



APPROCHE PROSPECTIVE POUR LA MODELISATION URBAINE

Edi Assoumou

Centre de Mathématiques Appliquées – Mines ParisTech

Chaire Modélisation Prospective au service du Développement Durable

4 Juin 2012

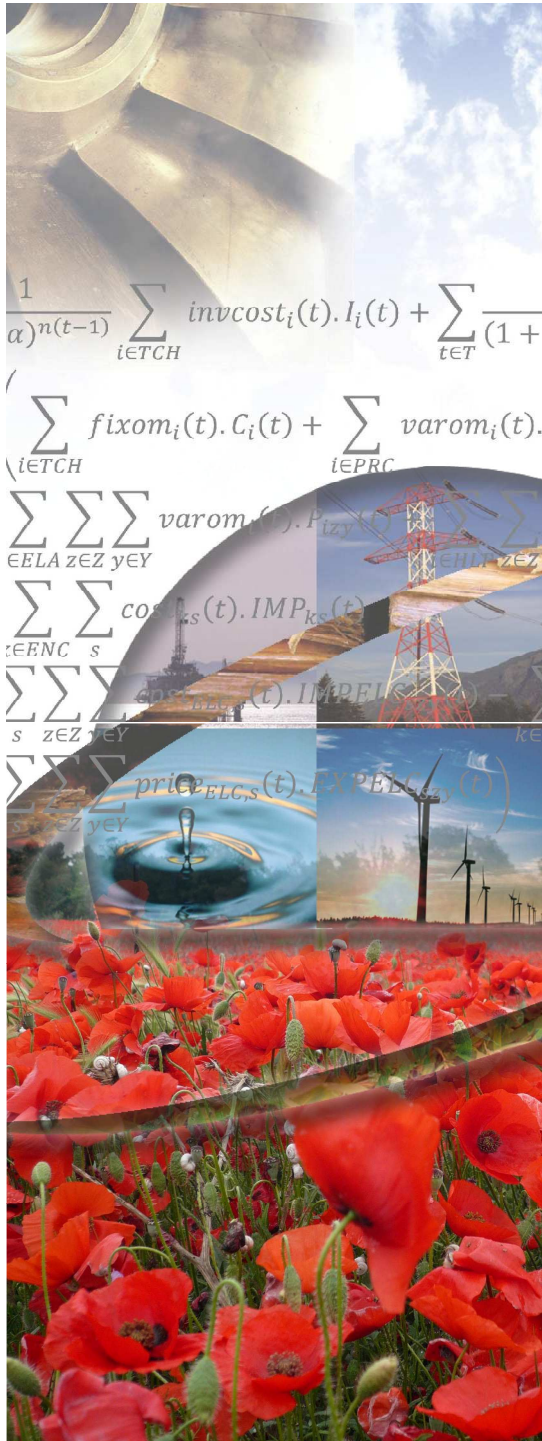
Journée « Smart cities et prospective: une contribution à RIO+20 »



Points clés!

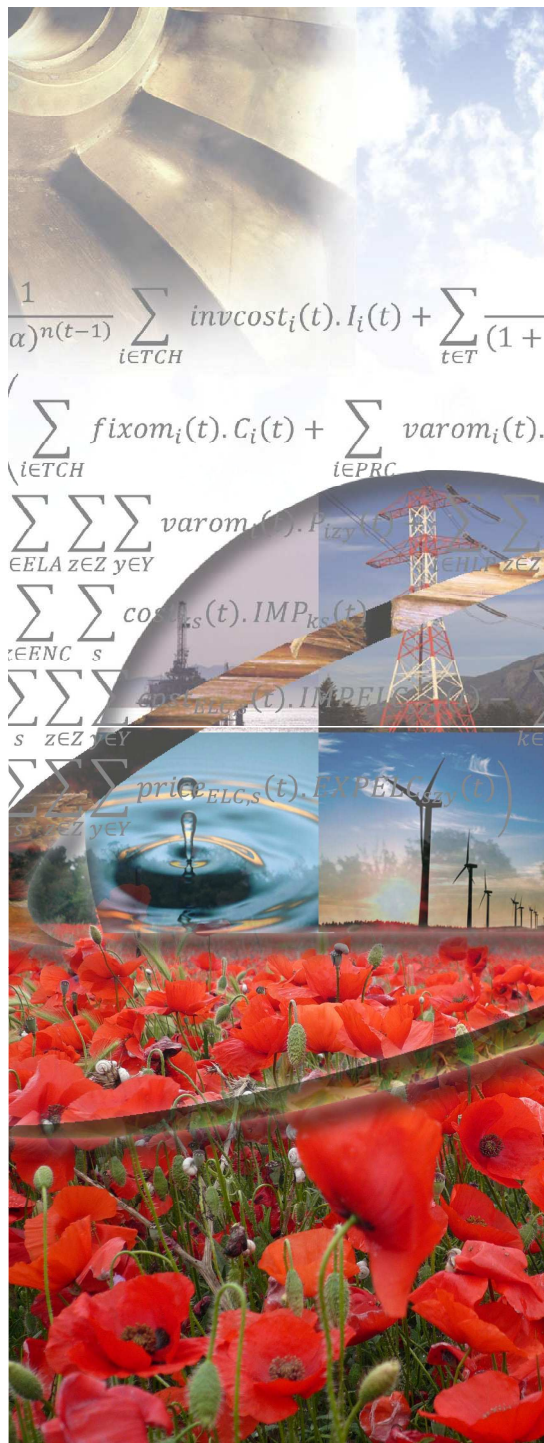
- Une ville est une réalité en perpétuelle transformation. C'est un objet complexe et mouvant qui, tissé d'humain, de conditions spatiales et d'infrastructures, **échappe dans son essence à la modélisation.**
- 60 ans de modélisation des villes montrent néanmoins qu'en formaliser le fonctionnement est nécessaire. **Un modèle est utile en tant que réduction théorique** qui permet de penser certaines dimensions de la ville.
- Néanmoins **les approches existantes sont peu adaptées à l'analyse des stratégies énergétiques urbaines** dans leur diverses dimensions: ressources, choix techniques, impact...
- **Schneider Electric, le CMA et 8 autres partenaires collaborent dans le cadre du projet européen CitInES** à la conception d'une approches de modélisation des choix énergétiques adaptées aux villes.

Complexité et enjeux prospectifs des villes



- **Problématique d'aménagement du territoire**
 - Distribution des activités et cohésion sociale et territoriale
 - Infrastructures et équipements publics
 - Domaine d'action historique de la DATAR
- **Problématique de développement durable**
 - Agendas 21 et Plans Energie Climat Territoriaux (PECT)
 - Dimensions plurielles de la durabilité à l'échelle des territoires
 - www.observatoire-territoires-durables.org , www.agenda21france.org
- **Interaction de sous systèmes urbains**
 - Le sous-système des localisations spatiales
 - Le sous-système des relations et pratiques sociales
 - Le sous-système de transport
 - Un 4^{ème} sous-système moins discuté: celui des flux énergétiques urbains

Complexité et enjeux prospectifs des villes



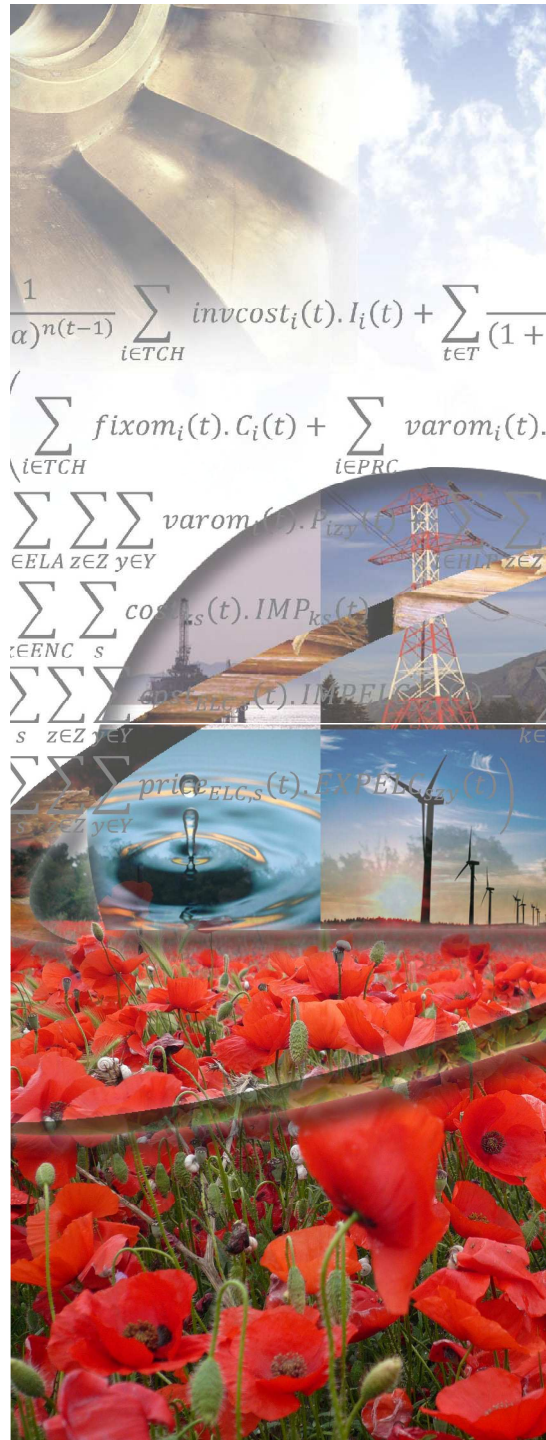
• Illustration

Les « champs du possible » suivant les composantes majeures des territoires (figure 3) :

