

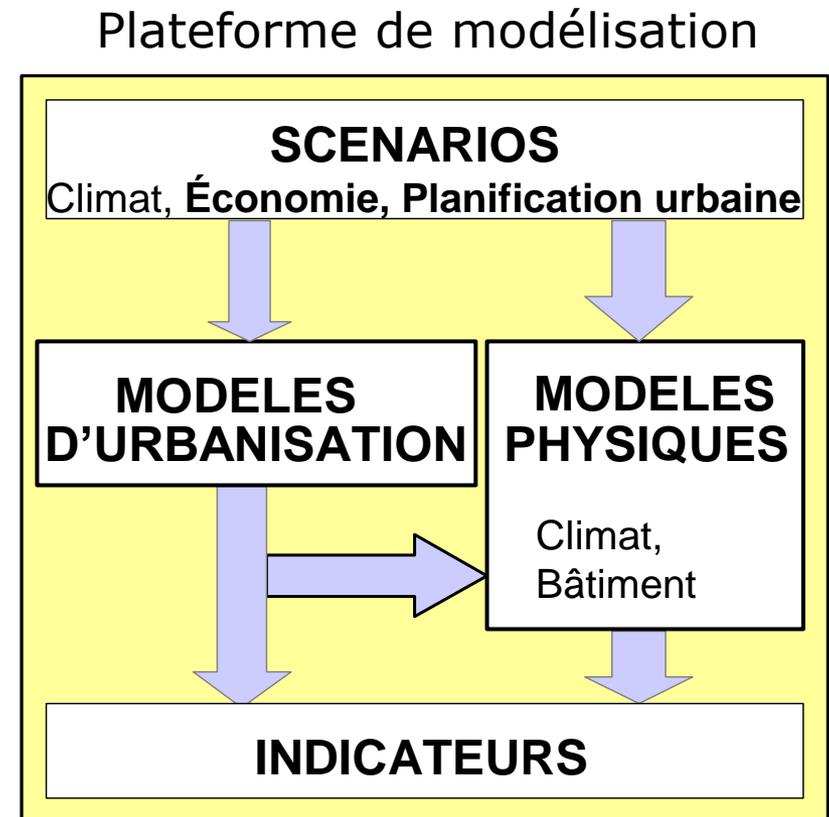
ACCLIMAT

Adaptation au Changement CLIMatique de l'Agglomération Toulousaine

**Des scénarios prospectifs
pour l'agglomération toulousaine jusqu'à 2100**

Le projet ACCLIMAT : challenges scientifiques

- **Objectif:** construire une plate-forme logicielle de modélisation de la ville pour évaluer des stratégies d'adaptation au changement climatique
- Une **approche intégrée** de la ville



Différentes approches pour des scénarios intégrés de la ville

Ville
aujourd'hui



Scenarios



Urbanistes
Architectes

“Approche
narrative”

Ville Future & Evaluation

Ville “imaginée”



MASDAR, Norman Foster

Impacts
qualitatifs

Dire d'expert

Différentes approches pour des scénarios intégrés de la ville

Ville aujourd'hui



Scenarios

“Approche modélisation numérique”



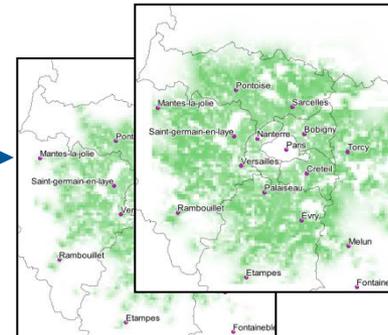
Modélisateurs Scientifiques



Urbanistes Architectes

“Approche narrative”

Ville Future & Ville simulée



Paris, CIRED

Ville “imaginée”



MASDAR, Norman Foster

Evaluation

Impacts quantitatifs

Modélisation informatique

Impacts qualitatifs

Dire d'expert

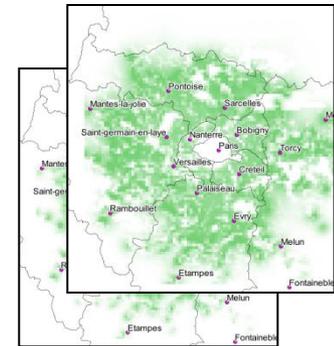
Différentes approches pour des scénarios intégrés de la ville

“Approche
modélisation
numérique”



Modélisateurs
Scientifiques

- ✓ Impacts quantitatifs
- ✓ Un grand nombre de scénarios peut être simulé
- ✗ Limité par ce que savent faire les modèles
- ✗ Approche de type “Forecasting”



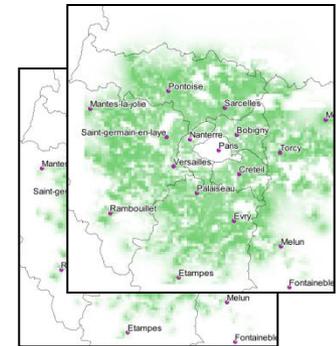
Différentes approches pour des scénarios intégrés de la ville

“Approche modélisation numérique”



Modélisateurs
Scientifiques

- ✓ Impacts quantitatifs
- ✓ Un grand nombre de scénarios peut être simulé
- ✗ Limité par ce que savent faire les modèles
- ✗ Approche de type “Forecasting”



“Approche narrative”



