

# — LES VILLES DANS LA TRANSITION POST CARBONE : UN ESSAI D'ARTICULATION ENTRE PROSPECTIVE ET MODÉLISATION

**Eric Vidalenc**, Economiste  
ADEME, Service Economie et  
Prospective

Courriel :  
eric.vidalenc@ademe.fr

**Jacques Theys**,  
Ancien responsable de la Mission  
prospective  
Ministère du Développement durable

**Cédric Allio**, Doctorant  
CIRED (Centre International de  
Recherche sur l'Environnement et le  
développement)

Courriel :  
allio@centre-cired.fr

**Henri Waisman**, Chercheur  
CIRED

Courriel :  
waisman@centre-cired.fr

## RÉSUMÉ

La prospective énergie/climat a historiquement privilégié les approches sectorielles. L'intégration du territoire et de la ville, dans les cadres d'analyse est récente. Le programme « Repenser les villes dans une société post carbone » visait à analyser le rôle des villes dans la transition énergétique via une diversité de moyens (séminaires de mise en débat, atelier de construction de scénarios, recherches thématiques, recherches-actions avec les collectivités locales, modélisation ...). Le présent article vise à décrire plus particulièrement la tentative de dialogue entre la construction de scénarios et la modélisation. Des éléments d'évaluation qualitatifs et quantitatifs sont ainsi apportés aux six scénarios de transition.

## ABSTRACT

Energy and climate foresight and forecast have been developed with sectorial approaches. Territory integration, and cities, in foresight analysis is quite new.

The program "Rethinking cities in a post carbon society" aimed to analyze

the role of cities in terms of energy transition with several tools (seminars, researches, action-researches and workshops).

This paper will describe the attempt of dialogue between the scenarios built and a modeling exercise. Qualitative and quantitative evaluation elements are thus brought to the 6 transition scenarios.

## **MOTS-CLÉS**

Prospective, ville, énergie, scénario, modélisation, post carbone.

## **KEYWORDS**

Prospective, city, energy, scenario, modelization, post carbon.

—

Le changement climatique, que ce soit à l'échelle internationale, avec une division par deux des émissions de GES (Gaz à Effet de Serre) d'ici à 2050, pour éviter de graves risques de déséquilibres et d'irréversibilités, et en France et en Europe une division par quatre, requiert une action volontariste et systémique. Les tensions autour des approvisionnements énergétiques (raréfaction, pic de production, etc...) invitent encore un peu plus à la transition énergétique qui permettra de passer d'un monde où l'énergie fossile représente plus de 80% de l'approvisionnement, à un monde où elle sera devenue minoritaire.

Afin d'apporter des réponses à ces enjeux, la prospective énergie/climat s'est conduite historiquement via des approches sectorielles, avec des outils de modélisation principalement technologiques et économiques. C'est cette modélisation qui a permis, notamment, à travers des exercices « sous contrainte carbone », de traiter à la fois l'enjeu climatique mais aussi celui de la raréfaction des énergies fossiles et de leur renchérissement (Vidalenc et Theys, 2011).

L'intégration du territoire, et plus particulièrement de la ville, dans les cadres d'analyse est plus récente. C'est dans le World Energy Outlook 2008 de l'Agence Internationale de l'Energie où, pour la première fois, se trouve un chapitre dédié aux villes et à leurs responsabilités dans la consommation énergétique et les émissions de GES: 2/3 de l'énergie consommée en 2006, alors que seulement la moitié de la population y réside (IEA, 2008).

Cette intégration récente des territoires ouvre de nouvelles opportunités mais suscite aussi de nouvelles questions. Regardée avec intérêt, parce que proposant de nouvelles pistes d'actions dans un monde énergétique très capitalistique, donc très inerte, il n'en reste pas moins que la ville, par le poids de ses infrastructures et son aspect multidimensionnel et systémique, peut présenter, elle aussi, des inerties considérables. Il existe ainsi de fortes controverses sur l'efficacité et le réalisme d'interventions urbaines massives – par rapport à d'autres actions alternatives a priori plus simples – dans l'industrie ou la construction automobile par exemple. La question urbaine mérite cependant d'être privilégiée dans le cadre de la problématique énergie/climat, et ce pour plusieurs raisons.