Facteurs-clé	Champ des possibles
Sociétal	Hyper-individualisme (régulation par le marché)
	Renouveau citoyen (Société civile, responsabilités)
	Communautarismes (Société culturellement segmentée)
	Fractures sociales multiples
Social	Paupérisation/Déclassement de masse
	Intergénération en crise
	Solidarités redistributives
Economie	Déclin des logiques redistributives
	Tout tertiaire dans économie-monde
	Tout tertiaire dans économie résidentielle
Economie verte	Réindustrialisation technologique
	Economie patrimoniale (agriculture, tourisme, ...)
	Verdissement général de l'économie (percolation)
	Coexistence de secteurs verts / non verts
Environnement	Economie verte marginale
	Niches vertes (bio, EnR, ...)
	Dégradation générale du patrimoine écosystémique (biodiversité, eau,...)
Ressources	Nouveaux équilibres écologiques (résilience)
	Nouveaux potentiels énergétiques (renouvelable, matières premières,...)
Energie	Hétérogénéité des trajectoires écosystémiques
	Valorisation des faibles densités
	Hétérogénéité croissante des valeurs foncières
Espace	Raréfaction globale du foncier urbanisable et agricole
	Concentration des centres de décisions et des localisations résidentielles
	Ajustement brutal des finances publiques
Foncier	Assainissement progressif des finances publiques
	Dégradation accentuée des finances publiques
	Nouvelle étape de la décentralisation
Fiscalité	Reprise en main par l'Etat
	Impulsion européenne et fédéralisme
	Réseaux et inter-territoires

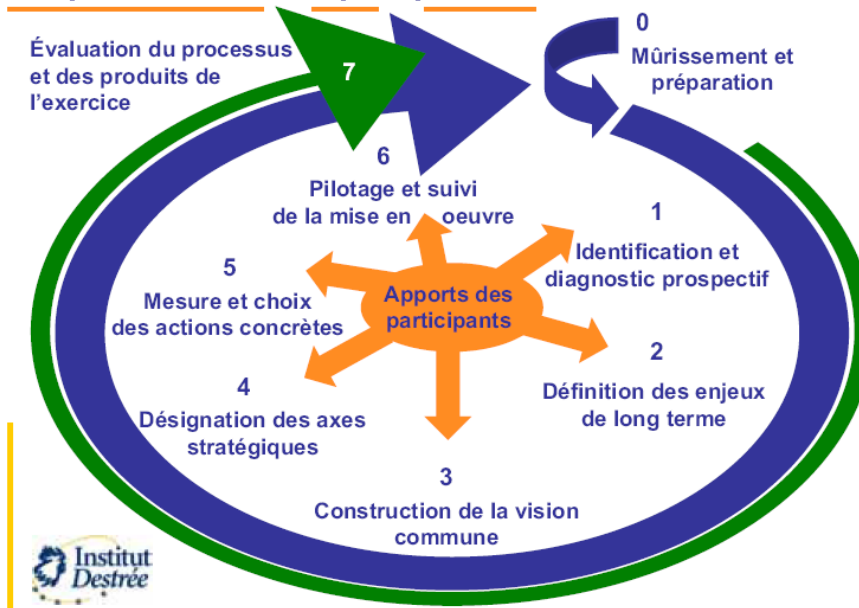
Source CGDD, « Territoire durable 2030 » : une prospective de développement durable à l'échelle des territoires –Avril 2012 d'après Geistel et Stratys

Modélisation des problématiques urbaines: Modèles d'évolution des territoires



- Fondement: construction d'une vision partagée des futurs possibles d'un territoire
- Approches participatives (intégrant un fort contenu qualitatif)

Le processus de la prospective



Modélisation des problématiques urbaines: Modèles d'évolution des territoires

$$\frac{1}{\alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} invcost_i(t) \cdot I_i(t) + \sum_{t \in T} \frac{1}{(1 +$$

$$\sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \cdot C_i(t) + \sum_{i \in PRC} varom_i(t).$$

$$\sum_{i \in TCH} \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} varom_i(t) \cdot P_{zy}$$

$$\sum_{t \in ENC} \sum_s cos_{ks}(t) \cdot IMP_{ks}(t)$$

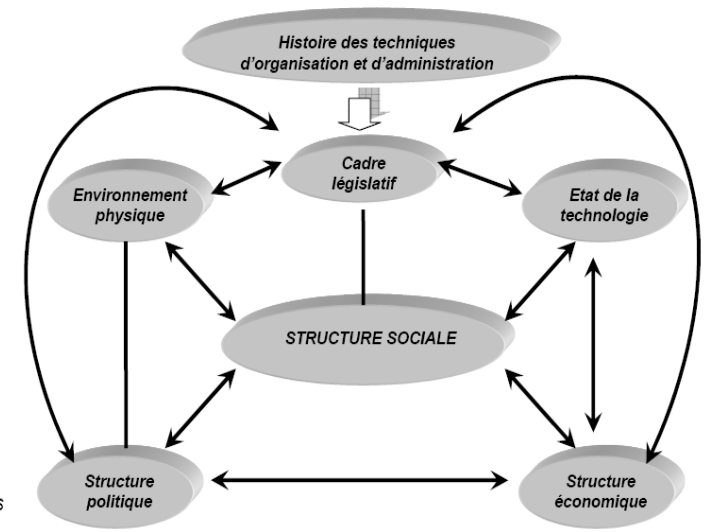
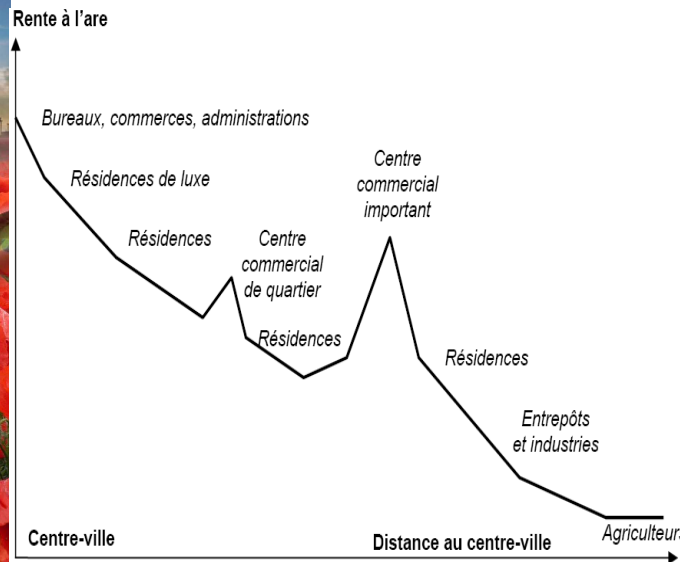
$$\sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} cos_{ks}(t) \cdot IMP_{ks}(t)$$

$$\sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price_{ELC,s}(t) \cdot EXP_{ELC,s}(t)$$

- Fondement: représentation formelle de chaînes de causalité
- Modèles mathématiques et analyse quantitative

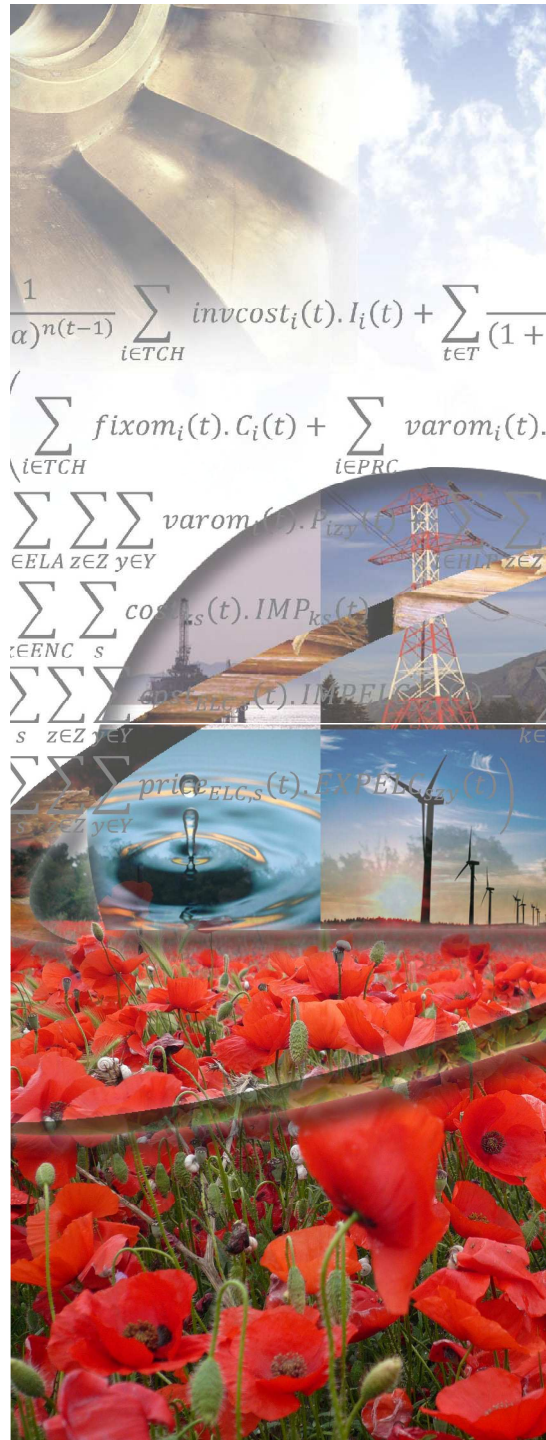
Approche microéconomique

Approche systémique

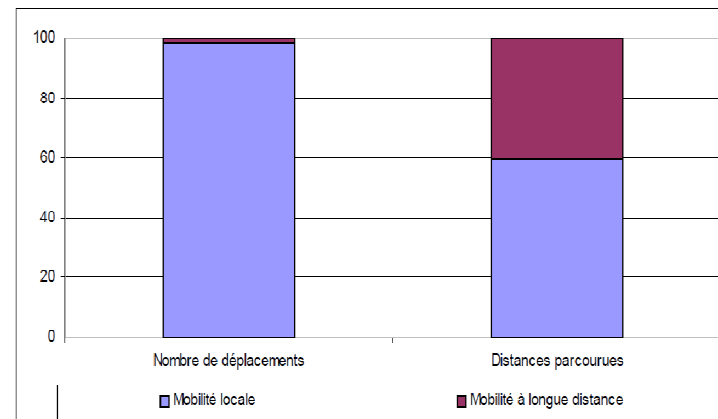
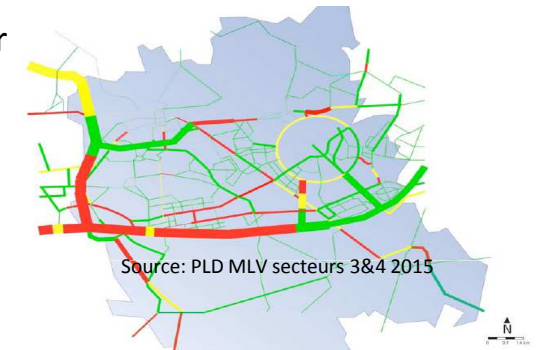


