

# Exercice de prospective à l'échelle urbaine

Matthieu Denoux

sous la direction de **Nadia Maïzi**

MINES ParisTech, PSL Research University, CMA - Centre de Mathématiques Appliquées,  
Sophia-Antipolis, France  
matthieu.denoux@mines-paristech.fr  
avec ANMA (Agence Nicolas Michelin et Associés), Paris, France

Journée EDF - Chaire MPDD - 6 novembre 2019



**ANMA**



# Plan

## 1 Le modèle

- Territoire considéré
- L'optimisation
- Les contraintes

## 2 Résultats

- Hypothèses
- Résultats

## 3 Perspectives



# Plan

## Section 1

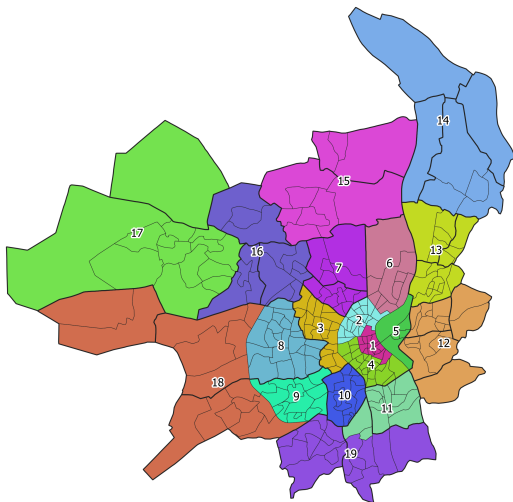
### Le modèle

- 1 Le modèle
  - Territoire considéré
  - L'optimisation
  - Les contraintes
- 2 Résultats
  - Hypothèses
  - Résultats
- 3 Perspectives



# La métropole de Bordeaux

Figure : Les 27 communes de la métropole séparées en 19 zones selon l'étude mobilité déplacements de 2008.



# Le « RES »

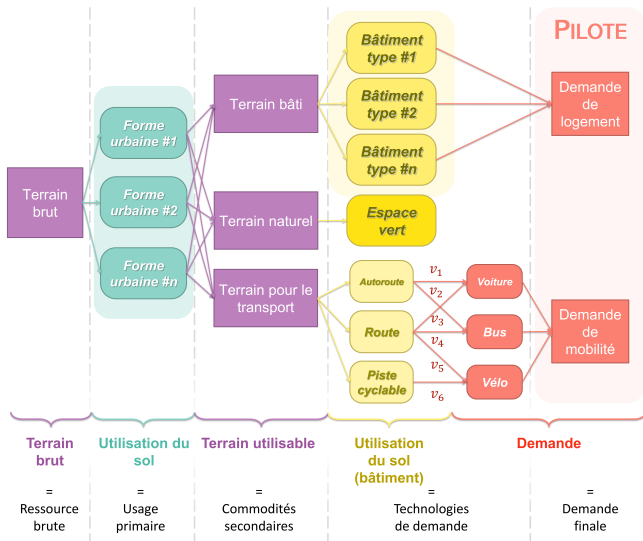


Figure : L'équivalent du RES pour le modèle.



# Fonction objectif

$$\min_{\delta \in \Delta} \sum_{a \in A} \delta_a c_a + \sum_{b \in B} \delta_b c_b + \sum_{m \in M} \delta_m c_m \quad (1)$$

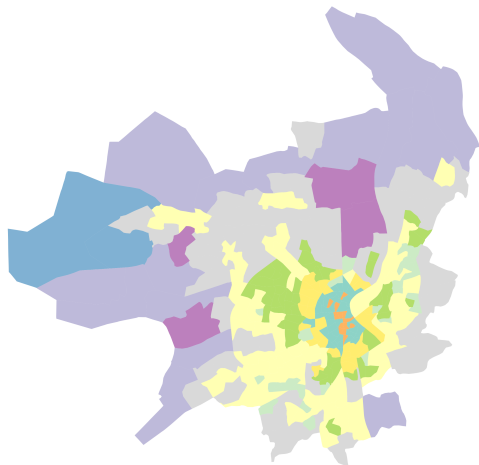
Où :

- $A$  est l'ensemble des **formes urbaines**,  $B$  l'ensemble des typologies de **bâtiments** et  $M$  les modes de **transport** ;
- les  $\delta_i$  sont les surfaces consacrées aux différents usages (ie. **variables de décision**) ;
- les  $c_i$  sont les coûts de ces surfaces.