À l'échelle mondiale, la moitié de la population est considérée comme urbaine. Les tendances sont à la hausse, et les projections de l'ONU prévoient que 60% de la population sera urbaine en 2030. Les dynamiques sont pourtant très différentes entre Nord et Sud. Ainsi, dans les pays industrialisés, la ville existe déjà largement. Alors que dans les pays émergents, ou en voie de développement, avec la croissance démographique entre autres, c'est l'équivalent d'un « deuxième monde urbain » qui va se dresser d'ici 2050. En France, en 2011, les villes occupent déjà 22 % du territoire et comptent 77,5% de la population (soit

48 millions d'habitants). On peut considérer que la ville de 2050 est donc dès à présent très largement construite. Il n'en reste pas moins qu'à cet horizon près du tiers du parc existant aura été bâti après 2010 et que la plupart des villes auront connu des restructurations ou des réhabilitations importantes.

Le présent article s'attache à décrire, via un exercice réalisé sous l'égide de la Mission Prospective du Ministère du Développement Durable et de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) en France, le dialogue que des prospectivistes, des ingénieurs, des urbanistes, des sociologues et des économistes se sont évertués à créer dans le cadre du programme de prospective « Repenser les villes dans une société post carbone ».

Au-delà de l'élaboration de chemins de transition vers des « villes post carbone », cet échange visait, d'une part, à quantifier, autant que possible, certains des scénarios élaborés, et d'autre part, à tenter de mesurer la contribution attendue des politiques locales, en complément de politiques nationales, à la transition post carbone, la question centrale étant : comment les actions entreprises à différentes échelles territoriales, en l'occurrence régions urbaines et échelle nationale, peuvent se combiner pour aboutir à la plus grande efficacité possible, en termes de réduction des consommations énergétiques et d'émissions GES ?

Au préalable, l'intérêt d'aborder le territoire dans une prospective énergie/climat sera rappelé. Le programme « Repenser les villes dans une société post-carbone » sera présenté dans cette perspective, avant de décrire en détails le processus de constructions des six scénarios élaborés par le groupe de prospective puis leur intégration dans le modèle IMACLIM<sup>1</sup>, développé au Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED). Les résultats, limites et perspectives d'un tel exercice seront enfin présentés.

## — L'INTÉGRATION DU TERRITOIRE DANS LES PROSPECTIVES ÉNERGÉTIQUES ET LE PROGRAMME « REPENSER LES VILLES DANS UNE SOCIÉTÉ POST CARBONE ».

Aborder les questions d'énergie et de climat par la ville ou le territoire peut dégager des leviers de transition par rapport aux approches sectorielles classiques (via les politiques locales, les expérimentations techniques ou sociales, les initiatives citoyennes, la maîtrise du foncier...). Cela explique l'intérêt récent des concepteurs de modèles à dépasser les cadres économiques et technolo-

---

**1** Modèle pour l'étude des trajectoires de développement durable. Voir sur : <http://www.imaclim.centre-cired.fr>

giques habituels pour intégrer la dimension urbaine. La forme et l'organisation de la ville sont considérées comme des paramètres majeurs sur lesquels jouer pour réduire les consommations énergétiques (Grazi et al, 2008).

Pour monter l'enjeu stratégique majeur que représentent ainsi les villes, et plus particulièrement à l'échelle française, un programme de prospective intitulé « Repenser les villes dans une société post carbone » a été initié par la Mission Prospective du Ministère du Développement Durable en 2008 (Theys, 2009). L'ADEME l'a rejoint en 2009.