Source: Gilles Lajoie, Recherche en modélisation urbaine d'après A. Bailly et R.B. Andrews

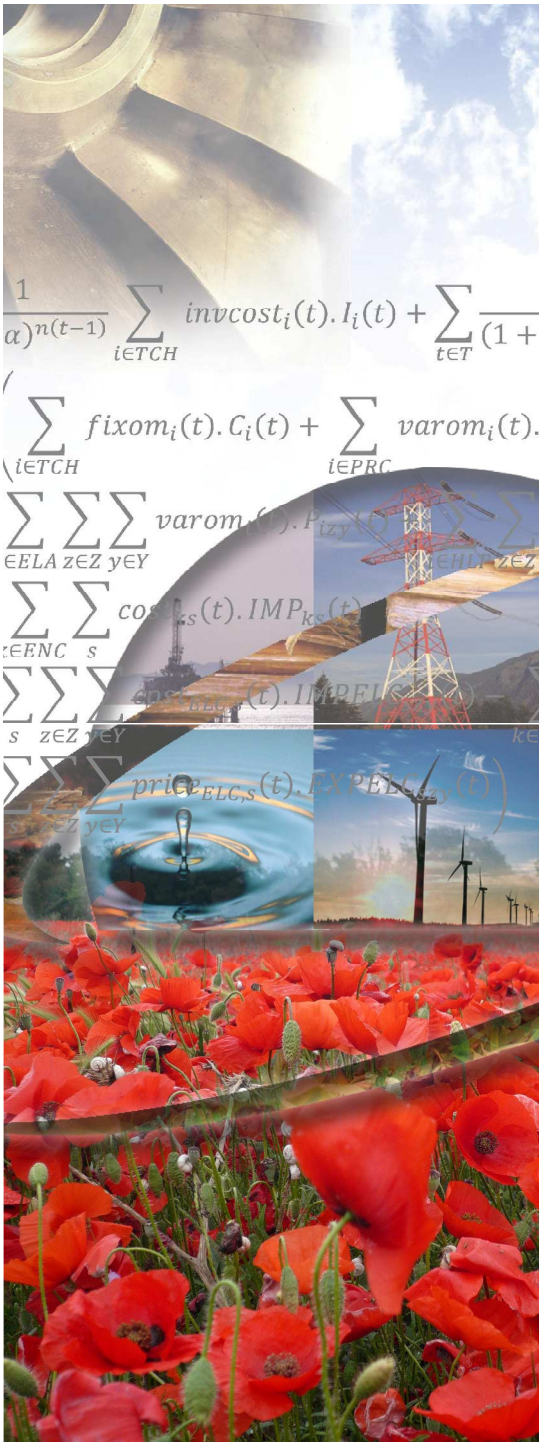
Modélisation des problématiques urbaines: Modèles de transport



- Fondement: effet structurant des réseaux de transport
- Les questions des modèles de transport classiques:
 - Demande de déplacements et lignes de désir
 - Débits et dimensionnement de voirie
 - Problèmes de congestion
 - Impact d'aménagements particuliers
- Divergences entre une analyse en terme de nombre de déplacements ou de consommation d'énergie

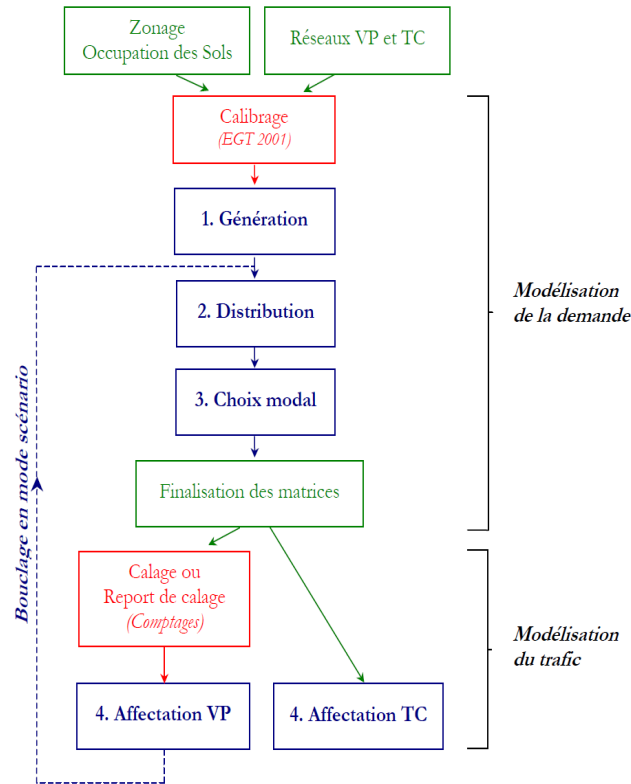


Champ : individus âgés de 6 ans ou plus résidant en France métropolitaine.
Source : SOeS, Insee, Inrets, enquête nationale transports et déplacements 2008

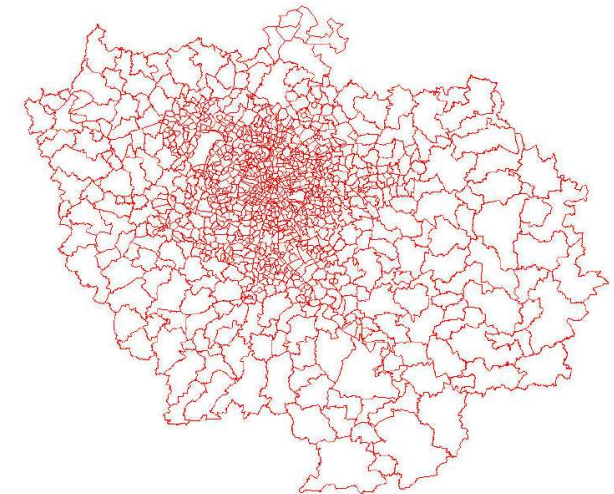


Modélisation des problématiques urbaines: Modèles de transport

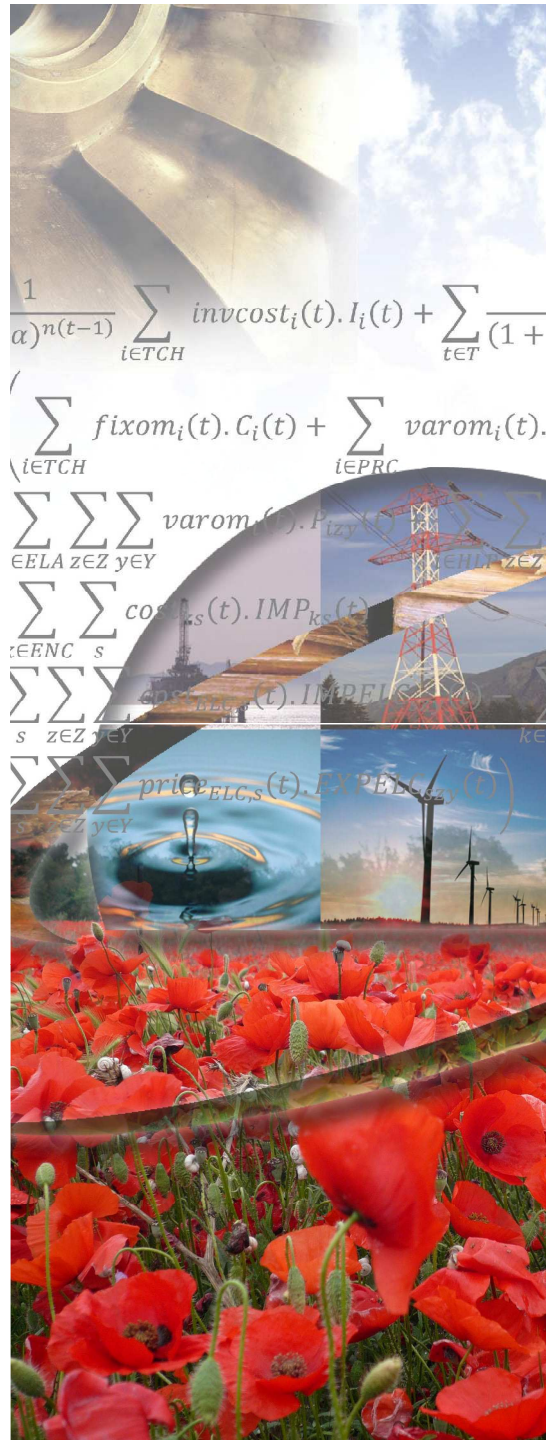
- Modèles dédiés (exploitation/planification) très détaillés
- Le modèle classique: le modèle 4 étapes



- Description détaillée de l'architecture du réseau existant et des règles de circulation
- Zonage fin (1000 à 3000 zones)
- Description précise du réseau TC

