

STRATÉGIES DE L'ÉNERGIE ET DE L'ENVIRONNEMENT À HORIZON 2050 À L'ÉCHELLE DE LA VILLE : UNE APPLICATION À LA VILLE DE BOLOGNE

Edi Assoumou
Jean-Paul Marmorat
Valérie Roy

Centre de Mathématiques
Appliquées Mines ParisTech

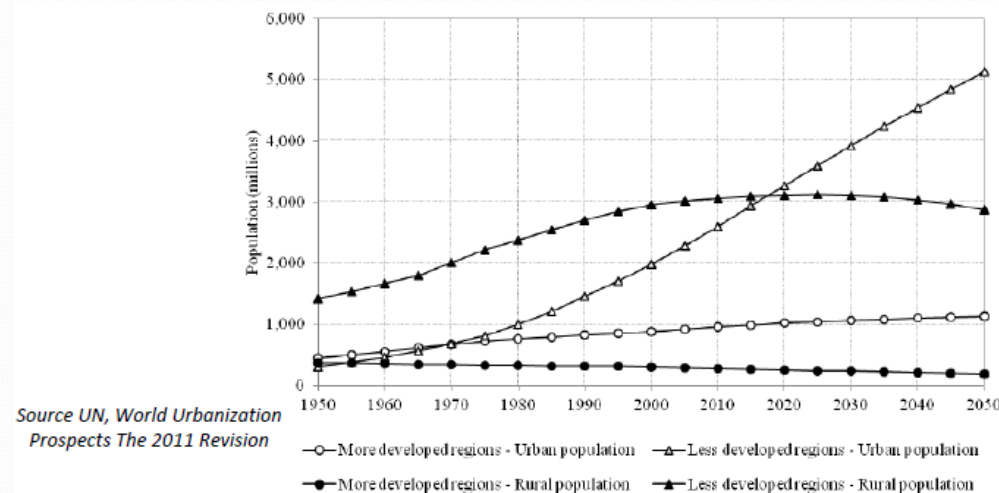
AGENDA

- **Contexte**
- Méthodologie
- Quelques résultats
- Conclusion

LE BESOIN DE STRATÉGIES ÉNERGIE/CLIMAT À L'ÉCHELLE URBAINE

❑ Espaces urbains: des acteurs clés

❑ Accélération du rythme d'urbanisation



UNFPA:

“Le monde connaît actuellement la plus grande vague de croissance urbaine dans l'histoire”

❑ Changement climatique

- UNFCCC, Rio, Agenda 21, et en Europe: le paquet climat EU, la roadmap 2050 de l'UE, la Convention des Maires ...

❑ {1/2 population; 2/3 énergie} = ... moteurs de l'analyse des systèmes énergétiques urbains

LE CAS D'ÉTUDE DE LA VILLE DE BOLOGNE

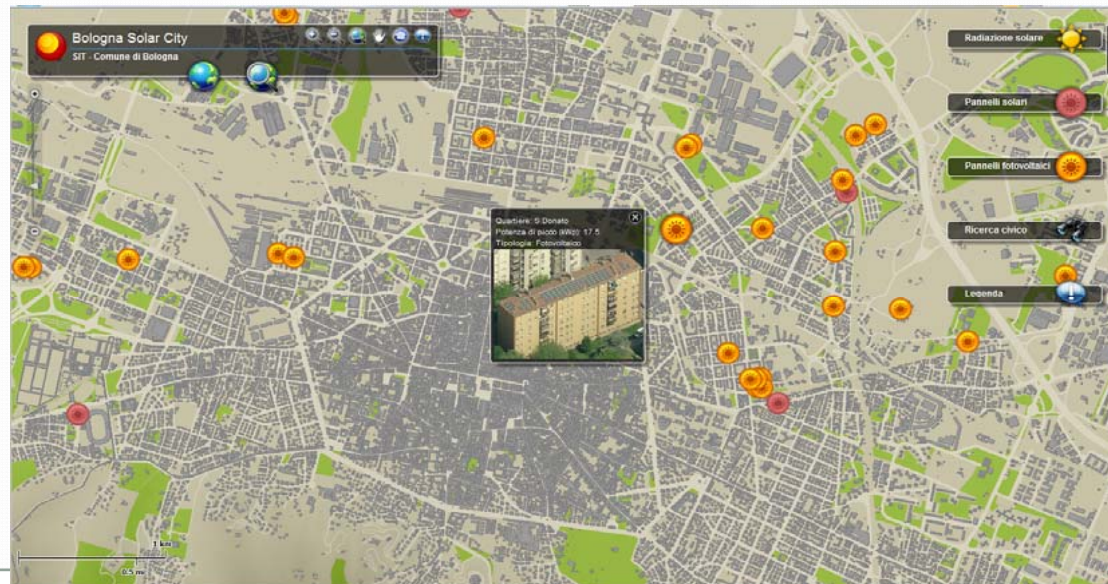
□ La ville de Bologne

□ Chiffres clés

- 380.000 habitants
- 20.85 MWh/habitant et 5.9 t CO2/habitant
- 3.1% de production d'électricité renouvelable