L'ambition était de travailler sur l'ensemble des liens entre villes et prospective énergétique ou climatique et tout particulièrement sur les trois questions communément regroupées sous le vocable « post carbone » :

- l'indépendance vis-à-vis des énergies fossiles ;
- la réduction drastique des GES ;
- et l'adaptation au changement climatique.

Dans cette perspective, le programme a cherché à articuler des séminaires de mise en débat, des recherches portant sur les leviers d'action, des recherches-actions avec des villes volontaires et un atelier de construction de scénarios. Les séminaires ont notamment permis de présenter l'état d'avancement du programme, et de faire intervenir des experts extérieurs sur des sujets précis (par exemple sur la biomasse, les réseaux de villes bas carbone, la réhabilitation énergétique de l'habitat, etc...). Trois appels à propositions de recherches ont été lancés regroupant deux catégories de travaux. D'une part, des expérimentations, menées en coopération avec des villes très diverses, portant sur la mise en œuvre du Facteur 4 à l'échelle urbaine (généralement des bassins de vie de quelques centaines de milliers d'habitants, dans des contextes urbains variés) ; et d'autre part, des recherches visant à traiter un verrou particulier dans la mise en œuvre de la transition énergétique en milieu urbain. Enfin, un atelier de construction de scénarios fut initié en 2009 et a duré pendant toute la durée du programme, soit jusqu'en 2012.

C'est cet atelier de construction de scénarios et le lien avec une équipe de modélisation qui sera décrit en détails par la suite, tant pour ses résultats sur le fond que sur la méthode adoptée.

## — L'ATELIER DE CONSTRUCTION DE SCÉNARIOS ET LA MODÉLISATION

Pour explorer des chemins de transition possibles vers une société ou vers des villes « post carbone », une démarche de prospective qualitative a été suivie, via la méthode des scénarios. Il ne s'agissait pas de décrire ce que pouvait

être cette ville « post carbone » en 2050, ni d’explorer les conséquences de différentes hypothèses (prospective exploratoire) mais bien de dessiner des chemins possibles permettant aux villes de respecter les objectifs cités précédemment et d’être motrices dans ce changement (prospective normative).

## LA SCÉNARISATION

L’enjeu de cet exercice de prospective qualitative a donc consisté à construire des scénarios étant à la fois : porteurs de visions du futur, contrastés, innovants, attrayants, réalistes et crédibles.

Pendant presque trois ans, l’atelier de constructions de scénarios a réuni des experts sectoriels, participant à certaines recherches du programme ou bien extérieurs. Six scénarios ont été construits au cours des réflexions et débats.

Un scénario n’est pas un simple assemblage de « briques » ou de variables. Chacun se déroule ainsi chronologiquement pour dessiner un chemin vers 2050 et raconter une histoire. Les différentes séquences ou étapes peuvent être modulées d’un scénario à l’autre. Et il se referme sur une brève conclusion qui a vocation à présenter points forts et faiblesses.

Ces scénarios ont été construits autour d’une question centrale : comment les villes peuvent-elles agir en situation d’incertitude, à la fois sur le contexte et sur leurs marges de manœuvre réelle ? Leur différenciation fait intervenir deux sources d’incertitude (tableau 1) : d’une part, le poids du contexte (tendanciel ou en rupture) et d’autre part, la perception des marges de manœuvre ou les leviers disponibles (marges de manœuvre faibles et donc, dépendance par rapport au contexte, possibilité d’action sur les équipements et les infrastructures, capacité, aussi à modifier les formes urbaines, les usages des sols et les modes de vie).