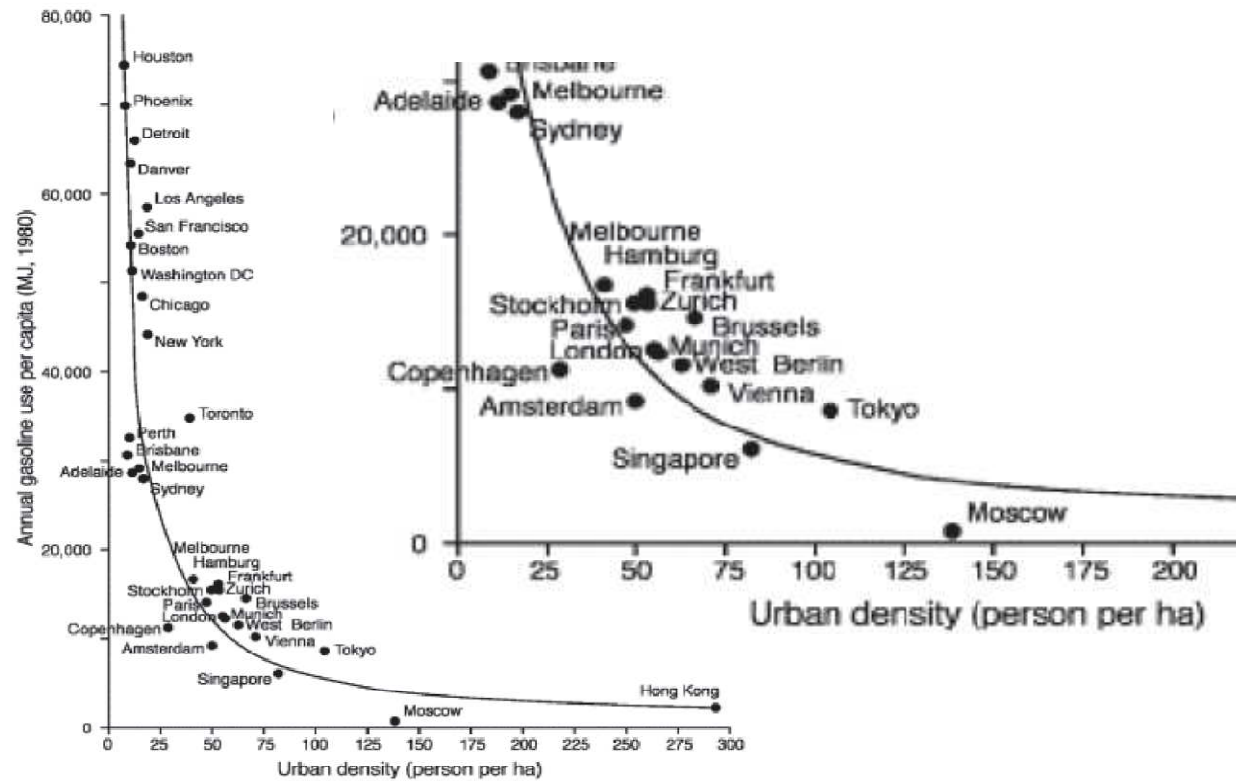


Modélisation des problématiques urbaines: Analyse des systèmes énergétiques



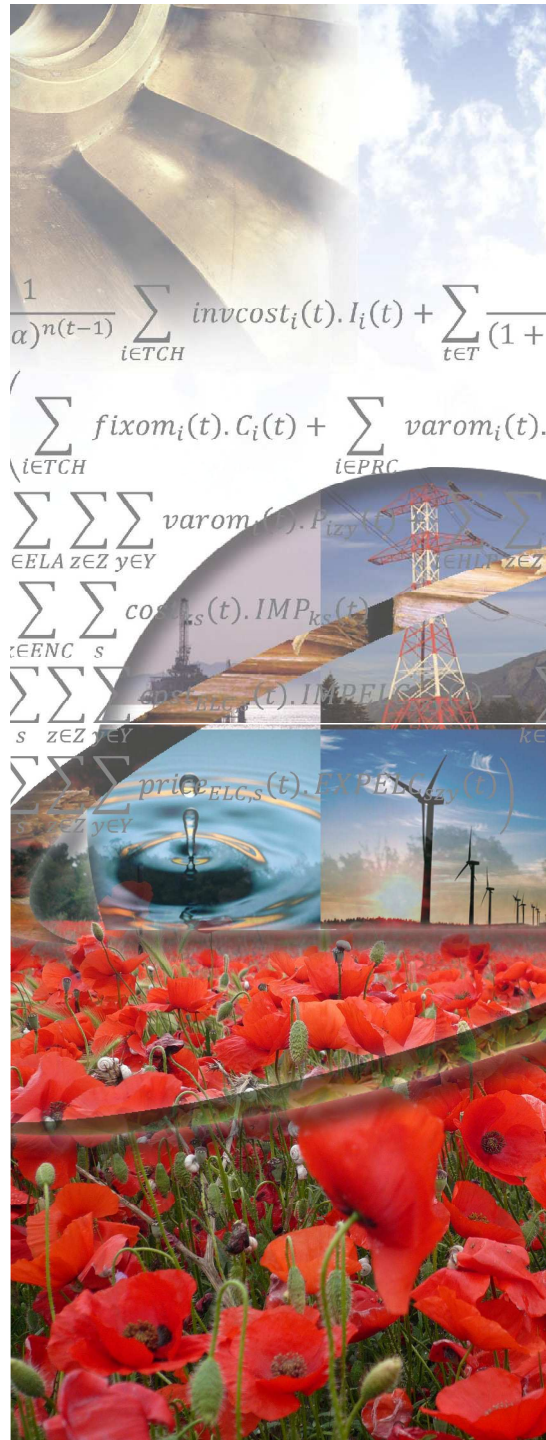
• Par extrapolation d'observations statistiques

- Exemple du lien entre densité de population et consommations d'énergie
- Intérêt: simplicité
- Limites: corrélation/causalité, degré de précision (Paris/Bruxelles/Amsterdam)

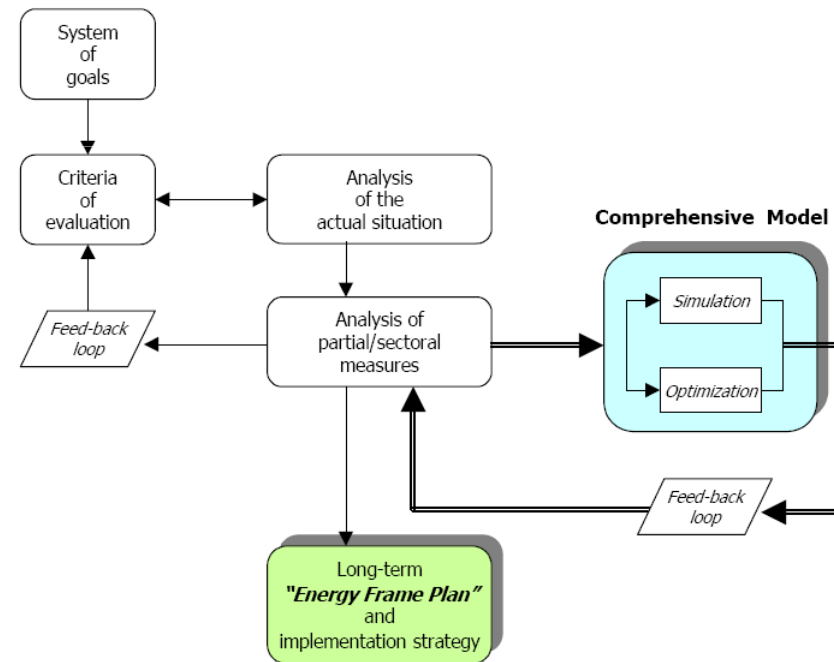


Source: Newman, Kenworthy 1989

Modélisation des problématiques urbaines: Analyse des systèmes énergétiques



- Approche systémique proposée par le programme ECBCS (Energy Conservation in Buildings and Community Systems) de l'AIE:
 - Annexe 22 (1991-1993): le concept de Local Energy Planning (LEP)
 - Annexe 33 (1996-1998): Advanced Local Energy Planning (ALEP) tools



Traditional LEP and ALEP approach (double line) using support of existing software tools and a „comprehensive model“ (of the entire local energy system)

Modélisation des problématiques urbaines: Analyse des systèmes énergétiques

$$\frac{1}{\alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} invcost_i(t) \cdot I_i(t) + \sum_{t \in T} \frac{1}{(1 +$$

$$\sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \cdot C_i(t) + \sum_{i \in EPRC} varom_i(t) \cdot$$