□ Développement du PV: 61kW (2007) à 7MW aujourd'hui

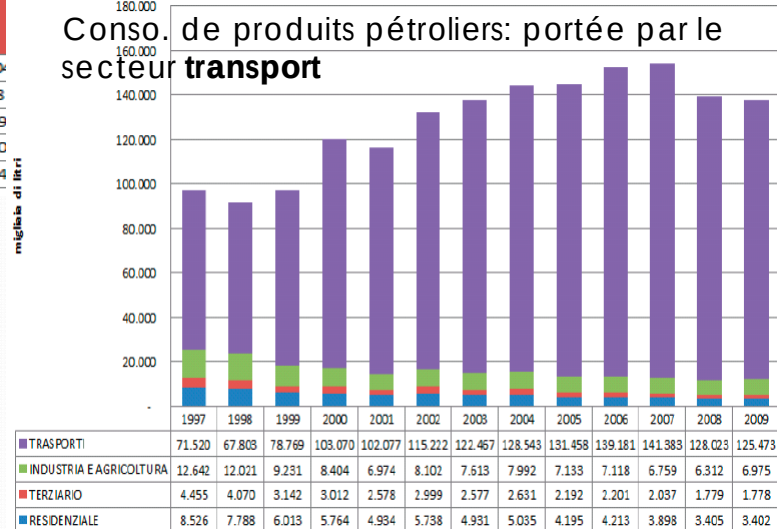
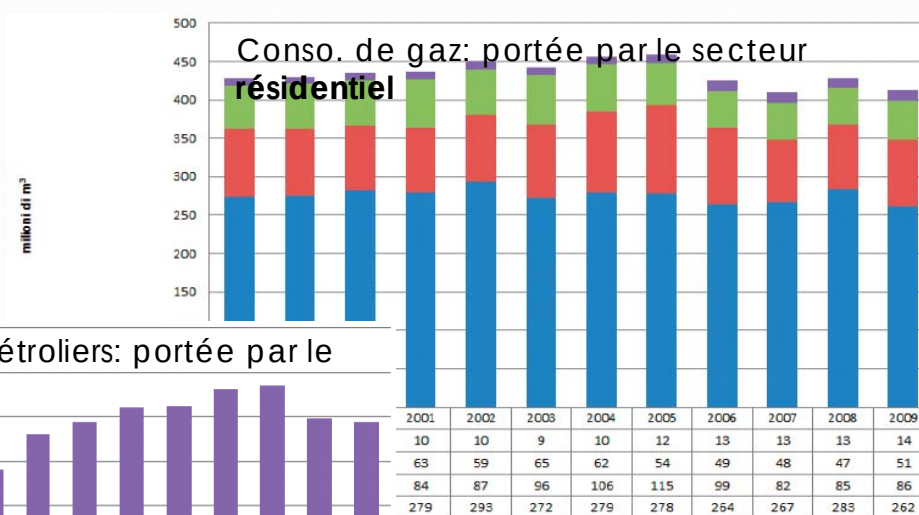
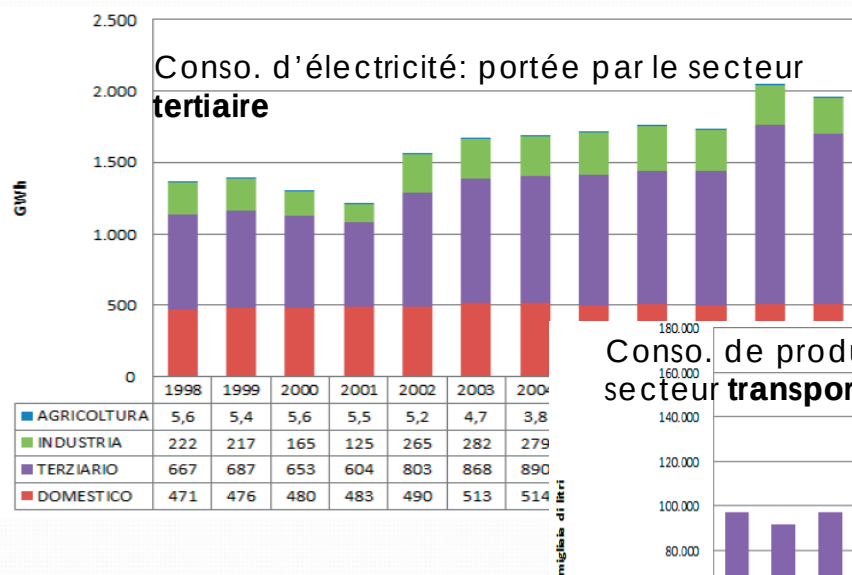
Source: Bologna solar



LE CAS D'ÉTUDE DE LA VILLE DE BOLOGNE

Structure des consommations d'énergie

Une approche globale est nécessaire



LE CAS D'ÉTUDE DE LA VILLE DE BOLOGNE

□ Un plan d'action adopté dans le cadre de la Convention des Maires

□ Initiatives pour l'énergie

- Charte d'Aalborg 1996, Plan Energétique Communal 2007, Convention des Maires (adhésion en 2008)
- PAED de 2011: 80 mesures pour un objectif de 20% d'émissions de CO2 évitées par rapport à 2005 (en 2020)

Secteurs	Objectif de réduction (Kt CO2/an)	Pourcentage de l'effort total
Bâtiments résidentiels	126.671	26.93%
Tertiaire et industrie hors ETS	127.724	27.15%
Production locale d'énergie	11.592	2.46%
Transport et mobilité	96.610	20.54%
Consommation municipale	18.402	3.91%
Mesures déjà initiées	89.365	19.00%
Total	470.365	100.00%

LE CAS D'ÉTUDE DE LA VILLE DE BOLOGNE

❑ Au delà du 3x20 en 2020

❑ Comment transcrire à l'échelle urbaine les ambitions de la roadmap 2050 de l'UE?

GHG reductions compared to 1990 in %	2005	2030	2050
Total	-7%	-40 to -44%	-79 to -82%
Sectors			
Power (CO2)	-7%	-54 to -68%	-93 to -99%
Industry (CO2)	-20%	-34 to -40%	-83 to -87%
Transport (incl. aviation, excl. maritime) ¹²¹ (CO2)	+30%	+20 to -9%	-54 to -67%
<i>Transport (excl. aviation, excl. maritime)</i>	+25%	+8 to -17%	-61 to -74%
Residential and services (CO2)	-12%	-37 to -53%	-88 to -91%
Agriculture (Non CO2)	-20%	-36 to -37%	-42 to -49%
Other Non CO2 emissions	-30%	-71.5 to -72.5%	-70 to -78%

Source: EU report SEC(2011) 288 final

❑ Une analyse à l'horizon 2050 pour Bologne menée dans le cadre du projet CitInES (FP7)