Urbanistes
Architectes

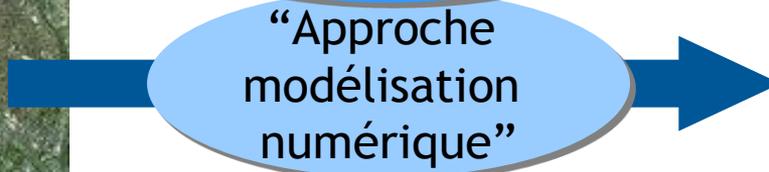
- ✗ Impacts qualitatifs
- ✗ Peu de scénarios peuvent être construits: travail lourd & expert
- ✓ Hautement imagitatif
- ✓ Approche “Backcasting”



Différentes approches pour des scénarios intégrés de la ville



Urbanistes
 Architectes



Modélisateurs
 Scientifiques



Impacts
 quantitatifs



→ Une approche combinée des scénarios
 aua/T - GEODE

Construction des scénarios 1/3

4 grands thèmes...

Tendances globales

Tendances locales

Aménagement du territoire

Technologie du bâti

Construction des scénarios 1/3

4 grands thèmes... Des variables clés...

Tendances globales

- Impact du peak oil
- Politique climatique

Tendances locales

- Démographie
- Chômage
- Revenu des ménages

Aménagement du territoire

- Planification territoriale
- Modèle urbain
- Formes urbaines

Technologie du bâti

- Réglementation
- Innovation
- Performance énergétique

Construction des scénarios 1/3

4 grands thèmes...

Des variables clés...

Des hypothèses...