$$\sum_{EELAZEZyEY} \sum \sum \sum varom_i(t) \cdot P_{iZY}$$

$$\sum_{EENCs} \sum \sum cos_{ks}(t) \cdot IMP_{ks}(t)$$

$$\sum \sum \sum cos_{ks}(t) \cdot IMP_{ks}(t)$$

$$\sum \sum \sum price_{ELCS}(t) \cdot EXP_{ELCS}(t)$$

$$\sum \sum \sum price_{ELCS}(t) \cdot EXP_{ELCS}(t)$$

$$\sum \sum \sum price_{ELCS}(t) \cdot EXP_{ELCS}(t)$$

$$\sum \sum \sum price_{ELCS}(t) \cdot EXP_{ELCS}(t)$$

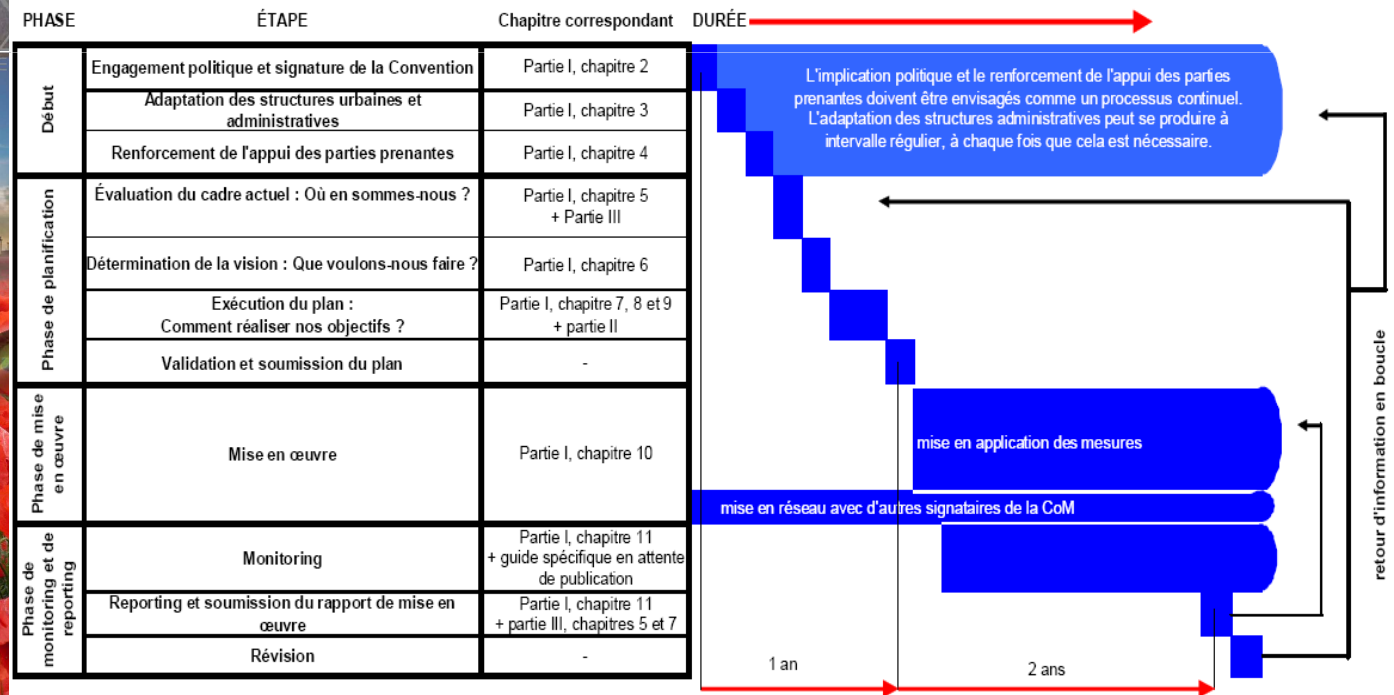
$$\sum \sum \sum price_{ELCS}(t) \cdot EXP_{ELCS}(t)$$

$$\sum \sum \sum price_{ELCS}(t) \cdot EXP_{ELCS}(t)$$

$$\sum \sum \sum price_{ELCS}(t) \cdot EXP_{ELCS}(t)$$

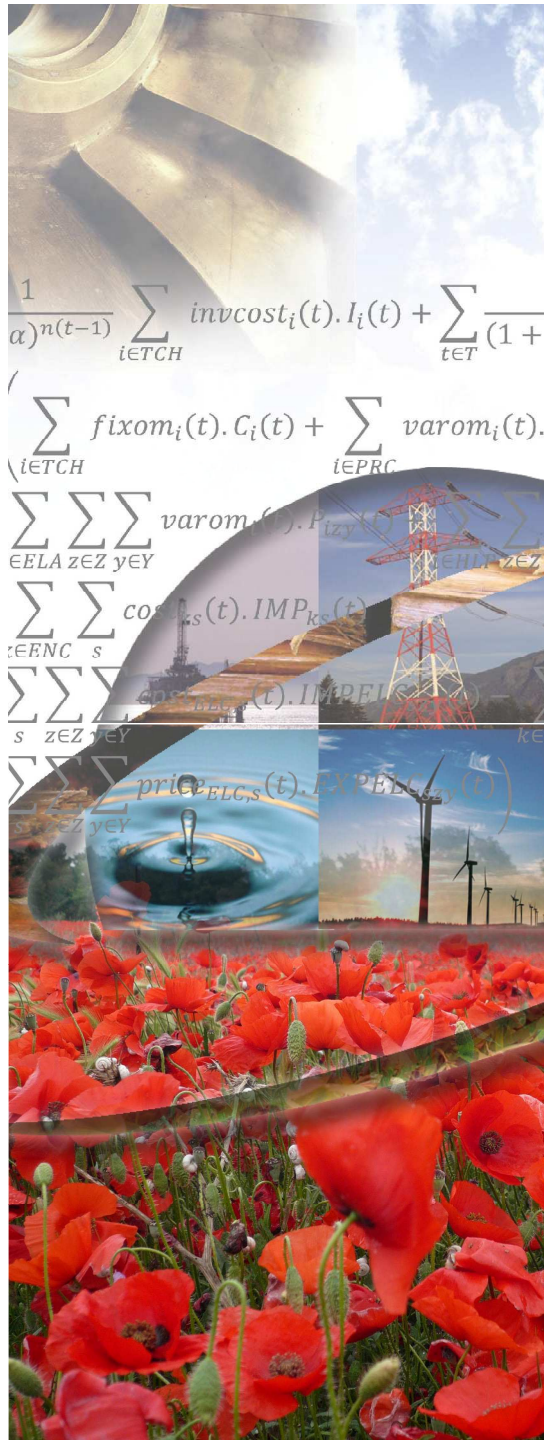
- Approches opérationnelles: politiques & mesures
 - Exemple de l'initiative européenne qu'est la « Convention des Maires »: 4000 signataires depuis 2008
 - Elaboration de Plans d'Action en faveur de l'Énergie Durable (PAED)
 - Démarches participatives et outils d'animation ou d'accompagnement

Processus PAED : phases des différentes étapes



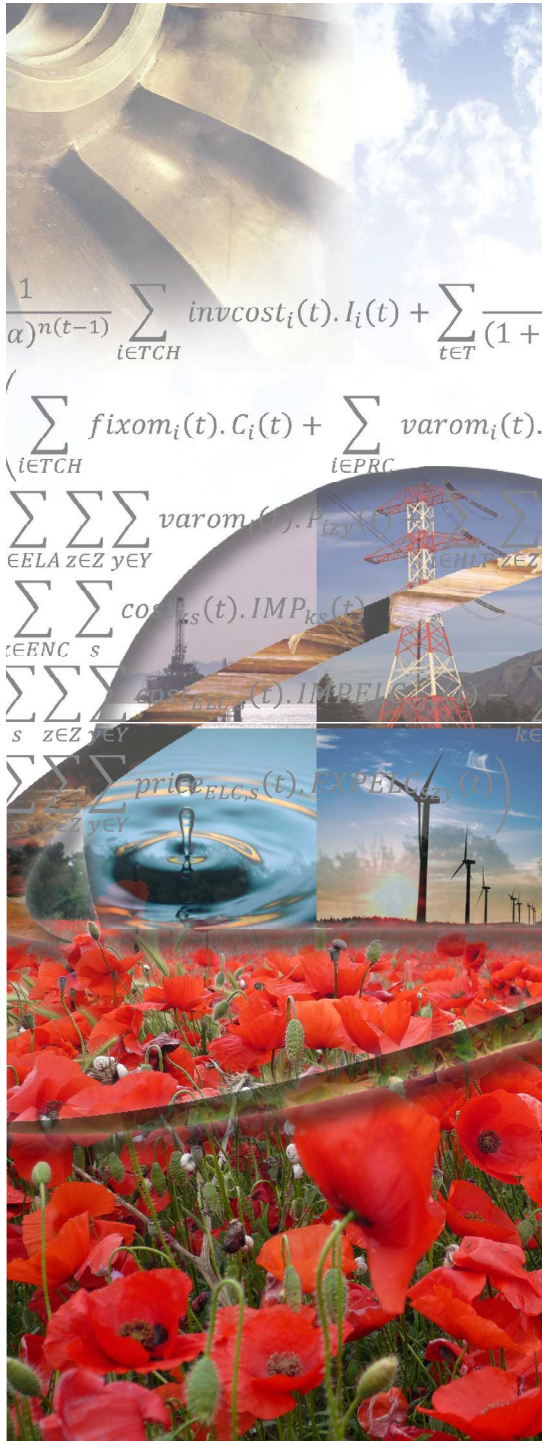
Source: JRC Guide "Comment développer un Plan d'Action en faveur de l'Énergie Durable (PAED) »

Smart Cities et modèles prospectifs pour l'énergie: Le projet CitInES – Fiche d'identité



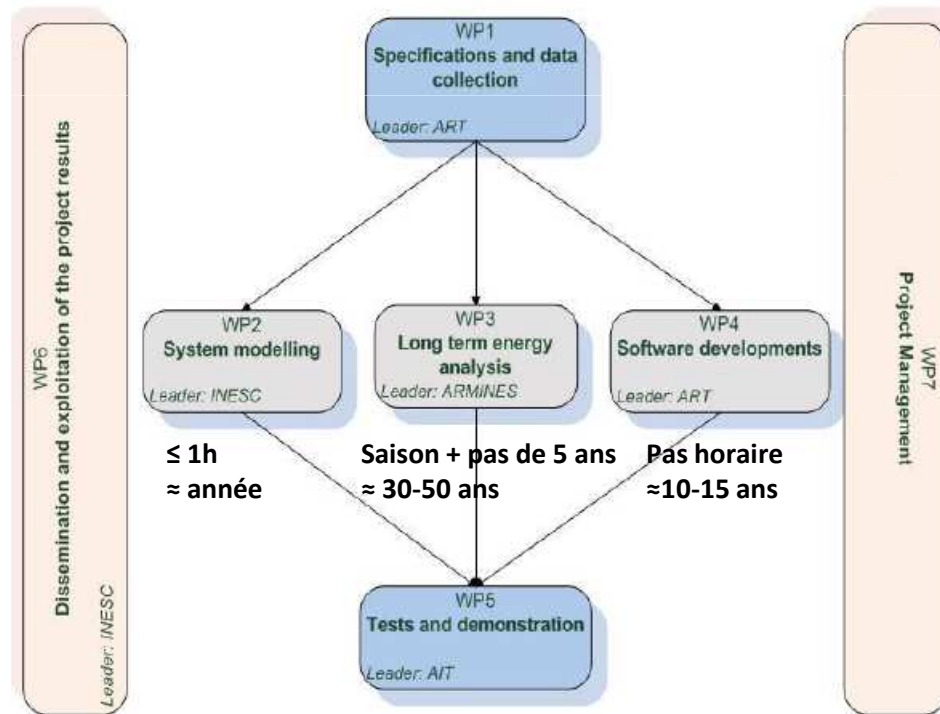
- CitInES : City and Industry Energy Strategy
- Projet FP7: Durée 30 mois, 2011-2014
- Partenaires (10):
 - Artelys (France)
 - Austrian Institute of Technology (Autriche)
 - INESC Porto (Portugal)
 - Armines - CMA (France)
 - Schneider Electric (France)
 - Ville de Cesena (Italie)
 - Ville de Bologne (Italie)
 - TUPRAS (Turquie)
 - Ervet (Italie)
 - INRIA (France)
- Objectifs:
 - Définir et expérimenter un modèle multi-échelles et multi-énergies pour l'évaluation de stratégies énergétiques locales
 - Quantifier l'impact d'actions de « coordination » de type Smart Grids