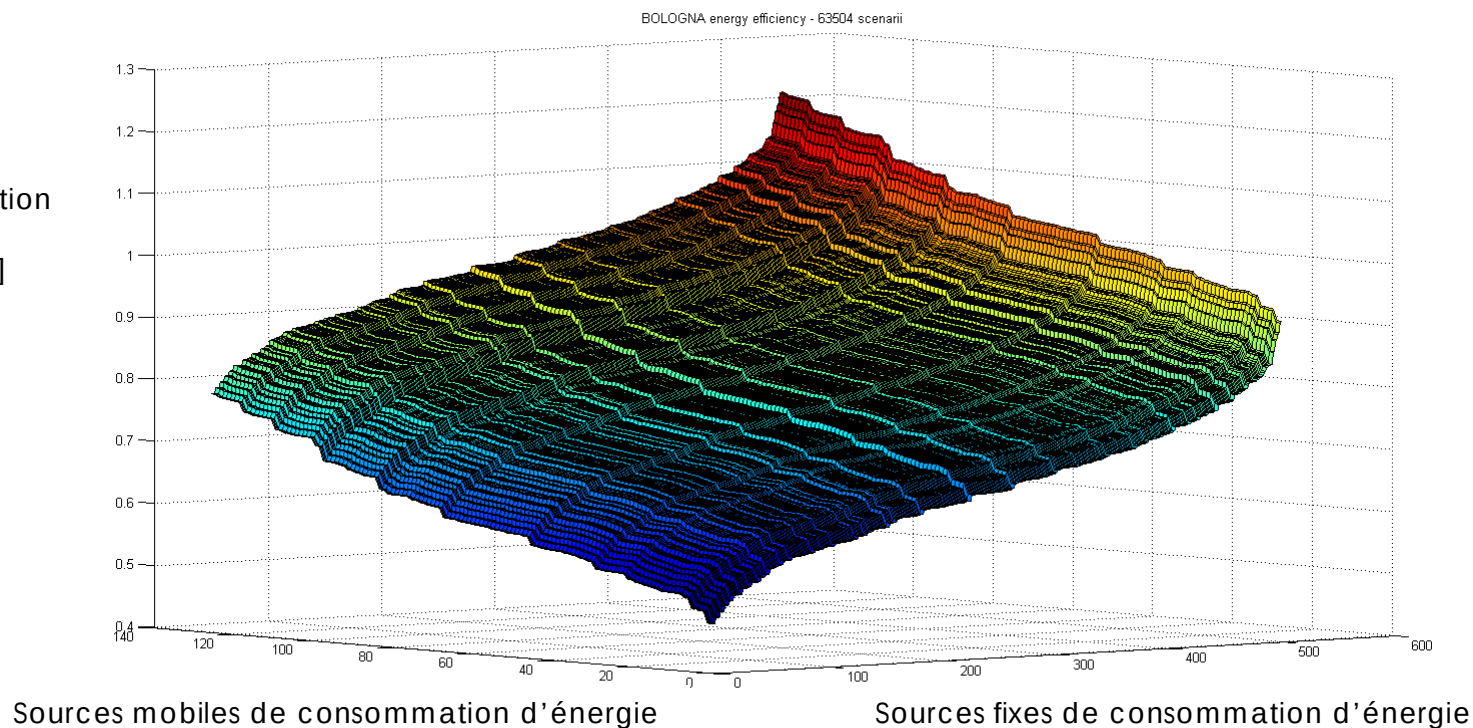


LE CAS D'ÉTUDE DE LA VILLE DE BOLOGNE

▣ Principe de l'approche long-terme

▣ Modèle de simulation numérique pour éclairer les arbitrages entre mesures

Consommation
d'énergie:
[-52%, +22%]



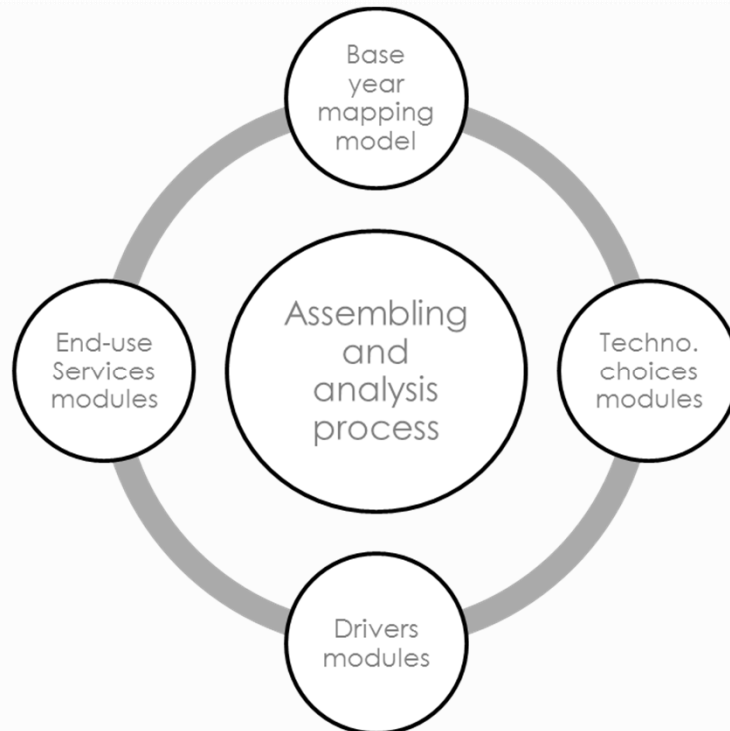
AGENDA

- Contexte
- **Méthodologie**
- Quelques résultats
- Conclusion

MÉTHODOLOGIE

❑ **Intégration de modules de simulation long-terme**

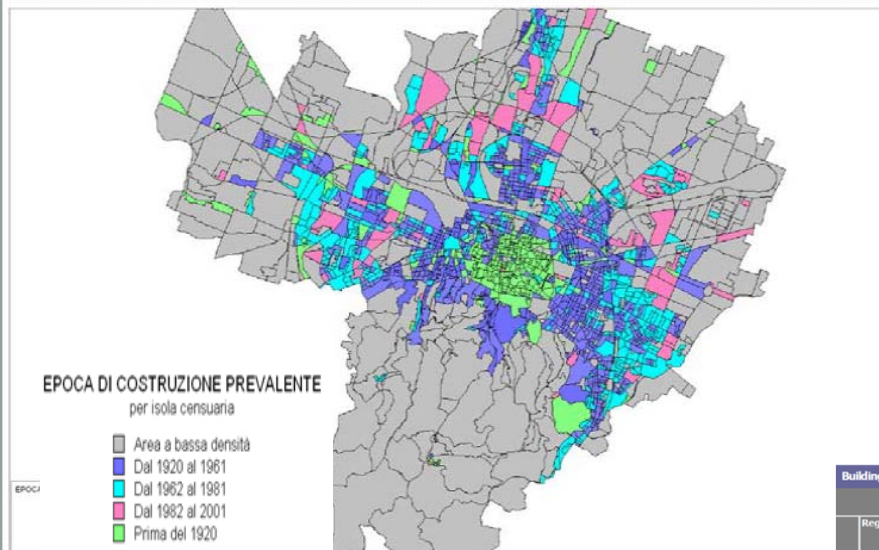
- Accent mis sur l'estimation de la demande
- Offre exogène par des scénarios
- Exploration