Tendances globales

- Impact du peak oil
- Politique climatique

Fort

Faible

Oui

Non

Tendances locales

- Démographie
- Chômage
- Revenu des ménages

Stable



Stable



Moyen

>

<

Aménagement du territoire

- Planification territoriale
- Modèle urbain
- Formes urbaines

Gouvernance faible

Mégalopole

Étalement urbain

Forte gouvernance

Ville archipel

Densité

Technologie du bâti

- Réglementation
- Innovation
- Performance énergétique

Intégrée & rapide

Rapide

Perf. ↗ & confort

Rapide

Lente

Perf. ↗

Lente

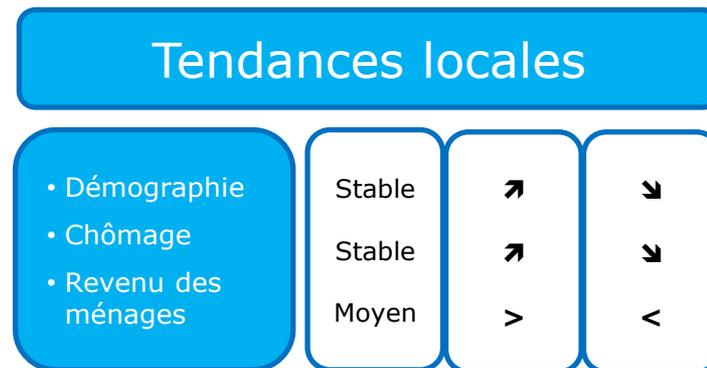
Faible

Perf. ↘

Un processus de construction participatif

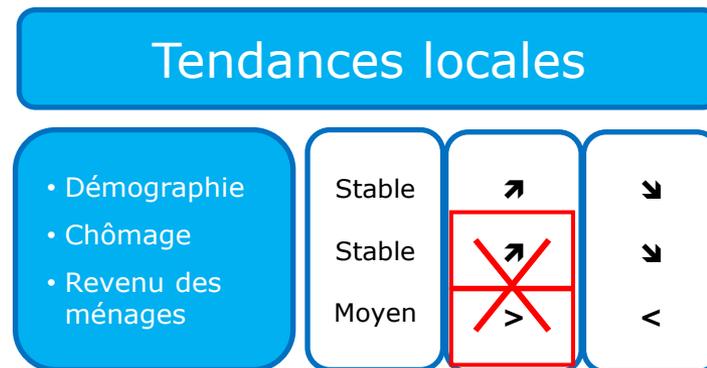
Construction des scénarios 2/3

Une combinaison des hypothèses pour construire différents scénarios



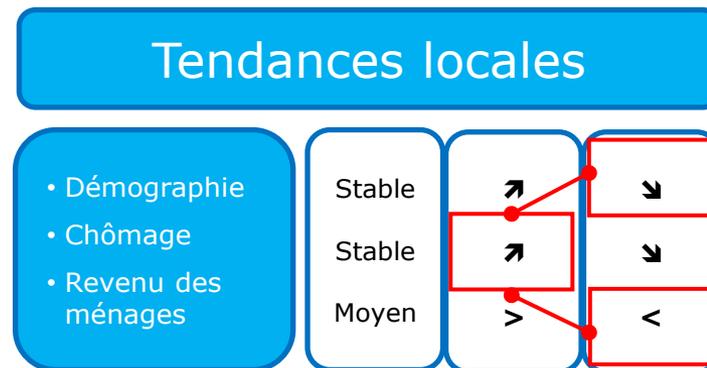
Construction des scénarios 2/3

Une combinaison des hypothèses pour construire différents scénarios



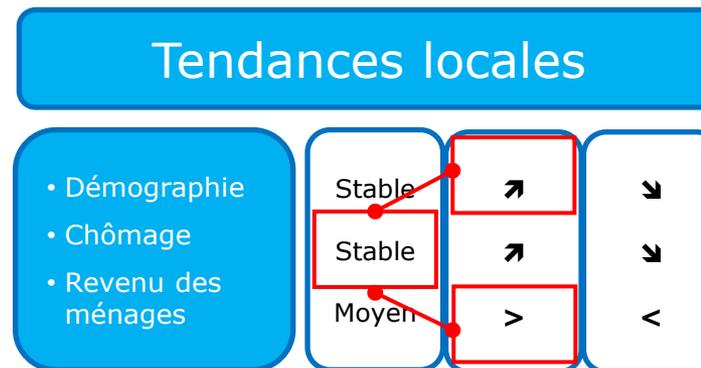
Construction des scénarios 2/3

Une combinaison des hypothèses pour construire différents scénarios



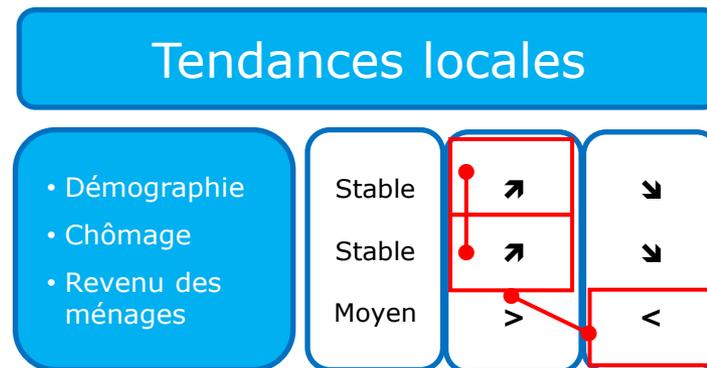
Construction des scénarios 2/3

Une combinaison des hypothèses pour construire différents scénarios



Construction des scénarios 2/3

Une combinaison des hypothèses pour construire différents scénarios



→ **Sélection de quelques scénarios locaux**

Construction des scénarios 2/3

Une combinaison des hypothèses pour construire différents scénarios ... pour chaque grand thème

Tendances globales

- 4 scénarios
« tendances globales »

Aménagement du territoire

- 4 scénarios
« aménag. du territoire »

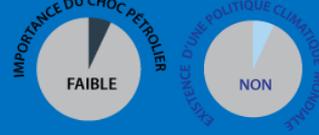
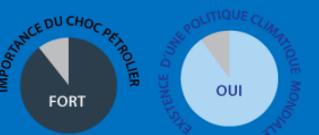
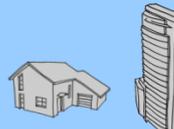
Tendances locales

- 3 scénarios
« tendances locales »

Technologie du bâti

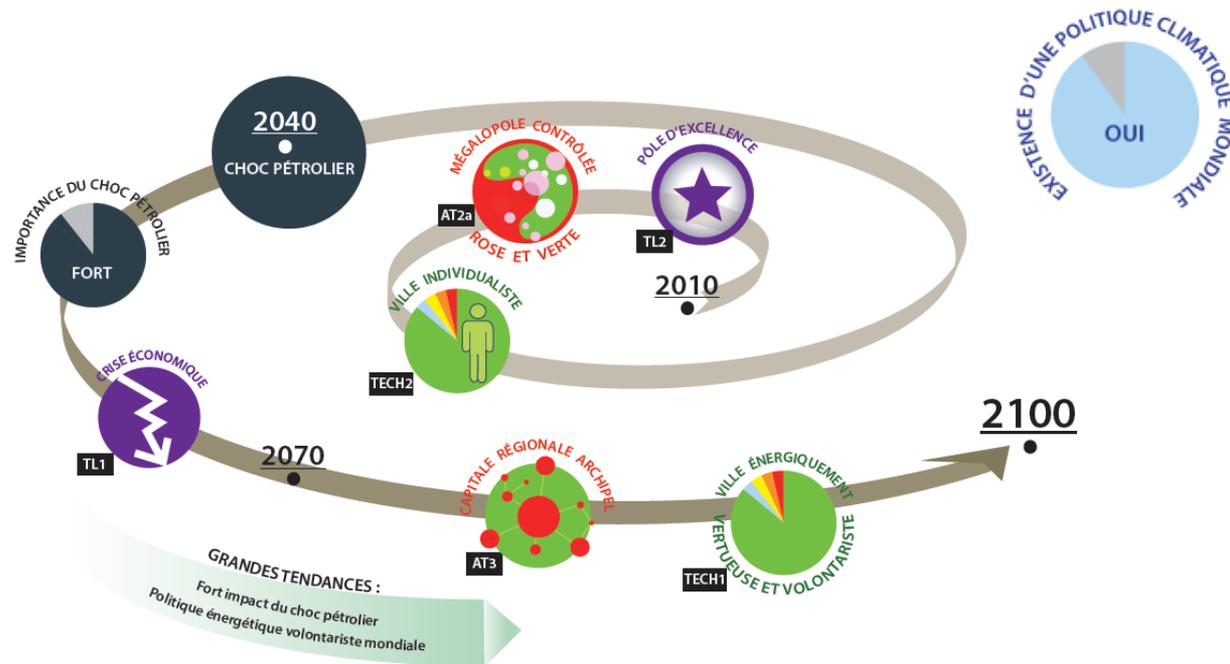
- 4 scénarios
« technologie »