	MARGE DE MANOEUVRE		
	Rôle majeur du contexte (Technologies et signaux prix)	Possibilité d’actions sur les investissements et les infrastructures	Possibilité d’actions sur les formes urbaines et les modes de vie
<b>CONTEXTE</b> Tendanciel	scénario 1 Attentisme intelligent	scénario 3 Nice Nouvelles infrastructures climatiques et énergétiques	scénario 5 La Ville contenue " à portée de main"
<b>CONTEXTE</b> En rupture favorable à l’innovation	scénario 2 Créativité carbone	scénario 4 Biopolis	scénario 6 Urbanité sobre

**Tableau 1** : les six scénarios de transition (source : Jacques Theys et participants à l’atelier de scénarios)

### SCÉNARIOS N°1 (ATTENTISME INTELLIGENT) ET N°2 (CRÉATIVITÉ CARBONE)

Dans ces deux scénarios, les marges de manœuvre pour engager des politiques de rupture à l'échelle des villes sont perçues comme relativement faibles : les collectivités locales, les entreprises et les habitants s'adaptent intelligemment à des incitations, des contraintes ou des opportunités qui sont essentiellement externes.

Le premier scénario (Attentisme intelligent) est relativement tendanciel (*Business as usual*).

Le scénario n°2 (Créativité Carbone) met l'accent sur une réforme de la fiscalité (via la mise en place notamment d'une taxe carbone) qui doit permettre de réduire la demande des énergies fossiles, stimuler la recherche et la mise sur le marché de produits et de services très innovants.

### SCÉNARIOS N°3 (NICE) ET N°4 (BIOPOLIS)

Dans ces deux scénarios, un renouvellement massif des équipements et des infrastructures urbaines et énergétiques est envisagé.

Le scénario n°3 (Nice), proche des ambitions fixées par le Grenelle de l'environnement, conserve une vision très centralisée de la production et de la distribution d'énergie.

Le scénario n°4 (Biopolis) s'engage, au contraire, sur le chemin de la décentralisation énergétique en recourant notamment massivement aux énergies renouvelables et en proposant une nouvelle vision du rapport à la nature et à l'environnement. Mais ces scénarios restent prudents sur la possibilité de changer les modes d'occupation de l'espace ou les modes de vie.

### SCÉNARIOS N°5 (VILLE CONTENUE) ET N°6 (URBANITÉ SOBRE)

Dans ces deux derniers scénarios, la réflexion porte essentiellement sur le mode d'occupation de l'espace, des sols et sur les modes de vie.

Le scénario n°5 (Ville contenue) explore la possibilité d'une ville plus compacte et plus intense construite sur une meilleure maîtrise de la spéculation foncière.

Le dernier scénario, n°6 (Urbanité sobre), imagine de nouvelles manières de consommer et de vivre pour répondre aux enjeux définis plus haut.

Ce travail de construction des scénarios a d'abord été appuyé par *Futuribles* puis *Mana*. Il a reposé sur l'identification de 15 briques ou composantes (tableau 2) avec quatre à cinq options possibles pour chacune d'elles. Les options retenues pour chacune de ces composantes constituent le code de chaque scénario. On distingue les composantes de contexte, les composantes transversales et les composantes thématiques. Le travail de renseignement

(définition et sélection des variantes) a été mené d’abord indépendamment pour chaque dimension puis au travers d’un travail de synthèse collectif.

COMPOSANTE DE CONTEXTE	COMPOSANTE TRANSVERSALE	COMPOSANTE THÉMATIQUE
C1 Régulation Internationale (énergie - climat)	C3 Politiques publiques nationales	C8 Systèmes productifs
C2 Contexte économique national et international	C4 Décentralisation et gouvernance locale	C9 Systèmes énergétiques
	C5 Systèmes urbains (hiérarchie et structuration des villes)	C10 Politiques urbaines et foncières
	C6 Modes de vie et valeurs	C11 Technologies de transport
	C7 Adaptation au changement climatique et au réchauffement	C12 Politiques de mobilité
		C13 Habitat et tertiaire (maîtrise d’oeuvre)
		C14 Politiques de logement
		C15 Politiques sociales et précarité énergétique

**Tableau 2** : Les composantes des scénarios (source : Mana, 6 scénarios de transition vers des villes post carbone, Mars 2012)

Une « thématique centrale » (tableau 3) a ainsi été dégagée pour chaque scénario.