MÉTHODOLOGIE

□ Cartographie des consommations d'énergie

- Pour 5 vecteurs, 3 secteurs, 18 zones géographiques et 5 usages finaux



Source: Energy ATLAS of Bologna 2007

Données SIG+ typologie des bâtiments

Local GIS data: number of buildings per construction period

Local statistics: households per district

m² distribution & heating Energy Service Demand

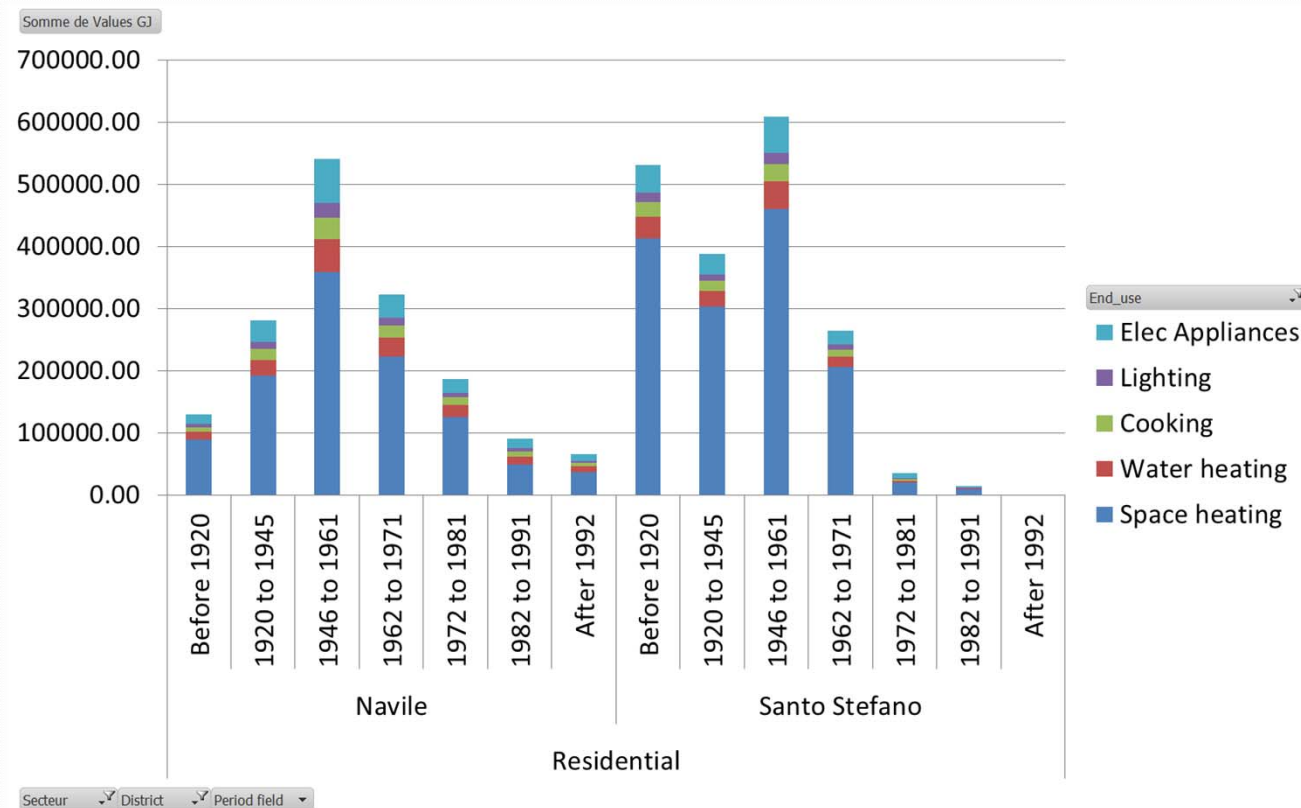
Building Type Matrix				Italy			
Region	Construction Year Class	Additional Classification		SFH Single-Family House	TH Terraced House	MFH Multi-Family House	AB Apartment Block
1	Middle Climatic Zone (Zona climatica media - ZONA E)	... 1900	generic				
				IT_PNA3Clim_SFH01.Gem	IT_PNA3Clim_TH01.Gem	IT_PNA3Clim_MFH01.Gem	IT_PNA3Clim_AB01.Gem
2	Middle Climatic Zone (Zona climatica media - ZONA E)	1901 ... 1920	generic				
				IT_PNA3Clim_SFH02.Gem	IT_PNA3Clim_TH02.Gem	IT_PNA3Clim_MFH02.Gem	IT_PNA3Clim_AB02.Gem