Les scénarios thématiques

<p>TENDANCES GLOBALES</p>	 <p>GT 1 : impact faible du peak oil, absence de politique climatique volontariste</p>	 <p>GT 2 : impact fort du choc pétrolier, mais absence de politique climatique volontariste</p>	 <p>GT 3 : impact faible du peak oil, politique climatique volontariste</p>	 <p>GT 4 : impact fort du choc pétrolier, mais politique climatique volontariste</p>
<p>TENDANCES LOCALES</p>	 <p>TL1 Crise économique</p>	 <p>TL2 Pôle d'excellence</p>	 <p>TL3 Pôle de complémentarité</p>	
<p>AMENAGEMENT DU TERRITOIRE</p>	 <p>AT1 Mégalopole non contrôlée</p>	 <p>AT2a Mégalopole contrôlée, rose et verte</p>	 <p>AT2b Mégalopole contrôlée, économique</p>	 <p>AT3a Capitale régionale archipel éco-bioclimatique</p>
<p>MORPHOLOGIE DES QUARTIERS</p>	 <p>Végétation</p>	 <p>Typologie</p>	 <p>Hauteur</p>	
<p>ADAPTATION TECHNOLOGIQUE</p>	 <p>TECH1 Ville énergétiquement vertueuse & volontariste</p>	 <p>TECH2 Ville et Individualisme</p>	 <p>TECH3 Ville Fil de l'eau</p>	 <p>TECH5 Ville climatiquement néfaste</p>

Les scénarios systémiques

Une combinaison des scénarios thématiques...
pour une mise en « récit »



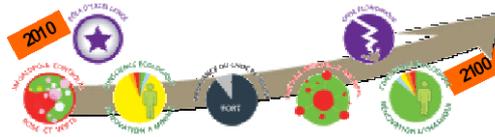
6+1 scénarios systémiques

N 1 : Réactif



- Fort choc pétrolier en 2040
- Chute démographique, crise aéronautique mais innovation énergétique.
- Expansion urbaine contrôlée, architecture compacte et végétalisation des espaces publics
- Comportements énergétiques économes et rénovation dynamique des bâtiments.

N 2 : Réfléchi



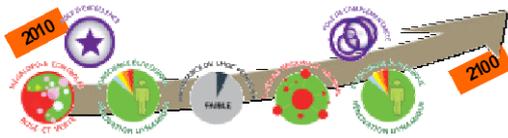
- Fort choc pétrolier en 2040
- Chute démographique, crise aéronautique mais innovation énergétique.
- Ville multipolaire, architecture compacte et végétalisation des espaces publics
- Comportements énergétiques économes et rénovation dynamique des bâtiments.

N 3 : Dynamique



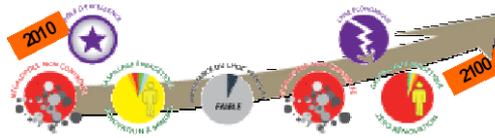
- Faible choc pétrolier en 2040
- Augmentation démographique, diversification économique
- Expansion urbaine contrôlée, grands collectifs et immeubles de grande hauteur, faible végétalisation des espaces publics
- Comportements énergétiques économes et rénovation dynamique des bâtiments.

N 4 : Vert



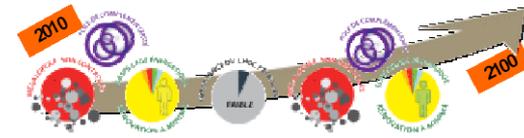
- Faible choc pétrolier en 2040
- Augmentation démographique, diversification économique
- Ville multipolaire, architecture compacte et végétalisation des espaces publics
- Comportements énergétiques économes et rénovation dynamique des bâtiments.

N 5 : Néfaste



- Faible choc pétrolier en 2040
- Chute démographique, crise économique et tensions
- Etalement urbain, mitage, maisons individuelles, faible végétalisation des espaces publics
- Comportements énergivores, pas d'innovation et arrêt des rénovations

N 6 : Passif



- Faible choc pétrolier en 2040
- Augmentation démographique, diversification économique
- Etalement urbain, mitage, maisons individuelles, faible végétalisation des espaces publics
- Comportements énergétiques économes, mais peu d'innovation et faible taux de rénovation

N 7 : Fil de l'eau



- Comportements énergivores

Des scénarios aux variables...

Scénarios Tendances globales

> IMACLIM-R, CIRED

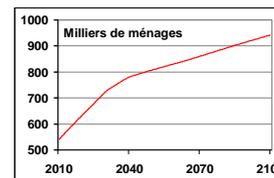
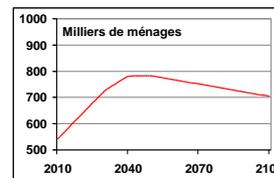
Impact du peak oil	Politique climatique
 <p>Fort</p>	 <p>Oui</p>
 <p>Faible</p>	 <p>Non</p>

Des scénarios aux variables...

Scénarios Tendances locales



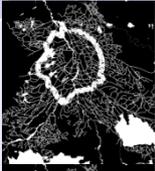
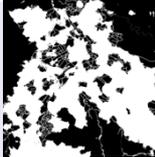
	Démographie (nb)	Revenus_ménages
TL1 Crise économique	Cas inférieur de population	Cas inférieur des revenus
TL2 Pôle d'excellence	Cas médian de population	Cas supérieur des revenus
TL3 Pôle de complémentarité	Cas supérieur de population	Cas supérieur des revenus



Des scénarios aux variables...