	THÉMATIQUE CENTRALE
Attentisme intelligent	Plan énergie climat territorial
Créativité carbone	Taxe carbone & Mobilité
NICE	Construction & rénovation du parc logement existant
Biopolis	Décentralisation énergétique & biomasse
Ville contenue	Maîtrise de la rente foncière
Urbanité sobre	Modes de vie

**Tableau 3** : Thématique centrale des scénarios (source : Mana, 6 scénarios de transition vers des villes post carbone, Mars 2012).



## LE MODÈLE IMACLIM R

Une fois ce travail effectué pour chaque dimension et chaque scénario, une autre phase de construction des scénarios prospectifs a consisté à tester la cohérence des hypothèses via leur introduction dans un modèle. En l'occurrence, un modèle d'équilibre général permettant de représenter les interrelations entre les différentes dimensions (techniques, économiques, et spatiales donc).

L'objectif de cette dernière phase était de fournir un cadrage de ces différents scénarios en intégrant, dans une approche cohérente, le contexte macro-économique et ses interactions avec les modes de développement urbain. Pour cela, il a été choisi de travailler avec le modèle IMACLIM-R, développé au CIRED, conçu comme un outil de dialogue entre les évolutions macroéconomiques et la description technique ou sectorielle. Il a notamment été utilisé pour analyser les coûts des politiques climatiques à l'échelle globale (Waisman et al, 2012) et les interactions entre mesures climatiques et raréfaction des ressources fossiles (Rozenberg et al, 2010).

Ce dialogue est permis par une description duale de l'économie, à la fois en valeurs monétaires et en quantités physiques (tonnes équivalent pétrole pour l'énergie, passager-km pour le transport, m<sup>2</sup> pour les logements...), qui permet de faire apparaître explicitement les paramètres techniques. Cette double comptabilité permet d'assurer que l'économie projetée repose sur un contenu technique réaliste (notamment respectant le deuxième principe de la thermodynamique) et à l'inverse, que les systèmes techniques sous-jacents correspondent à des incitations économiques et des flux d'investissement réalistes étant donné le système de prix relatifs. C'est en cela que ce modèle est qualifié de modèle hybride, pour sa représentation des réalités physiques et économiques.

Au final, la double comptabilité permet de représenter comment la demande finale et les systèmes techniques sont transformés par les signaux économiques et les politiques publiques, surtout dans des scénarios de bifurcation importante par rapport à un scénario de référence.

Sur cette base, le modèle IMACLIM-R fournit des projections cohérentes des agrégats macroéconomiques et du monde énergétique, par pas de un an sur la période 2004-2050. La structure récursive du modèle repose sur la succession d'un équilibre statique annuel et de modules dynamiques (*figure 1*) :

- Un module d'équilibre statique annuel, dans lequel les équipements, technologies et capacités de production sont fixes pour rendre compte des inerties de court terme, et où la seule flexibilité est le taux d'utilisation des facteurs de production. Cet équilibre fournit un « cliché » de l'économie à

chaque date  $t$  : prix relatifs, production, flux physiques, emploi, salaires, taux de profit et allocation des investissements sectoriels ;

- des modules dynamiques, incluant démographie, accumulation du capital, ainsi que des formes réduites de modèles sectoriels détaillés qui représentent les choix technologiques. Ces formes réduites calculent la réaction des systèmes techniques, sous anticipations imparfaites et fixité des stocks installés. Cette information est renvoyée au module statique sous la forme de nouveaux coefficients techniques pour calculer l'équilibre à la date  $t+1$ .