Chaque *archétype / forme urbaine* est caractérisé par une **utilisation du sol**  
On a :

$$\forall a \in A, r_a^{\text{naturel}} + r_a^{\text{route}} + r_a^{\text{bati}} \leq 1 \quad (2)$$



*Figure* : L'ensemble des quartiers de la métropole classés dans un des dix archétypes d'utilisation des sols



# Demande finale

Contraintes de demande finale, pour la population et les déplacements respectivement :

$$\sum_{b \in B} e_b^{\text{logement}} \delta_b \geq p \quad (3)$$





# Sur les surfaces

Contrainte de **sol total disponible** :

$$\sum_{a \in A} \delta_a = s^g \quad (4)$$

avec  $s^g$  l'ensemble du sol de la métropole.

Contraintes de **sol disponible par usage** (entre  $b$  bâti,  $r$  routes) :

$$\sum_{b \in B} \delta_b \leq \sum_{a \in A} \delta_a r_a^b \quad (5)$$

$$\sum_{m \in M} \delta_m \leq \sum_{a \in A} \delta_a r_a^r \quad (6)$$

où  $r_a^b$  et  $r_a^r$  définissent la répartition propre à chaque archétype.



# Plan

## Section 2

### Résultats

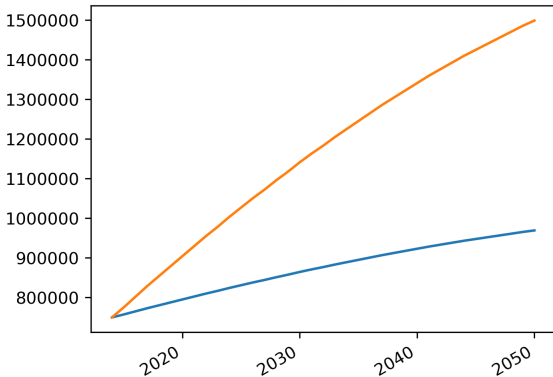
- 1 Le modèle
  - Territoire considéré
  - L'optimisation
  - Les contraintes
- 2 Résultats
  - Hypothèses
  - Résultats
- 3 Perspectives



# Les deux scénarios considérés

- 1 Démographie « **normale** » (B ou Base)
- 2 Démographie **doublant** la population en 2050 par rapport à 2014 (DoublePop)

Tendances INSEE pour le département de la Gironde



Source : INSEE



# Répartition des archétypes

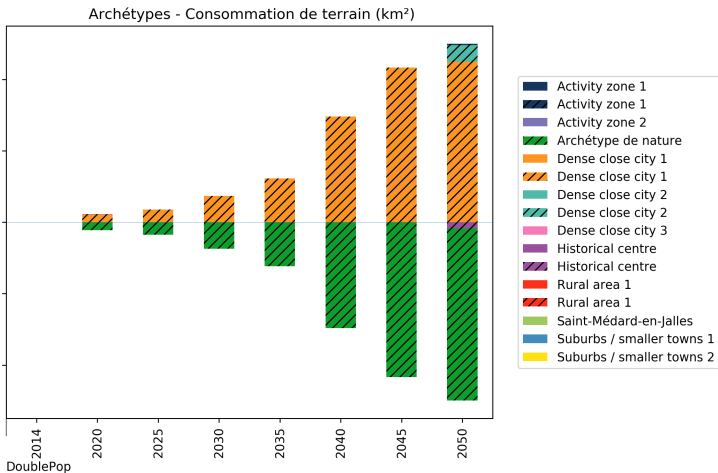
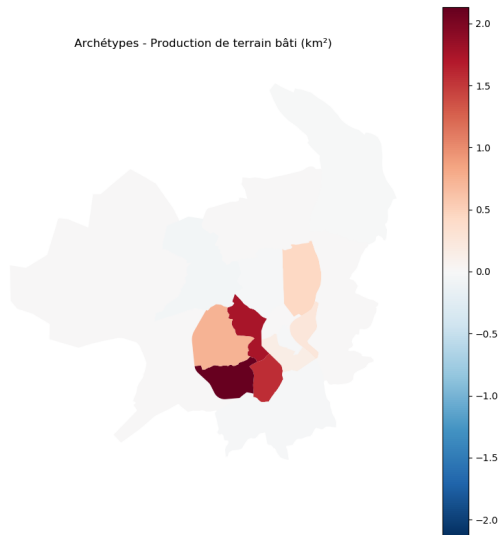