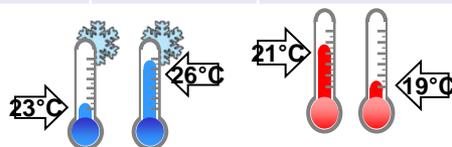
Scénarios Aménagement du territoire

	Forme urbaine attendue	Cartes contraintes	Forme_croissance_urbaine %_continuité / %_routes /%_nouveau_centre / %_diffus	Facteur_jardin	Forme_bâti_souhaitée Typologie_architecturale Forme_architecturale Végétalisation_espaces_libres
 <p>AT1 Mégapole non contrôlée</p>	Ville étalée et dispersée		Extension en continuité de l'existant avec peu de contrôle Mitage encore important Création de nouveaux centres % : 83 / 3 / 11 / 3	F_J = 700	Maisons indiv. indépendantes : typo. « fil de l'eau » Forme et hauteurs « fil de l'eau » Végétation « fil de l'eau »
 <p>AT2a Mégapole contrôlée, rose et verte</p>	Ville compacte		Extension en continuité avec un contrôle strict Un peu de mitage % : 92 / 1 / 6 / 1	F_J = 400	Maisons indiv. en bande et collectifs : typo. « compacte » Forme et hauteurs « fil de l'eau » Végétalisation « intensive »
 <p>AT2b Mégapole contrôlée, économique</p>	Ville compacte		Extension en continuité, avec un contrôle très strict Mitage aboli % : 98 / 0 / 1 / 1	F_J = 200	Grands collectifs : typo. « verticale » Grandes hauteurs Végétalisation « fil de l'eau »
 <p>AT3a capitale régionale archipel éco-bioclimatique</p>	Ville archipel				Maisons indiv. en bande et collectifs : typo. « compacte » Forme et hauteurs « fil de l'eau » Végétalisation « intensive »

Des scénarios aux variables...

Scénarios Technologie du bâti

	Usages _clim	Usages_ chauffage	Réglemen- tations	Protections _solaires	Sur- ventilation	Toitures_ végétalisées _panneaux_ photovolt.	Bouquet _énergie
TECH1 Ville énergétiqueme nt vertueuse et volontariste	Usage économe	Usage économe	Introduction rapide	Dans le résidentiel et les bureaux	Surventilat° active	Équipés TV ou PV	Bouquet NRJ à faible émission de CO2
TECH2 Ville et individualisme	Usage économe	Usage économe	Introduction lente	Dans le résidentiel et les bureaux	Surventilat° active	Équipés TV ou PV	Bouquet identique à 2010
TECH3 Ville Fil de l'eau	Usage intensif	Usage intensif	Introduction lente	Dans le résidentiel	Pas de surventilat°	Toits non équipés	Bouquet identique à 2010
TECH5 : Ville climatiquement néfaste	Usage intensif	Usage intensif	Pas de rénovation	Dans le résidentiel	Pas de surventilat°	Toits non équipés	Bouquet identique à 2010



Modélisation des scénarios

Comment les scénarios sont mis en oeuvre dans les modèles, et par conséquent dans la plateforme.

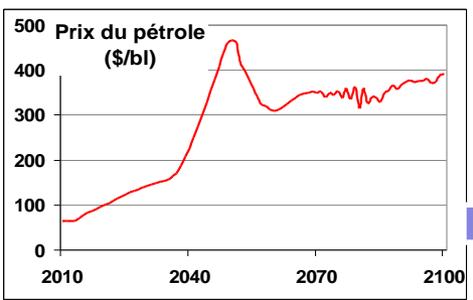
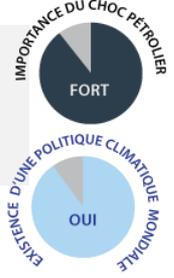
Modélisation des scénarios

NEDUM

Économie mondiale (GT)

2010 → 2100

- Fort choc pétrolier en 2040
- Tensions énergétiques généralisées
- Climat hostile à l'investissement
- Politique climatique volontariste



Fort choc pétrolier

Affecte le **coût des transports**

Territoire (AT)



Le **facteur jardin** (ratio m² de jardin / m² plancher) permet de contrôler la compacité de la ville.

- Ville compacte, mitage faible
- Polarisation du territoire : ville **archipel**

2010 → 2040 → 2100

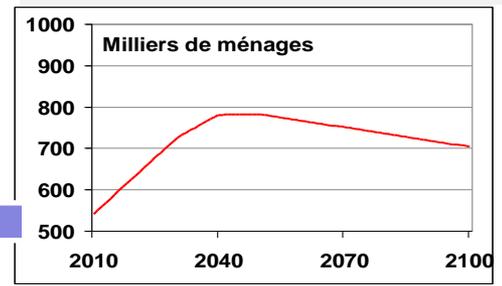
Économie locale (TL)

2010 → 2040 → 2100

- Toulouse **pôle d'excellence** très attractive
- Faible taux de chômage
- **Revenus des ménages** élevés