Complementary
TABULA building
matrix

MÉTHODOLOGIE

❑ Cartographie des consommations d'énergie

- 5 vecteurs, 3 secteurs, 18 zones géographiques et 5 usages

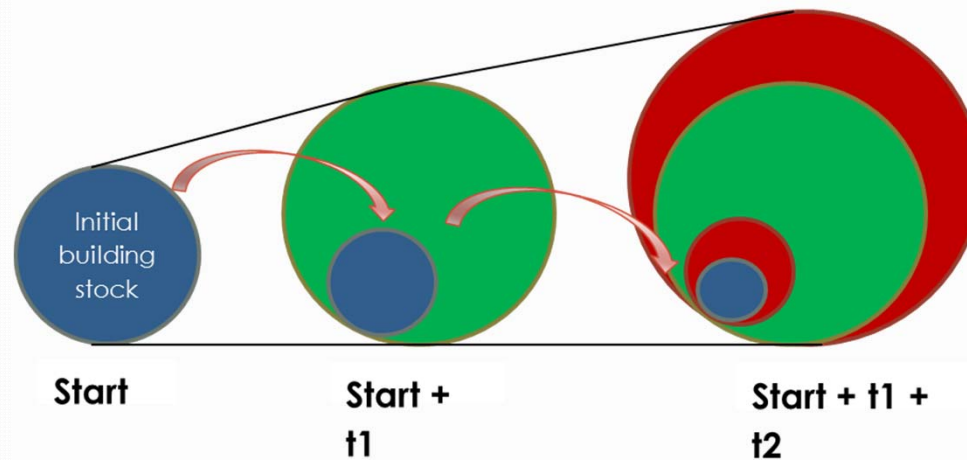


MÉTHODOLOGIE

□ Estimation des besoins futurs

- Exemple: module bâtiment
 - époque de construction, demande de logement, rythme de démolition

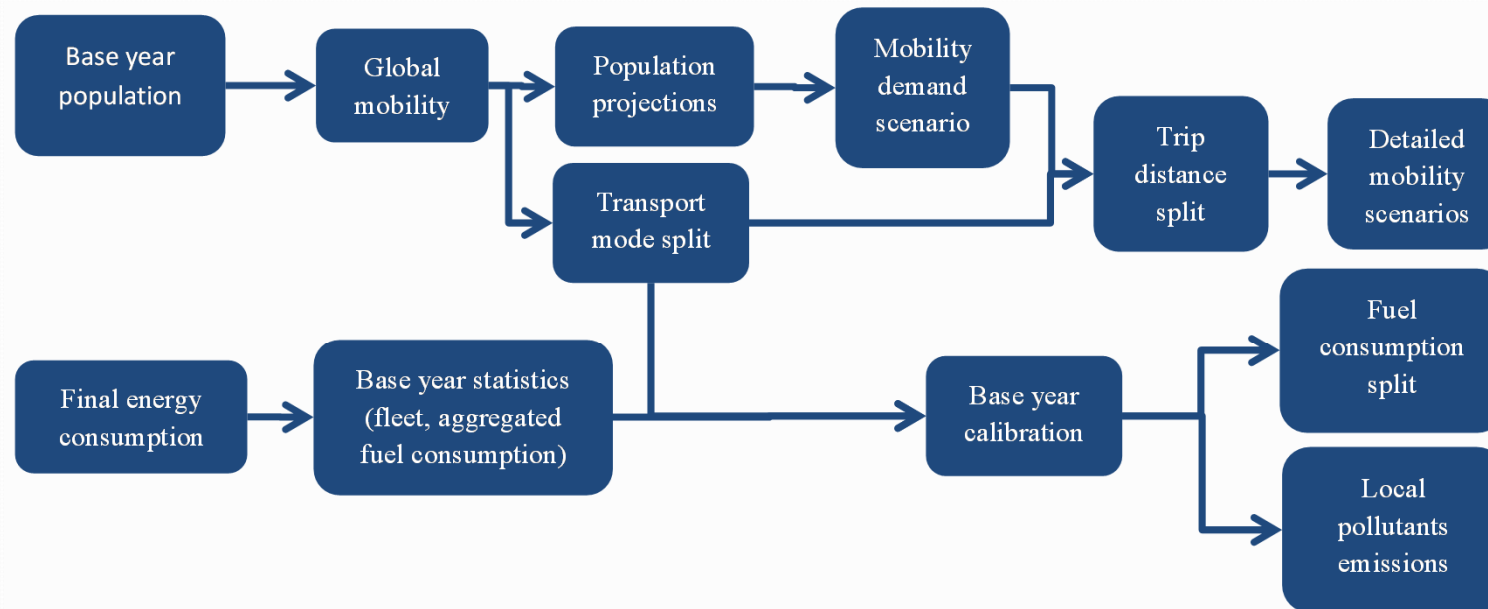
$$Stock_{available} = Stock_{ini} * (1 - r)^n$$



MÉTHODOLOGIE

❑ Estimation des besoins futurs

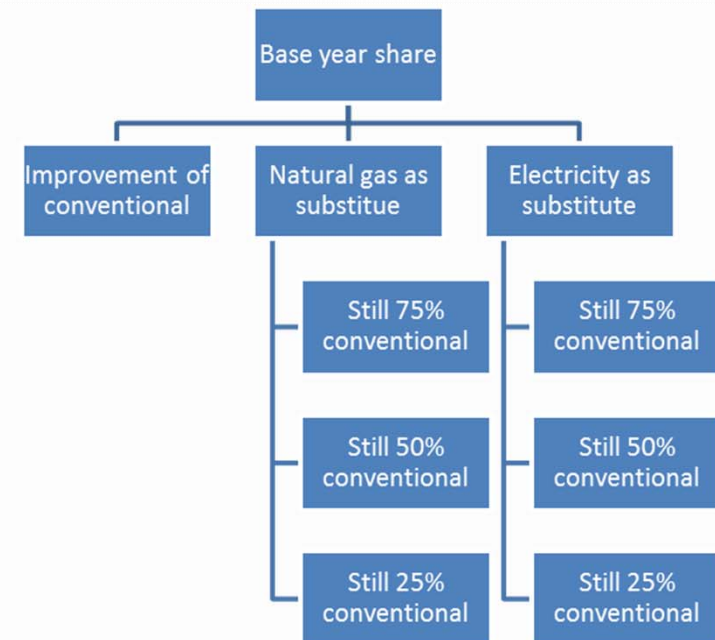
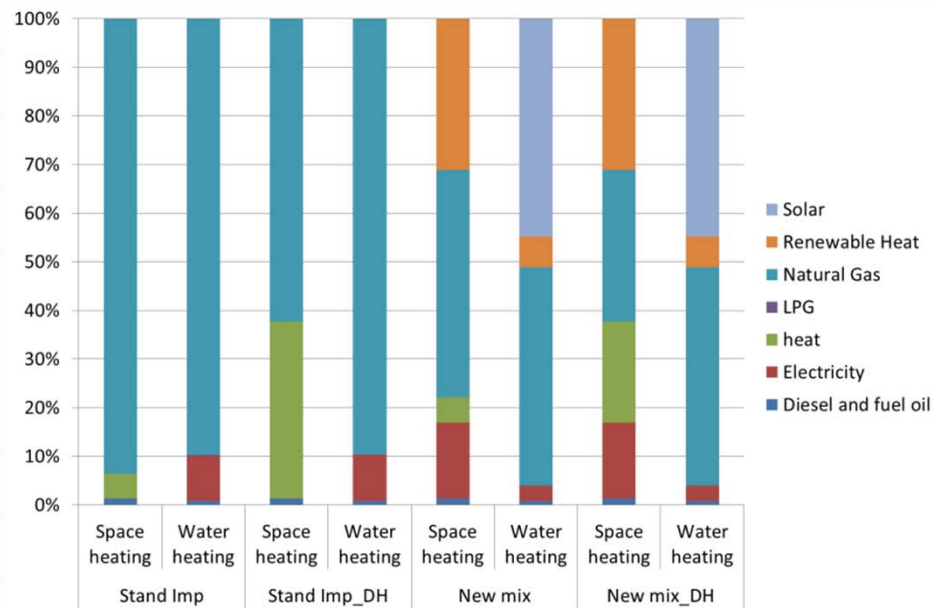
- Exemple: module mobilité