Figure : Différence d'utilisation des sols par les archétypes entre le scénario de doublement de population et celui de base



# Conséquences sur les terrains bâtis

Archétypes - Production de terrain bâti (km<sup>2</sup>)



*Figure* : Différence de construction de bâti entre le scénario de doublement de la population et celui de base



# Conséquences sur les terrains bâti

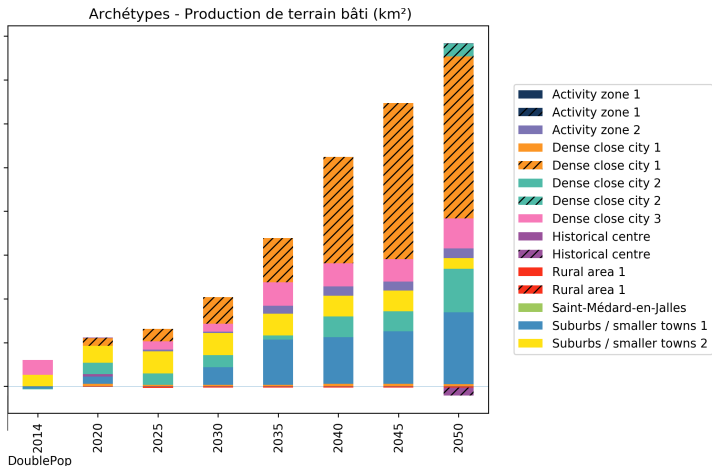


Figure : Différence de construction de bâti entre le scénario de doublement de la population et celui de base



# Localisation des nouveaux investissements

Investissements bâtiments (pop + emplois)

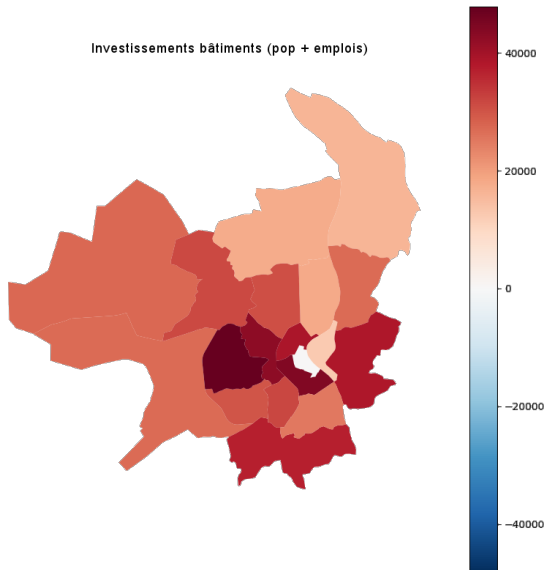


Figure : Répartition des nouveaux investissements (cumulés entre 2014 et 2050) sur la métropole



# Production des espaces verts

Espaces verts (km<sup>2</sup>)