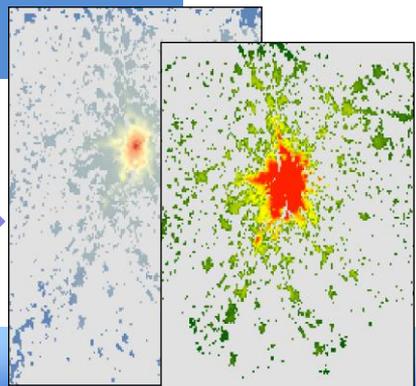


- **Crise économique**
- **Démographie** en baisse
- Revenus inférieurs à la moyenne nationale



Chute de la démographie


NEDUM (CIRED): Non Equilibrium Dynamic Urban Model
 NEDUM is a urban expansion model driven by socio-economical mechanisms valid for the long term.
 Resolution : 500 m
 Time scale : 1 year
 Gusdorf and Hallegate 2007



→ **Cartes de densité de population**

→ **Cartes de densité de bâti**

→ **Cartes de coût des loyers**

Modélisation des scénarios

SLEUTH*

Territoire (AT)

2010

2040

2100

- Expansion **contrôlée**
- Ville compacte**, mitage faible
- Extension en continuité de l'existant et le long du réseau routier.



- Polarisation du territoire : ville **archipel**
- Maisons ou petits collectifs



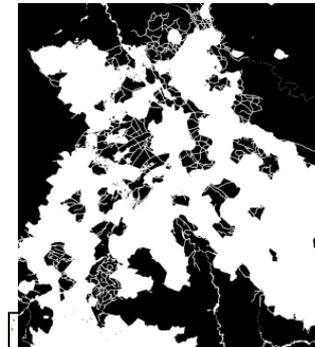
**Carte de contrainte
d'urbanisation**



AT2a

Continuité	= 92%
Routes	= 1%
Nouv. Centre	= 6%
Diffusion	= 1%

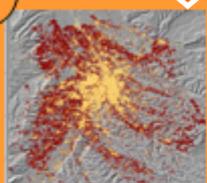
**% des modes de
croissance urbaine**



AT3

Continuité	= 98%
Routes	= 0%
Nouv. Centre	= 1%
Diffusion	= 1%

2

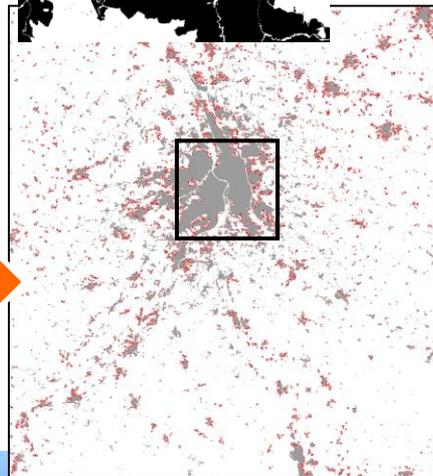


SLEUTH* (GEODE): Slope,
Land cover, Exclusion,
Urbanization, Transportation,
Hillshade

Resolution : 100 m
Time scale : 1 year

SLEUTH is a geography cellular
automaton modeling urban growth.

Clarke 1997 – Aguejedad et al. 2012



**→ Cartes
d'urbanisation**

Modélisation des scénarios

GENIUS

Quartiers (AT)

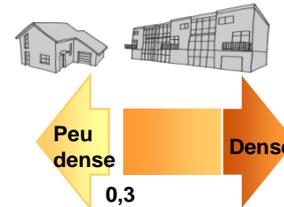
2010

2100

- Architecture **compacte**
- Maisons individuelles en bande ou **petits immeubles collectifs**
- Fort **taux de végétation urbaine**



Dès 2010, les espaces publics sont fortement végétalisés : parkings, places et espaces résiduels urbains accueillent des arbres et des plantations basses.



Les structures compactes (collectifs) sont favorisées dès que la densité d'un quartier augmente

Seuils de densité par type de bâtiment

3

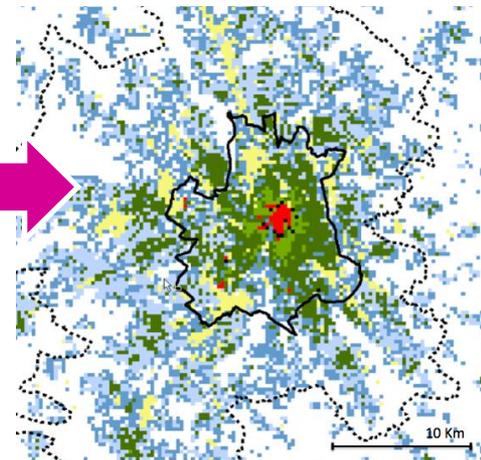


Resolution : 250 m
Time scale: 10 years

GENIUS (LRA/CNRM): Urban Blocks Generator

GENIUS estimates block shape according to building density and former block state.

Bonhomme and Masson, 2012



Légende	
Pavillon discontinu	
Pavillon continu	
Immeuble discontinu	
Immeuble continu	
Immeuble de grande hauteur	
Centre ancien	
Bâtiment d'activité	

→ Cartes de typologies architecturales

Modélisation des scénarios

SURFEX-TEB

Énergétique du bâti (TECH)

2010

- Faible innovation énergétique
- Usage économe du chauffage et de la climatisation
- Actions individuelles pour gagner en confort et réduire les dépenses en énergie



2040

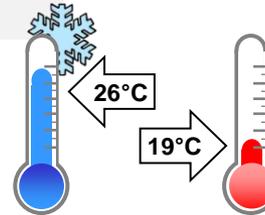
- Comportement économe renforcé
- Accélération des rénovations, bâtiments neufs performants



2100



Utilisation volets, brise-soleil et surventilation.