MÉTHODOLOGIE

❑ Prise en compte des options (offre) technologiques

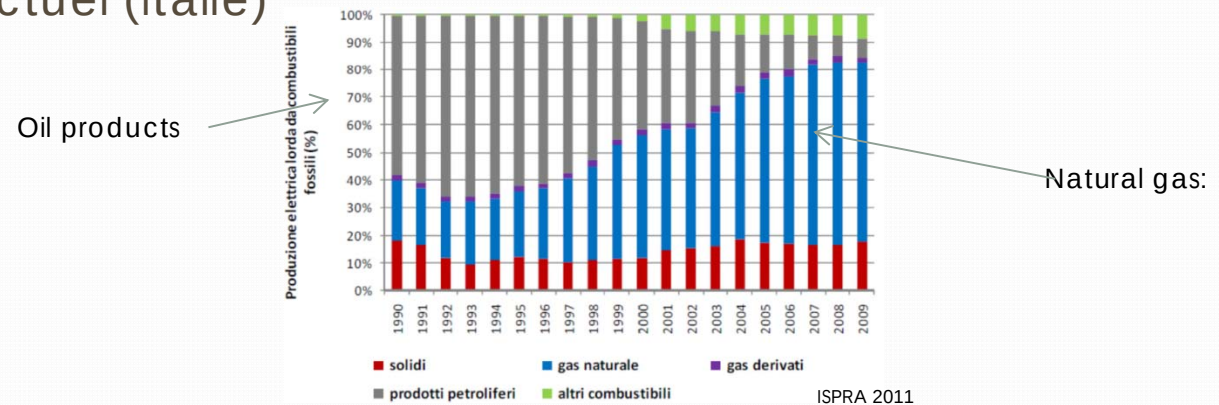
- Scénarios technologiques pour chaque secteur



MÉTHODOLOGIE

❑ Caractérisation de l'offre en ressources énergétiques

- Mix électrique actuel (Italie)



- A l'horizon 2050 les objectifs de la roadmap 2050 pour l'offre
 - production d'électricité (CO₂): 2030 [-34%;-40%], 2050 [-93%,-99%]
- Description par scénarios des caractéristiques 2050 de l'offre pour Bologne
 - Electricité (contenu CO₂) et Gaz naturel (injection de biogaz)
 - 5 scénarios: Standard CO₂, Improved 20%, Improved 50%, Improved 95%, Improved plus

AGENDA

- Contexte
- Méthodologie
- **Quelques résultats**
- Conclusion

STRATÉGIES LONG-TERME POUR BOLOGNE

❑ Combinatoire: un large espace de possibilités

		Population	GDP effect	Service drivers	Tech_scen	CO2 content_scen
Fixed sources	Industry	3	2	1	1	5
	Buildings			7	12	
Mobile sources				3	7	

❑ Incertitudes sur la population à l'horizon 2050

- 3 projections à plus ou moins 81000 habitants en 2050 vs 13789 en 2020

❑ Bâtiment

- Plusieurs options : démolition + performance des nouveaux bâtiments + isolation (niveaux)

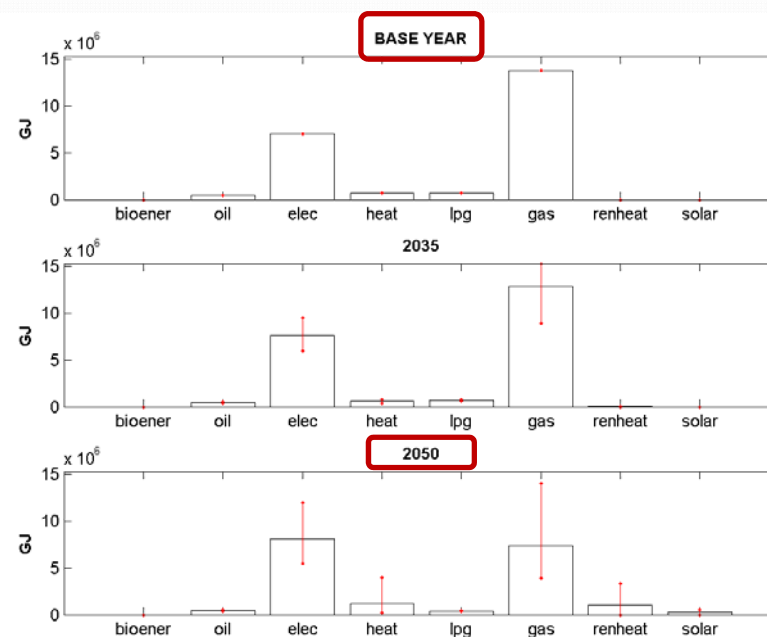
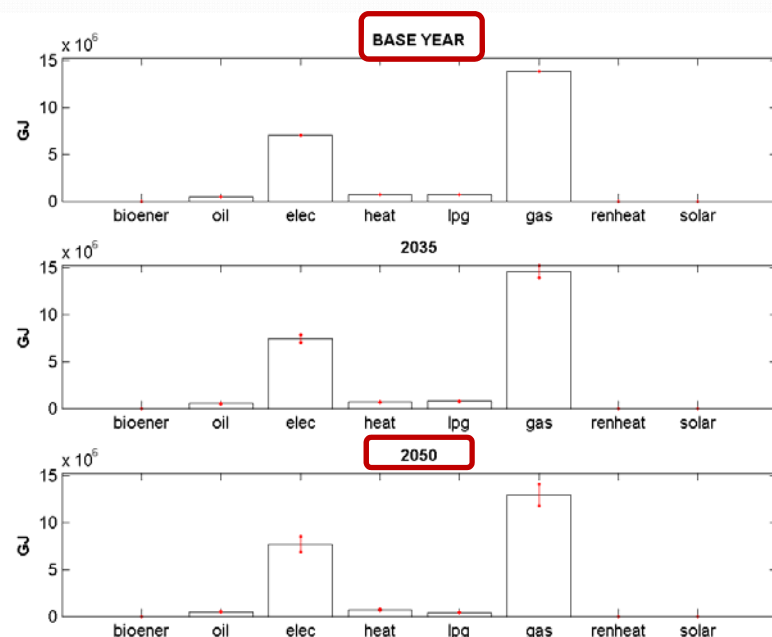
❑ Mobilité

