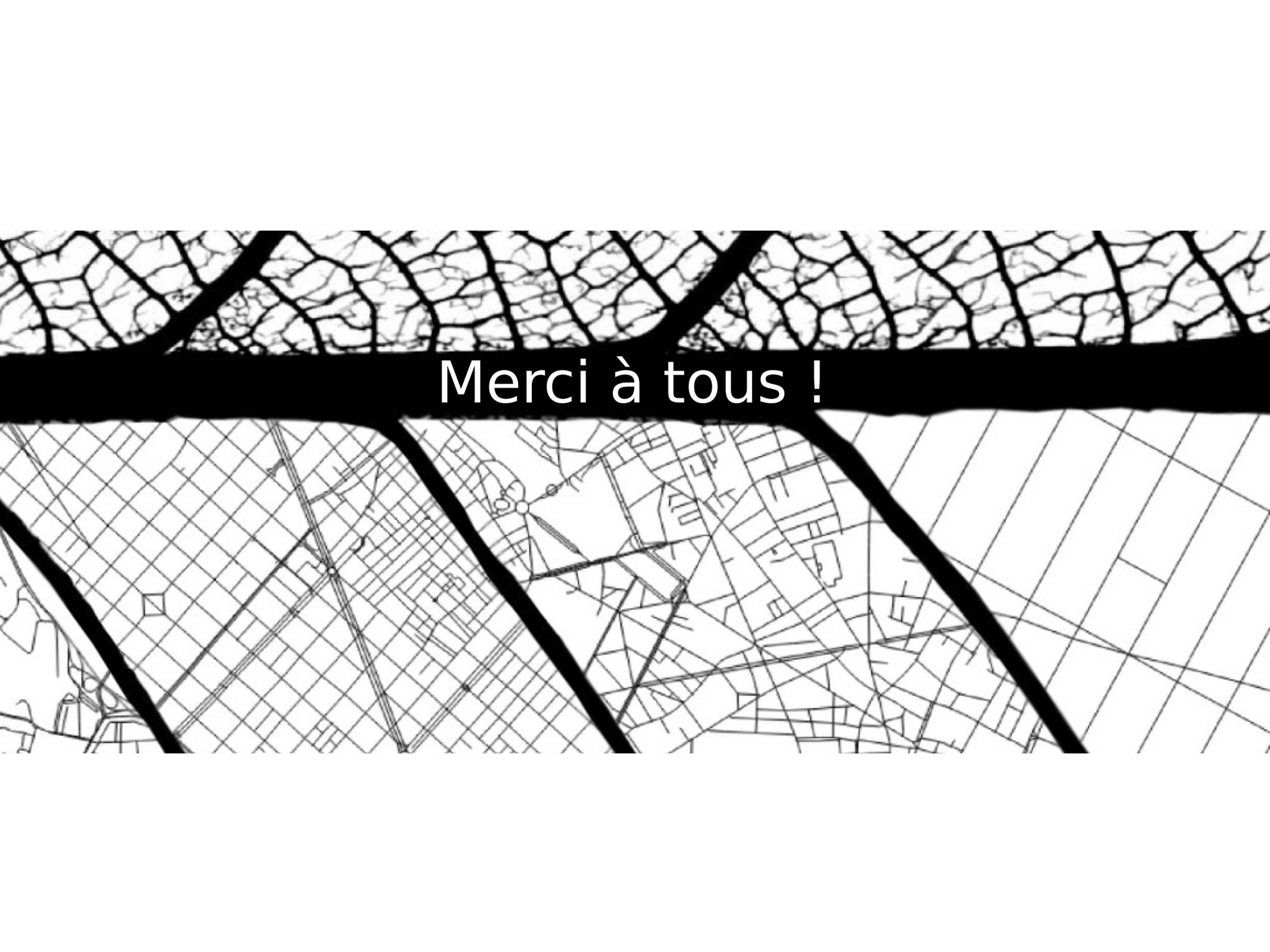


Rendre la caractérisation spatiale **accessible à tous**



Faire de la collecte de données via un **smart game**





Merci à tous !