Températures de consigne

Habitat : 1% puis 2.5%
 Tertiaire : 3% puis 6.5%

Taux de rénovation annuels
 (vitesse de pénétration des RT)

4



Resolution : 100 m
 Time scale: hourly

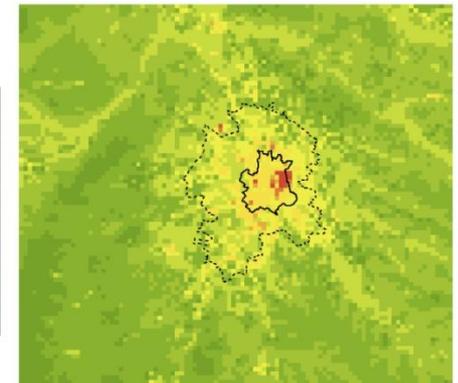
SURFEX-TEB (CNRM): Town Energy Balance

TEB simulates energy and water exchanges between the city and the atmosphere. TEB now includes urban vegetation (VEG) and Building Energy (BEM) modules.

Masson 2000 – Lemonsu et al. 2012 – Bueno and Pigeon 2012

Scénario 2

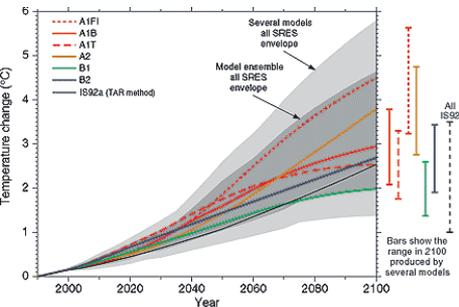
< -0,5	■
-0,5 à 0	■
0 à 0,25	■
0,25 à 0,75	■
0,75 à 1,25	■
1,25 à 1,17	■
1,75 à 2	■
2 à 2,5	■
2,5 à 3	■
> 3	■



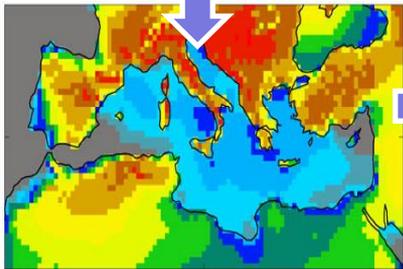
→ Ilot de chaleur urbain
 → Consommations clim/chauffage

Modélisation des scénarios

Scénarios climatiques précis (MESONH)



scénarios GIEC-2007



Simulation RCM
1961-2100
(ENSEMBLES, MPI, RETIC)

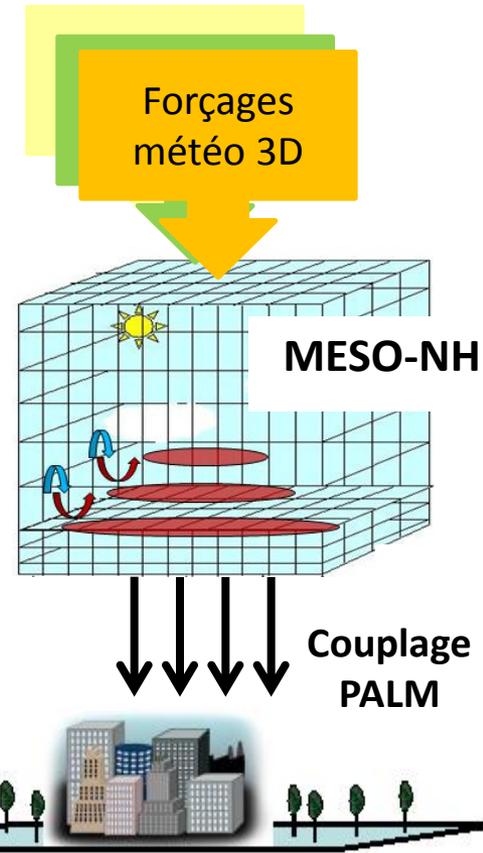
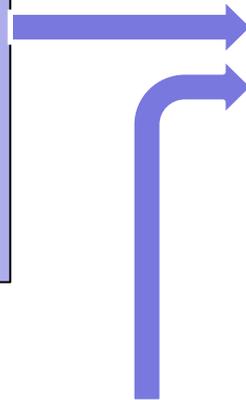
Analyse des projections :

- Fréquence d'occurrence des JT pour le présent (2010) et les 3 périodes temps futur (2040, 2070, 2100)
- Incrément de température temps futur (+1, +3, +5 °C)

Analyse des projections :
Attribution des clusters

Classification en 11 clusters
x 4 saisons (**44 jours-types**)