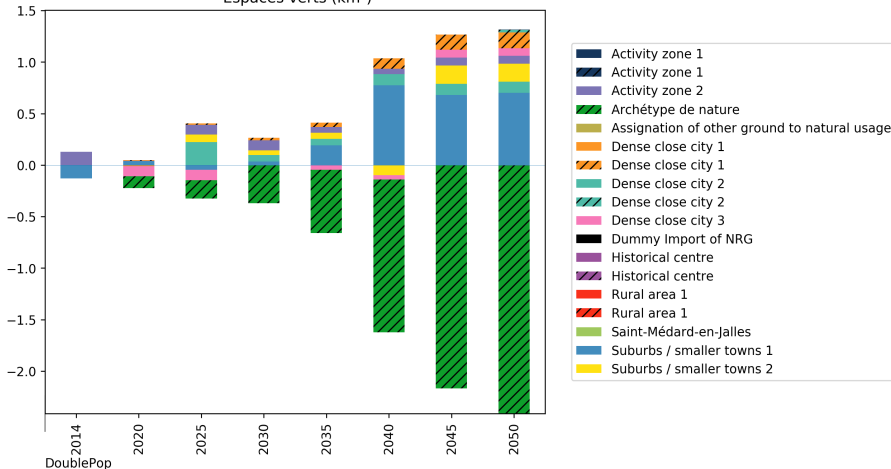


Figure : Évolution de la production d'espaces verts entre les deux scénarios





# Plan

## Section 3

### Perspectives

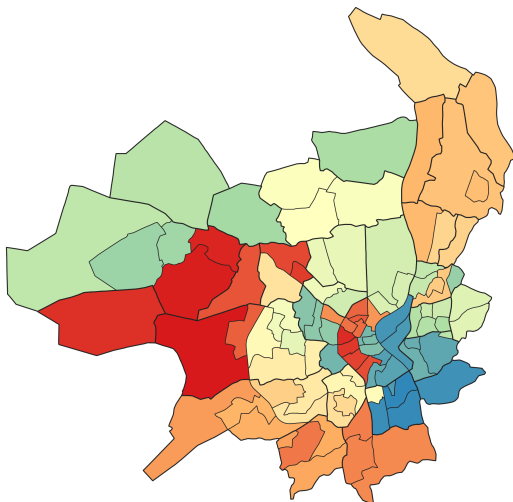
- 1 Le modèle
  - Territoire considéré
  - L'optimisation
  - Les contraintes

- 2 Résultats
  - Hypothèses
  - Résultats

- 3 Perspectives



# Perspectives



*Figure* : Exemple de découpage pour un modèle sur 100 zones

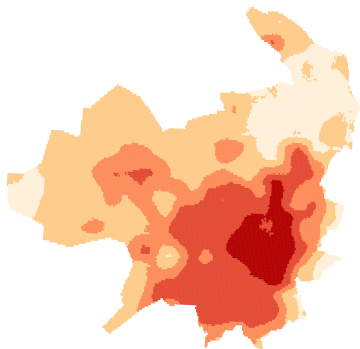


# Rendre les résultats plus compréhensibles

Calculer un **indicateur macro** :

- résumant plusieurs modifications ;
- facilement évaluable sans idéologie ;
- à une échelle assez fine.

Par exemple, l'impact sur la **température** ?



*Figure* : Une carte de la moyenne des températures pour l'année 2018



---

# Merci de votre attention !

Matthieu Denoux  
matthieu.denoux@mines-paristech.fr



# Décomposition de la demande finale

## Données pour 2014

| Échelle | Nombre d'écoles | Population | Ratio             |
|---------|-----------------|------------|-------------------|
| France  | 52 225          | 65 907 160 | 1 pour 1 262 hab. |

Source : Rapport du ministère de l'éducation nationale

| Échelle              | Nb d'emplois | Population | Ratio                    |
|----------------------|--------------|------------|--------------------------|
| Métropole bordelaise | 325 499      | 760 933    | 42.78 emp. pour 100 hab. |

Source : INSEE



# Répartition de la population

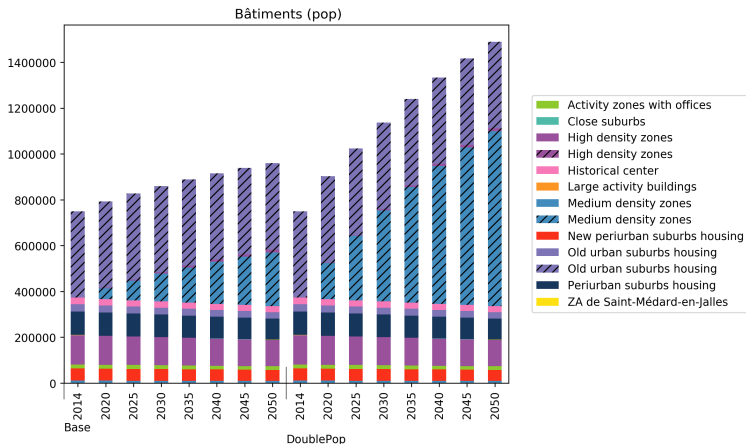


Figure : Répartition de la population entre les différents archétypes dans chacun des deux scénarios