Smart Cities et modèles prospectifs pour l'énergie: CitInES – Approche multi-échelle



- Accompagner l'évaluation quantitative de stratégies énergétiques locales

- Importance d'une forte implication des autorités locales
- Volonté d'intégrer des analyses à différentes échelles



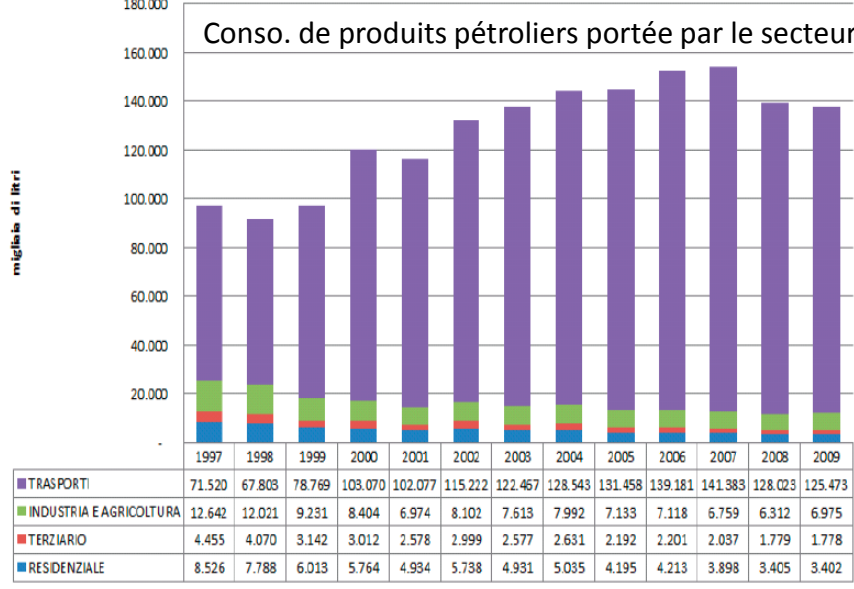
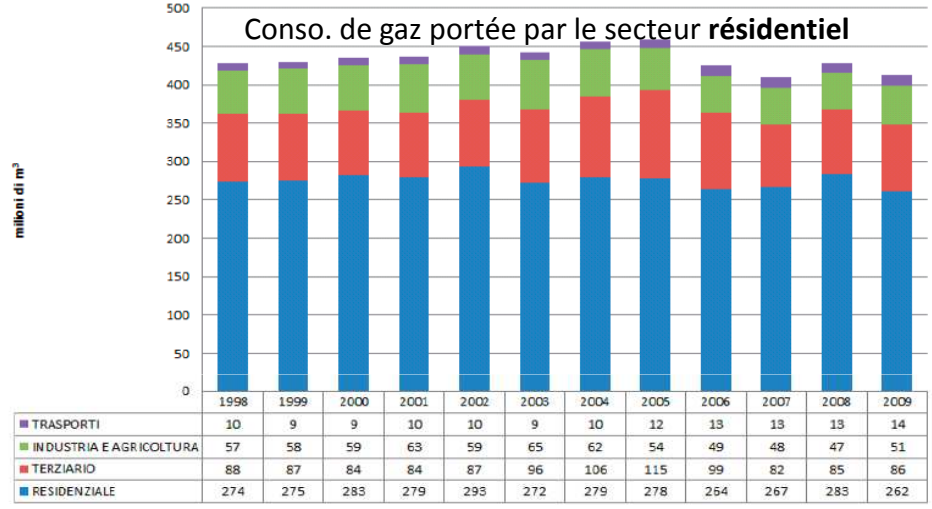
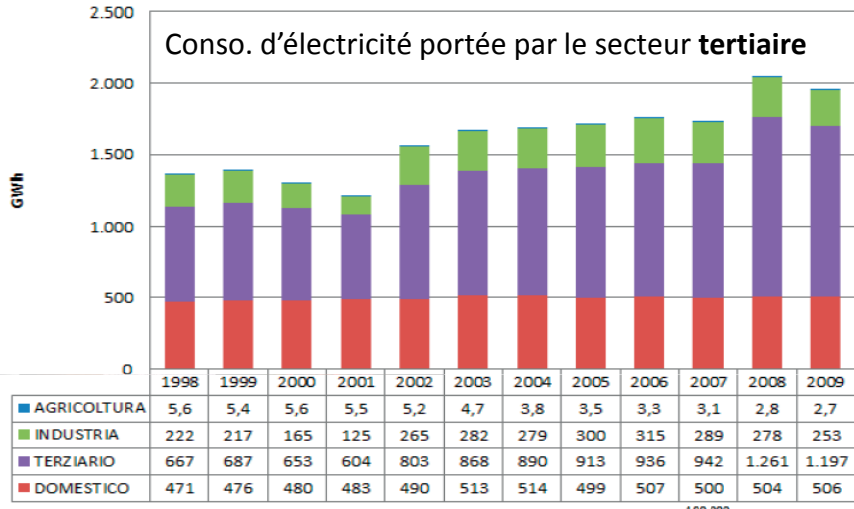
Smart Cities et modèles prospectifs pour l'énergie: Projet CitInES – Besoin d'un diagnostic local détaillé

- Statistiques de consommation d'énergie finale de Bologne

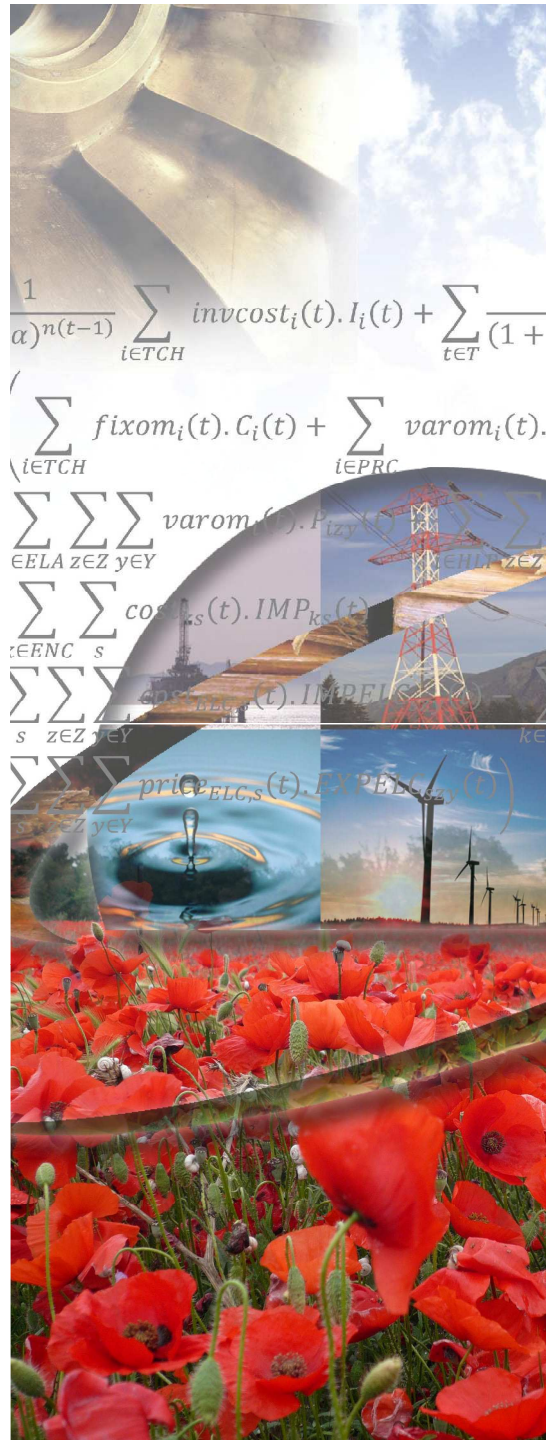
Source: Plan d'Action en faveur de l'Énergie Durable de Bologne

$$\frac{1}{\alpha)^{n(t-1)}} \sum invcost_i(t) \cdot I_i(t) + \sum \frac{1}{(1 +$$