Observations Toulouse-Blagnac
1998-2008



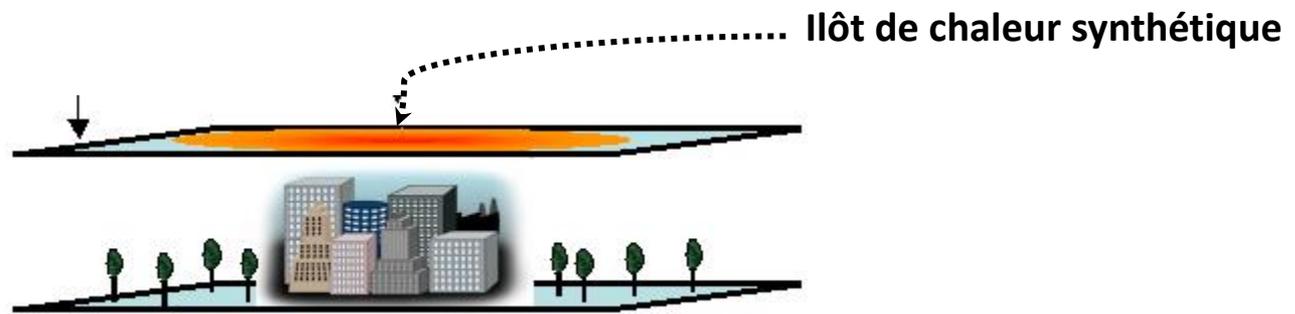
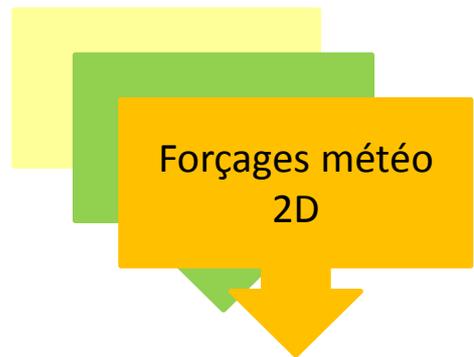
Jour analogue
(réanalyses ECWMF)

Modélisation des scénarios

Scénarios climatiques simplifiés

Observations Campagne CAPITOUL
Mars 2004 – mars 2005

Incrément de température
en temps futur (+2, +4, +6 °C)

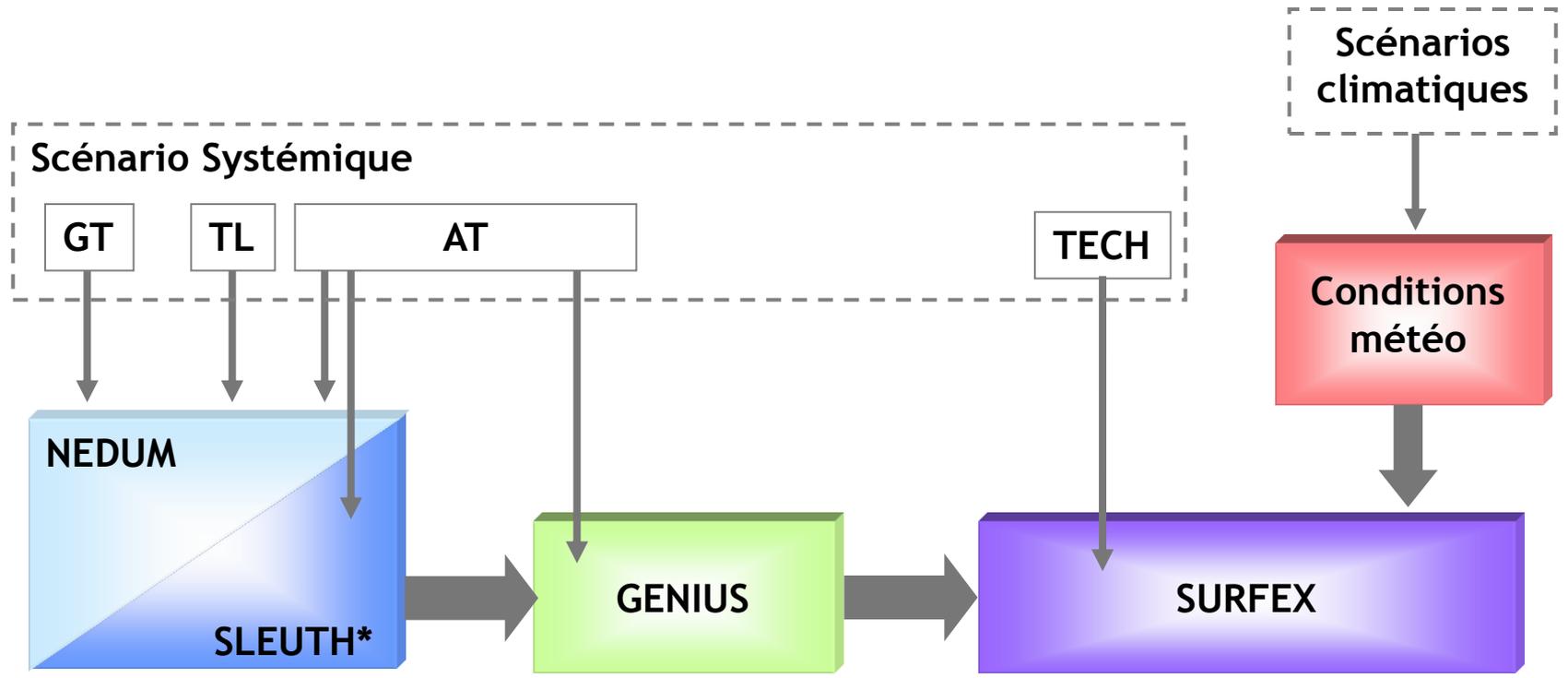


SURFEX OFFLINE

Modélisation des scénarios

Lien scénarios-modèles (résumé)

→ Influence des scénarios sur les modèles



Merci de votre attention