- 3 organisations alternatives:
 - BAU,
 - 150% transport public et 150% modes doux

STRATÉGIES LONG-TERME POUR BOLOGNE

Exemple de résultats (sources fixes) : Référence vs alternatives 2050

- Effet des usages spécifiques de l'électricité (approx. +/- 8%)



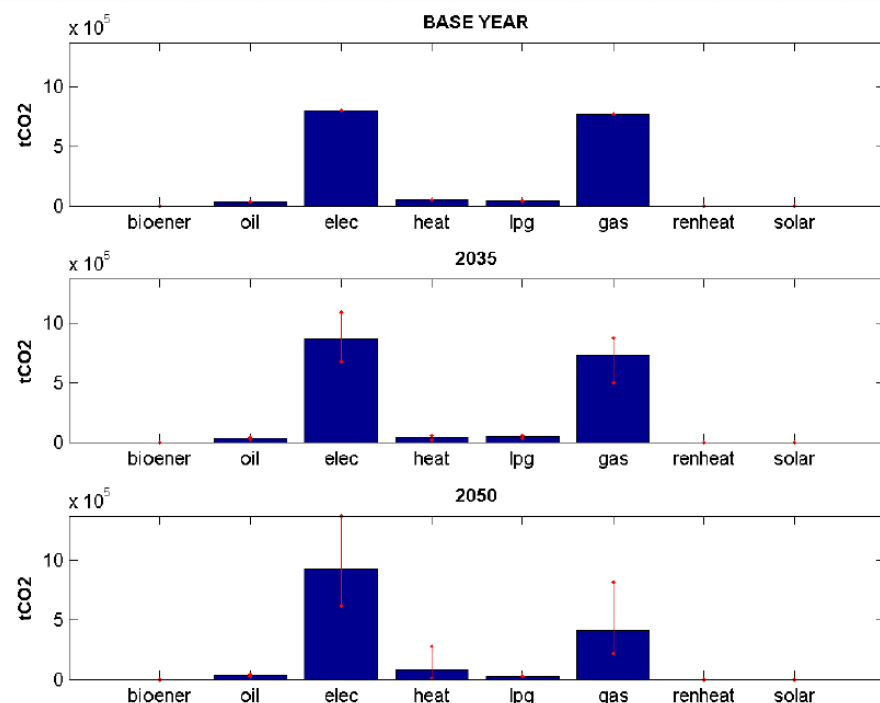
Ref: pas d'isolation + stabilisation des consos./pers d'électricité spécifique + chaudières à condensation
-2.7% de baisse

Ensemble des options: 61% à 39% de part du gaz naturel, et **-17%** de baisse de consommation finale

STRATÉGIES LONG-TERME POUR BOLOGNE

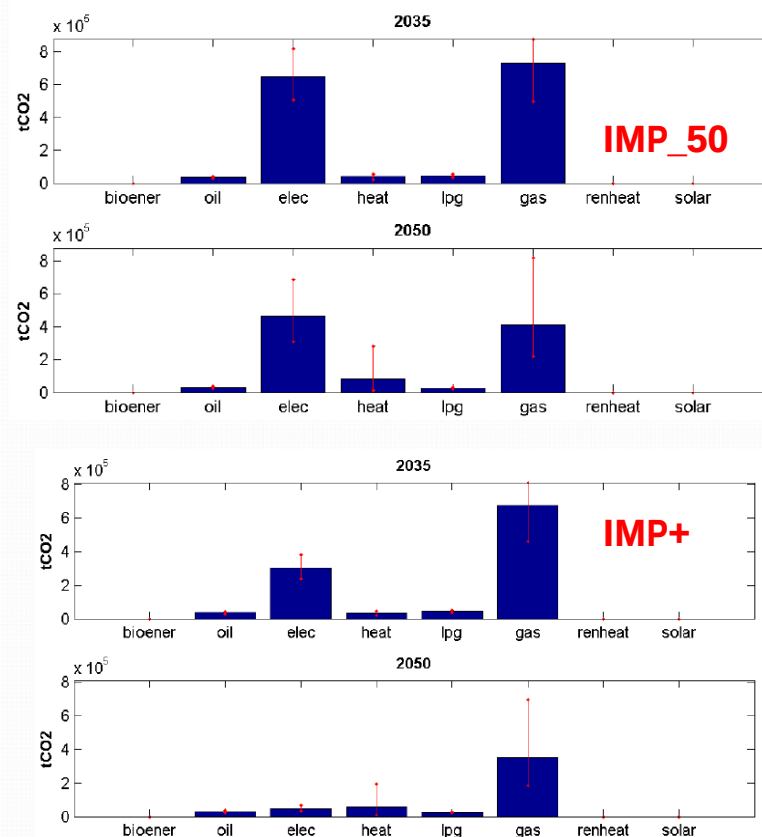
Reference vs alternatives 2050 : sources fixes

