



# MUSCADE

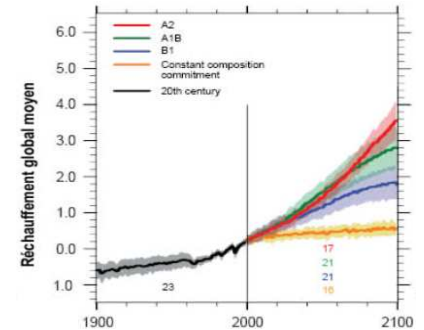
Modélisation Urbaine et Stratégies  
d'adaptation au Changement Climatique  
pour Anticiper la Demande et la  
production Energétique

Les villes sont particulièrement concernées par le changement climatique : l'énergie utilisée par les villes est la source majeure des rejets anthropiques de gaz à effet de serre, qui sont la cause du réchauffement climatique global ; cette tendance globale est accentuée, à l'échelle locale, par la formation d'îlots de chaleur urbains influencés par la morphologie et la croissance des villes.

## Villes & climat évoluent

La croissance urbaine constitue aujourd'hui un défi majeur pour l'humanité, puisque la population urbaine vient de franchir le cap des 50% de la population totale de la planète (environ 80% dans les pays développés).

D'après le 4<sup>ème</sup> rapport du GIEC (IPCC 2007a), le réchauffement climatique observé perdurera et sera significatif à l'horizon 2070. Hallegatte et al. (2007) montre que d'après certaines simulations climatiques (en scénario A2), Paris connaîtrait le climat de Cordoue en 2100.



## Les logements consommateurs d'énergie

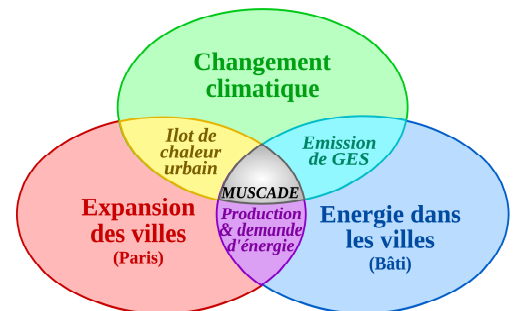
44% de la consommation énergétique finale française est due au parc de bâtiments résidentiels et tertiaires français (2007, source MEEDDAT/OE), et les émissions de CO<sub>2</sub> associées représentent 24,1% des émissions françaises. Afin de limiter le réchauffement climatique, le protocole de Kyoto planifie les objectifs de réduction d'émission de GES jusqu'en 2012. En France, des objectifs phares du Grenelle de l'environnement concernent directement les domaines des bâtiments et de l'énergie.

Le projet MUSCADE s'inscrit au cœur de trois sujets vifs de la problématique de la ville durable :  
**le changement climatique, l'énergie dans les villes et l'expansion des villes.**

Il vise à en étudier les interactions, de nos jours à 2100.

## Des éléments de réponse à des questions concrètes :

Quel sera le climat d'une ville en expansion soumise au changement climatique?  
Quelle sera sa demande énergétique pour assurer le confort thermique des habitants hiver comme été? Ses émissions de CO<sub>2</sub>? Comment déployer en ville une production décentralisée d'énergies renouvelables? Comment adapter la structure urbaine?



## Un partenariat multidisciplinaire

- GAME - Modélisation du climat urbain**  
Groupe d'étude de l'atmosphère météorologique
- CSTB - Conception technique des bâtiments**  
Centre Scientifique des Techniques du Bâtiment
- CIRED - Modélisation socio-économique de l'expansion urbaine**  
Centre International de Recherche en Environnement et Développement
- LRA-GRECAU - Architecture, énergie et développement urbain durable**  
Groupe de Recherche Environnement Conception Architecturale et Urbaine
- LIENS - Evolution des villes** Littoral, Environnement et Sociétés
- APUR - Urbanisme** Atelier Parisien d'Urbanisme
- IAU - Ile de France - Urbanisme** Institut d'Aménagement et d'Urbanisme

# La méthodologie de MUSCADE

## Des échelles appropriées

Les constantes de temps propres au changement climatique et à l'évolution des villes obligent à choisir l'échelle du siècle pour répondre à la question de la durabilité de la ville face à un climat en transition. L'agglomération parisienne sera choisie comme cas d'étude, mais les méthodes, basées sur des lois et principes généraux d'échanges économiques ou physiques, seront applicables pour d'autres villes.