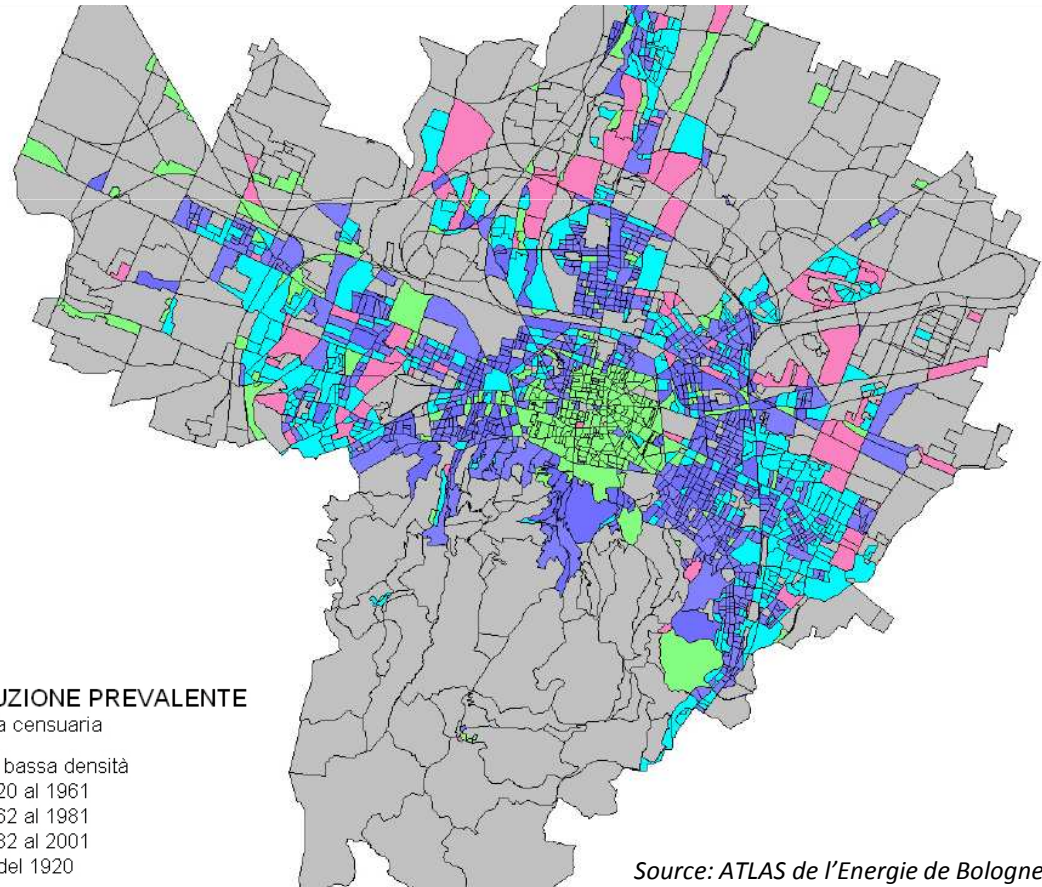
$\sum_{i \in TCH}$
 $\sum_{i \in ELA} zE_i$
 $\sum_{i \in ENC}$
 $\sum_{i \in ZEZ}$



Smart Cities et modèles prospectifs pour l'énergie: Projet CitInES – Besoin d'un diagnostic local détaillé



- Données à l'échelle infra-urbaine: système d'information territorial et atlas de l'énergie. L' exemple de Bologne.

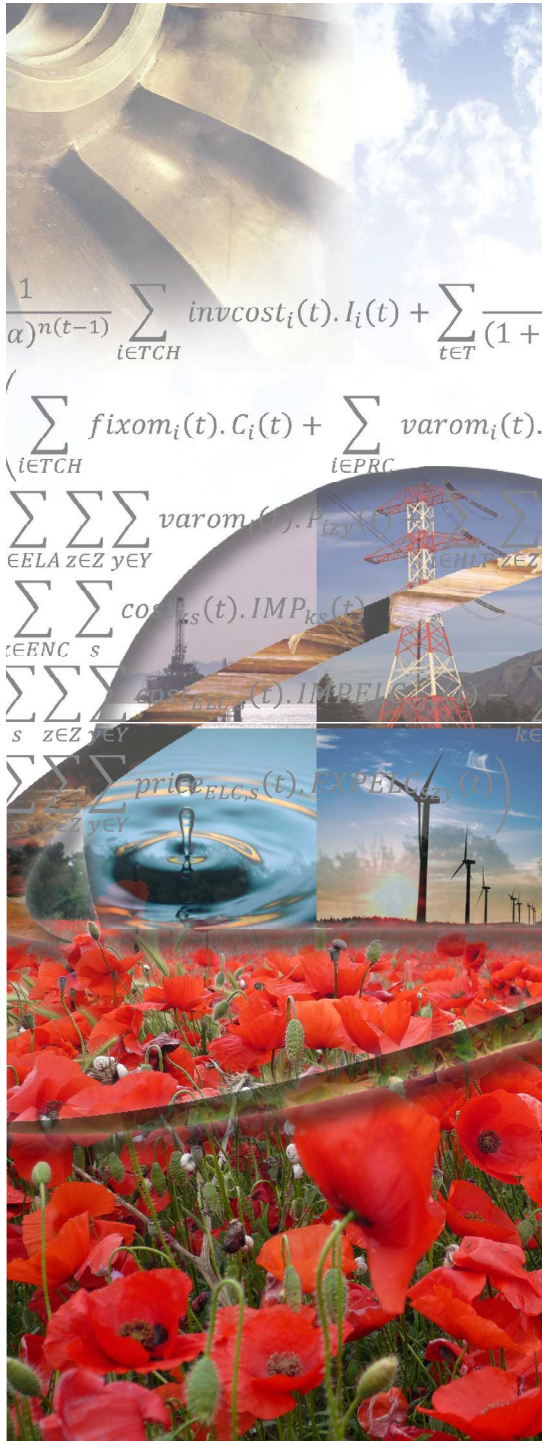


EPOCA DI COSTRUZIONE PREVALENTE
per isola censuaria

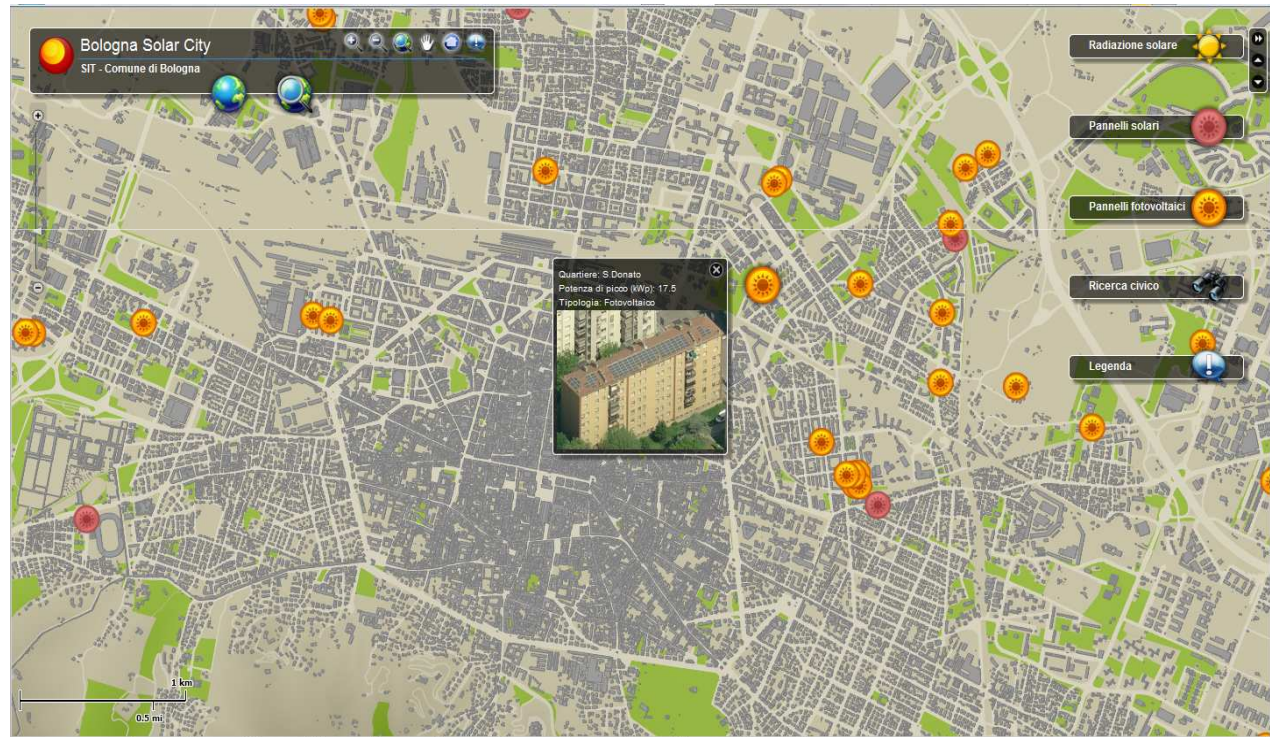
- Area a bassa densità
- Dal 1920 al 1961
- Dal 1962 al 1981
- Dal 1982 al 2001
- Prima del 1920

Source: ATLAS de l'Energie de Bologne 2007

Smart Cities et modèles prospectifs pour l'énergie: Projet CitInES – Besoin d'un diagnostic local détaillé



- Échelle infra-urbaine: Application web Bologna Solar



Smart Cities et modèles prospectifs pour l'énergie: Projet CitInES – Prise en compte du PAED

$$\frac{1}{\alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} invcost_i(t) \cdot I_i(t) + \sum_{t \in T} \frac{1}{(1 +$$

$$\left(\sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \cdot C_i(t) + \sum_{i \in PRG} varom_i(t) \cdot$$

$$\sum_{\substack{E \in LA \\ z \in Z}} \sum_{y \in Y} varom_i(t) \cdot P_{zy}(t)$$

$$\sum_{t \in ENC} \sum_s cos_{ks}(t) \cdot IMP_{ks}(t)$$

$$\sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} cos_{ms}(t) \cdot IMP_{ms}(t)$$