- Mix électrique: découplages des émissions de CO₂



Contenu standard co₂ : -13% (Elec 63%)

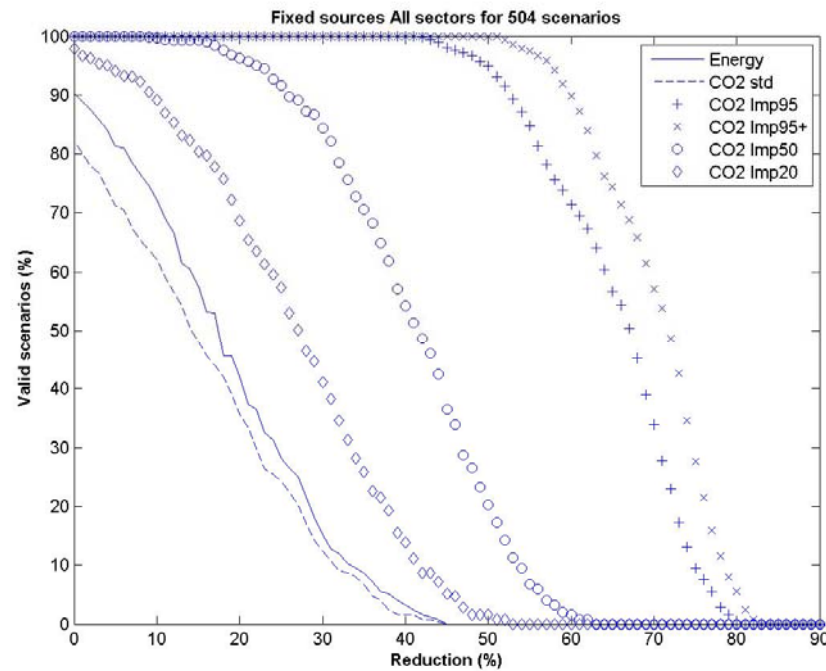
Mix **low CO₂**: jusqu'à -70%



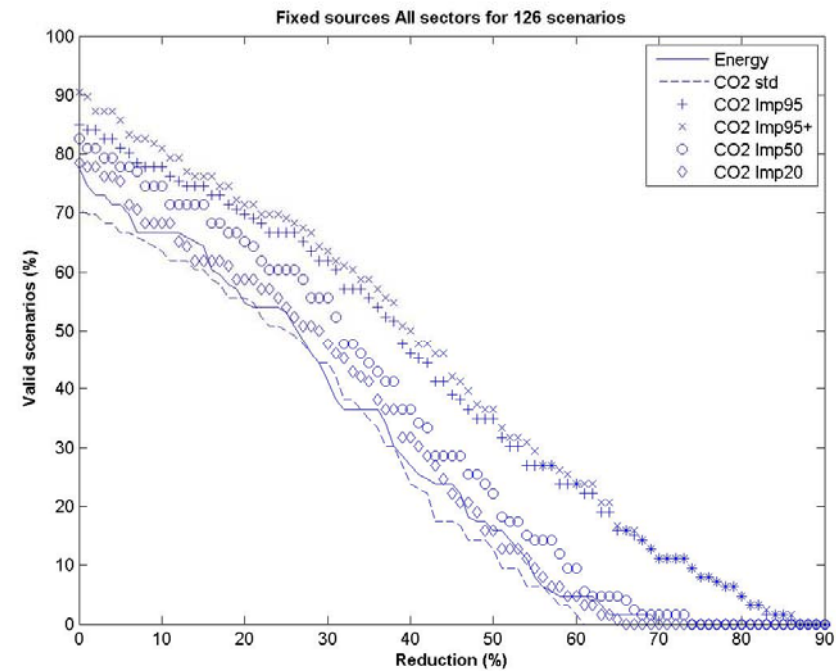
STRATÉGIES LONG-TERME POUR BOLOGNE

☐ “Screening”: niveaux de réduction

- Energie et CO2: -44% à -88%



Sources fixes



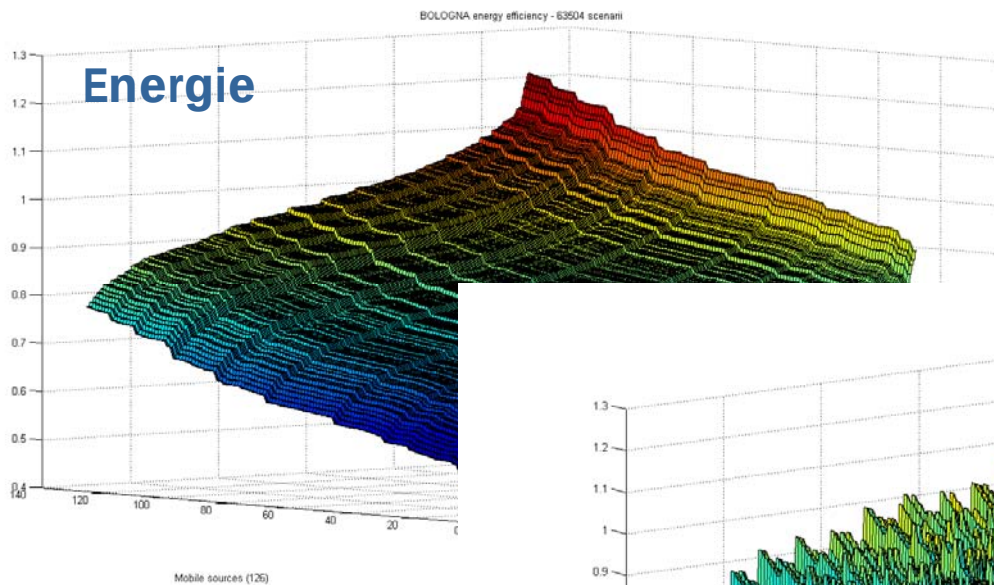
Sources Mobiles

AGENDA

- Contexte
- Méthodologie
- Quelques résultats
- **Conclusion**

CONCLUSION

❑ Combiner finesse de représentation et incertitudes



Energie finale:
[-52%, +22%]

CO₂ (par conso d'énergie décroissante) :

- up to 83%
- Partial decoupling