## Des scénarios contrastés et cohérents, d'aujourd'hui à 2100

Pour alimenter le modèle, on construira un jeu de scénarios combinant hypothèses climatiques (basées sur les scénarios du GIEC), macroéconomiques (prix de l'énergie, croissance, démographie), évolutions du domaine urbain (ville étendue, compacte, « verte »), techniques de bâti (performances énergétiques, réglementations), et production d'énergie décentralisée (technologies, choix d'implantation).

## Modéliser le bâti et le climat urbain

Le modèle Town Energy Balance (TEB, Masson 2000), dédié au calcul des échanges d'énergie entre surfaces urbaines et premières couches de l'atmosphère, permet de simuler le micro-climat urbain : il considère la majeure partie des processus physiques liés à la géométrie urbaine et des échanges entre le bâti et l'extérieur. A partir d'un modèle de bilan énergétique du bâtiment, et d'un modèle de morphologie urbaine, des améliorations importantes seront apportées à TEB en terme de bilan interne du bâti, d'influence de l'agencement de l'îlot, et de paramétrisations de la production d'énergie décentralisée.

## Vers la «ville à énergie positive» ?

Au travers des scénarios et simulations, le projet mettra en perspective la consommation énergétique de la ville et ses capacités de production d'énergies locales et renouvelables. Les technologies de production décentralisées et les choix d'implantation seront abordés, à l'échelle du bâtiment et du quartier, et intégrées dans TEB.

## Des pistes de stratégies d'adaptation au changement climatique

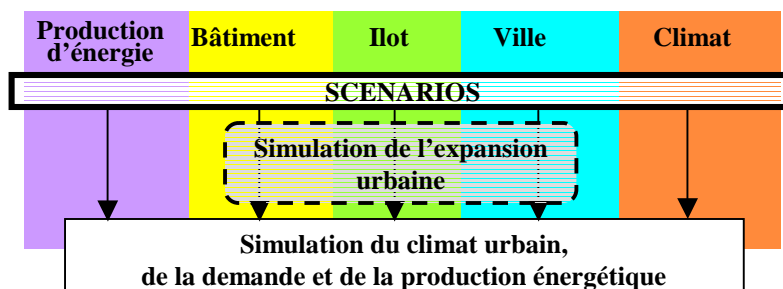
Les principaux résultats de simulation, pour chaque scénario étudié, concerneront :

- La consommation d'énergie liée au chauffage et climatisation dans le bâti
- La demande et la production décentralisée d'énergie, et la répartition des différents types d'énergie
- L'îlot de chaleur urbain
- Les émissions de gaz à effet de serre.

Ainsi, l'analyse de ces paramètres (en terme de gain environnemental, coût socio-économique, ...) permettra d'identifier, **parmi tous les scénarios étudiés, les plus pertinents et les plus réalistes, qui constituent une possible stratégie d'adaptation au changement climatique.**

## Une approche systémique pour un modèle numérique

Le « système ville » sera constitué progressivement, à partir des éléments intervenants dans les processus liés à l'énergie. Cette approche permettra de développer un modèle numérique d'expansion urbaine, de simulation du climat urbain et de simulation du couple offre-demande énergétique du bâti à l'échelle urbaine, appliqué ici à l'aire urbaine de Paris.



## Un modèle

### socioéconomique d'expansion urbaine

Le modèle NEDUM, développé au CIRED, est conçu pour reproduire les mécanismes sous-jacents à la dynamique d'un système urbain. Des extensions et modifications importantes seront développées, afin de décrire une densité spatialisée des activités dans l'ensemble de la ville, et intégrer une dépendance en fonction des deux dimensions de l'espace urbain. Une analyse de l'étalement de la tache urbaine parisienne des années 70 jusqu'à nos jours permettra de valider les résultats de simulations réalisées par NEDUM-2D.

## 4 grandes étapes scientifiques

2010	2011	2012
1 - Scénarios	2 - Modèles physiques	
	3 - Modèles d'expansion urbaine	4 - Simulation
		Intégrée : Ville, Climat, Energie