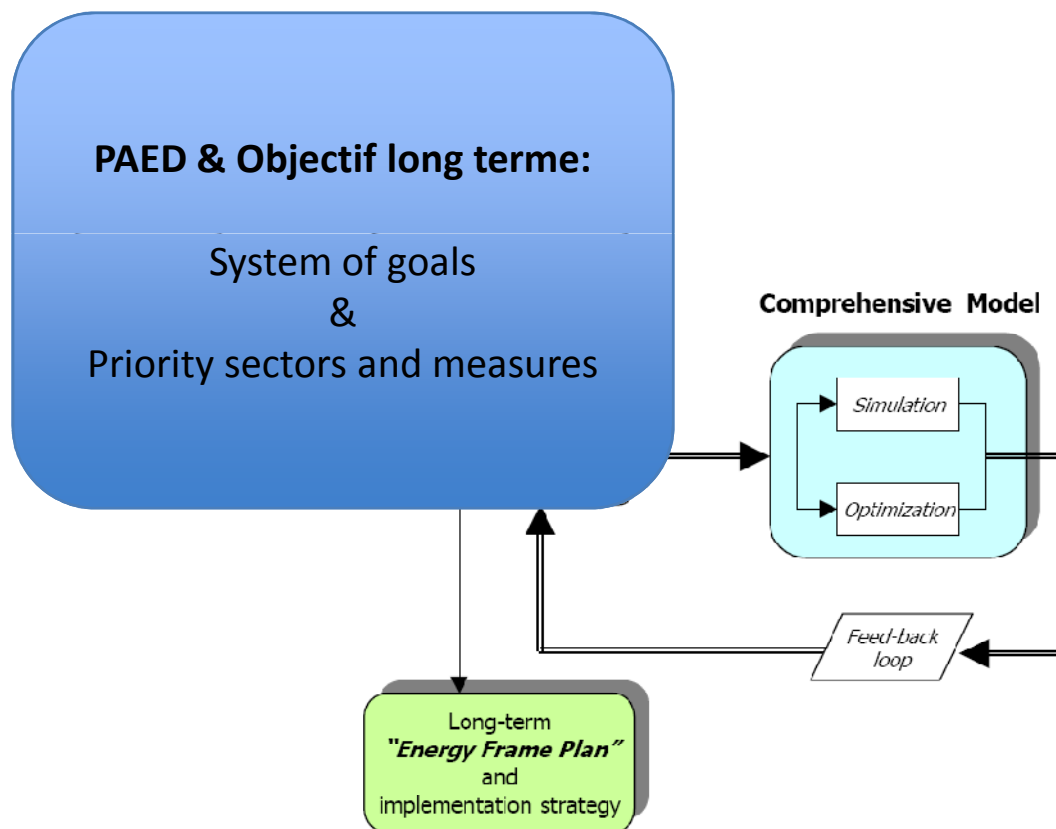
$$\sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price_{ELC,s}(t) \cdot EXP_{ELC,s}(t)$$

- Objectif moyen terme du PAED de Bologne: 20% de réduction des émissions de CO2 en 2020
 - Référence 2005
 - Priorité au bâtiment puis au transport
 - Les industries du périmètre ETS sont exclues
 - Mesures détaillées et coût estimés

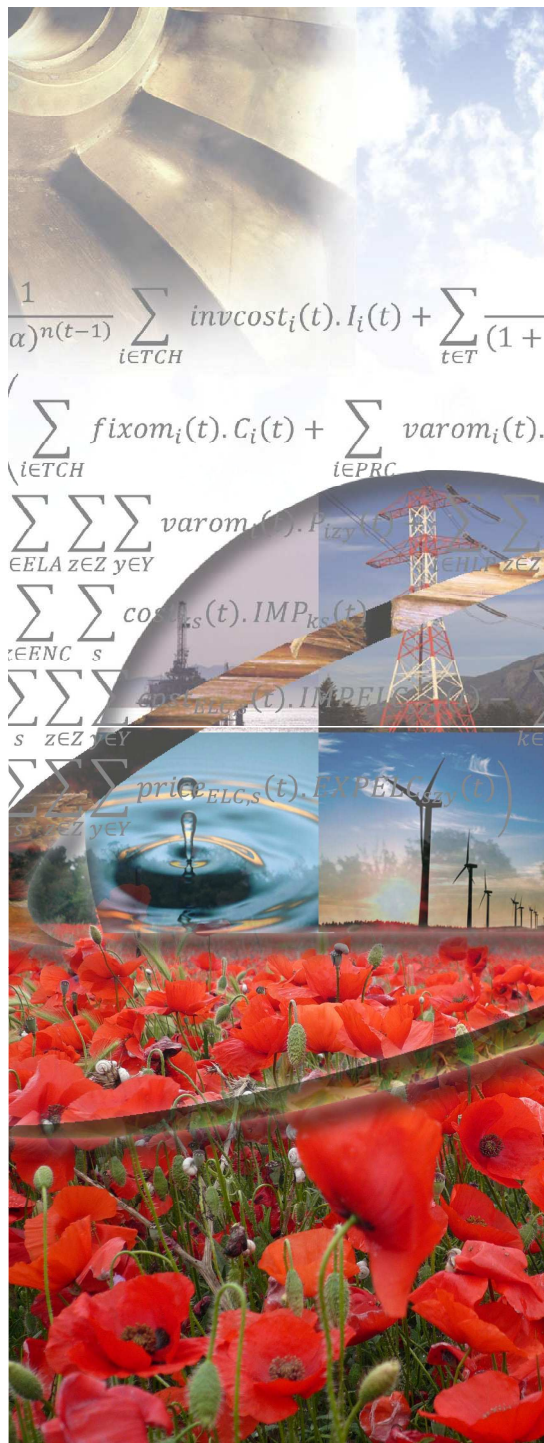
Plus de 80 mesures individuelles	Objectif de réduction (Kt CO2/an)	Pourcentage de l'effort total
Batiments résidentiels	126.671	26.93%
Tertiaire et industrie hors ETS	127.724	27.15%
Production locale d'énergie	11.592	2.46%
Transport et mobilité	96.610	20.54%
Consommation municipale	18.402	3.91%
Mesures déjà initiées	89.365	19.00%
Total	470.365	100.00%

Smart Cities et modèles prospectifs pour l'énergie: approche du projet CitInES

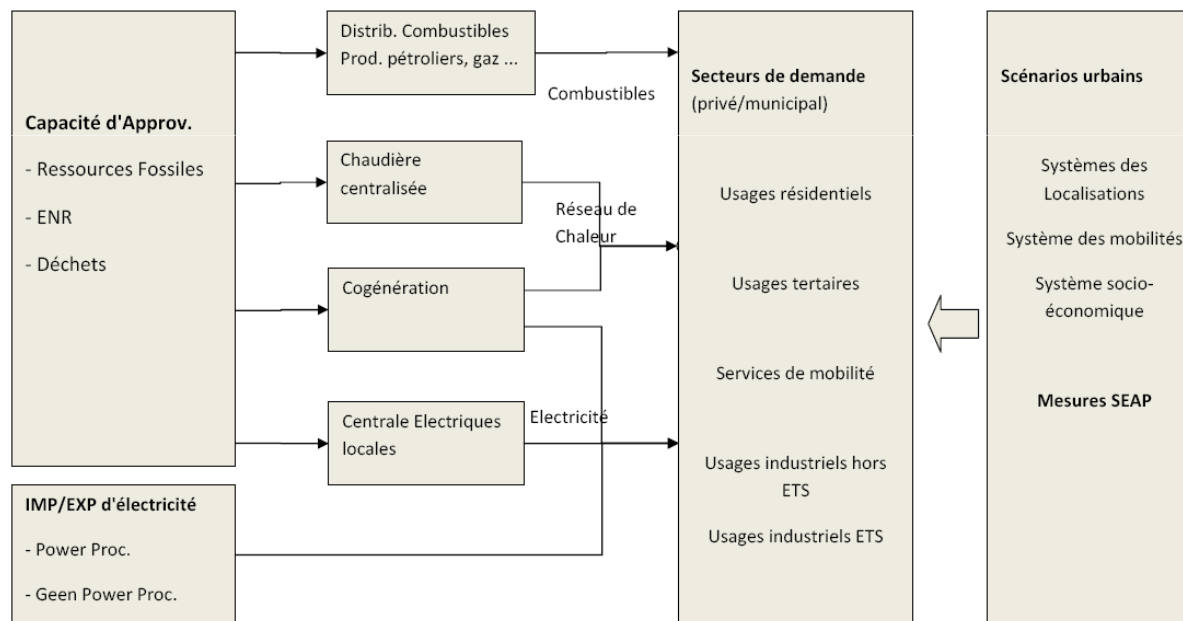
- Articulation PAED / prospective long terme (procédure ALEP)



Smart Cities et modèles prospectifs pour l'énergie: approche du projet CitInES



- Principe de l'approche prospective « Comprehensive Model » : un système énergétique de référence (RES) avec une logique Bottom-Up de type MARKAL/TIMES



Smart Cities et modèles prospectifs pour l'énergie: approche du projet CitInES

$$\frac{1}{\alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} invcost_i(t) \cdot I_i(t) + \sum_{t \in T} \frac{1}{(1 + \alpha)^{n(t-1)}} \left(\sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \cdot C_i(t) + \sum_{i \in PRG} varom_i(t) \cdot P_{i,zy}(t) \right) + \sum_{\epsilon \in LA} \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} varom_i(t) \cdot P_{i,zy}(t) + \sum_{t \in ENC} \sum_{s} cos_{i,s}(t) \cdot IMP_{k,s}(t) + \sum_{s} \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} cos_{i,s}(t) \cdot IMP_{k,s}(t) + \sum_{s} \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price_{ELC,s}(t) \cdot EXP_{ELC,s}(t) + \sum_{s} \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price_{ELC,s}(t) \cdot EXP_{ELC,s}(t)$$

- Principe de l'approche prospective: modèle Bottom-Up
 - Système énergétique de référence aux échelles sub-urbaines (SU-RES)
 - Scénarios long terme locaux ou non (Européens/Nationaux)