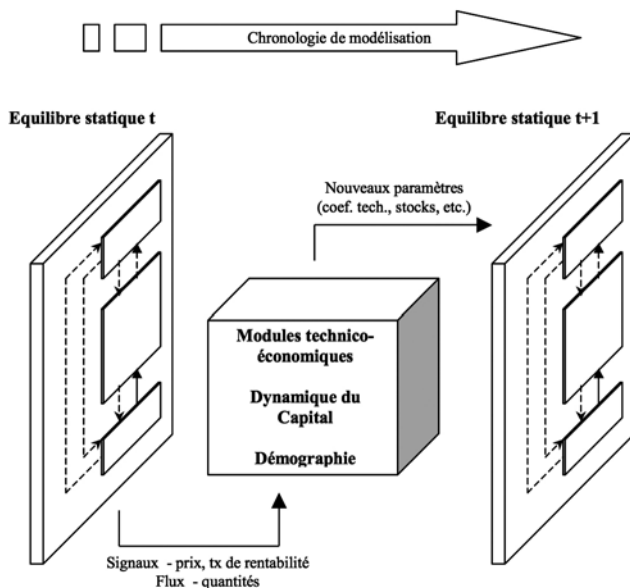


Figure 1 : l'architecture récursive et modulaire d'IMACLIM-R (source : CIREQ)

Dans le modèle IMACLIM-R, les politiques climatiques sont introduites via deux catégories d'instruments :

- les mesures globales prenant la forme d'une tarification du carbone (avec ou sans marchés de quotas) ;
- les mesures sectorielles (normes, promotion de l'efficacité énergétique, pénétration de nouvelles technologies...) qui peuvent être rendues explicites grâce à la représentation détaillée des principaux secteurs responsables des émissions de carbone (bâtiment, transport, électricité, industrie).

## DIALOGUE ENTRE SCÉNARIOS ET MODÉLISATIONS VIA UN MODULE SPATIAL

L'intégration des scénarios d'évolution de la ville post carbone s'est faite via le développement d'un module spatial destiné à être intégré au cœur au cœur de l'architecture IMACLIM-R (Allio et Waisman, 2012). Le module spatial a permis de désagréger l'économie nationale en un réseau de « villes » en interaction via les échanges commerciaux et les migrations de firmes ; ces dernières déterminant la distribution régionale de l'activité économique (Fujita et al, 1999). Les villes sont représentées sous la forme conventionnelle d'espaces mono-centriques, axisymétriques et s'étalant sur un espace à une dimension dont le centre est le lieu de regroupement des firmes autour duquel les ménages/travailleurs se distribuent (Alonso, 1964). Bien que stylisée, cette représentation permet de rendre explicites les spécificités de l'arbitrage entre coût du transport et coût du logement qui déterminent l'organisation spatiale locale. En effet, chaque « ville » est définie par les valeurs de ses principaux déterminants socio-économiques (population, production, productivité du travail, salaire, infrastructures de transport, prix du foncier et des logements) dont les valeurs sont calibrées sur des données empiriques. Douze aires, appelées aires métropolitaines, sont représentées : Paris, Lyon, Marseille, Lille, Toulouse, Bordeaux, Nice, Nantes, Strasbourg, Rennes, Grenoble et Montpellier. Elles se distinguent par leur rôle particulier joué dans la structuration du territoire et caractérisent le rayonnement économique des espaces urbains. Elles accueillent chacune plus de 500 000 habitants et 20 000 cadres des fonctions métropolitaines liées à la conception/recherche, aux prestations intellectuelles, à la gestion, mais aussi aux éléments de rayonnement international comme le commerce inter-entreprises ou la culture et les loisirs. Elles concentrent 42% du PIB de la France.

Le dialogue entre le module spatial et l'équilibre général est assuré via un échange constant d'informations. D'une part, chaque année, IMACLIM-R calcule un équilibre macroéconomique qui est ensuite désagrégé par le modèle spatial de sorte à désagréger l'économie nationale en un ensemble de multiples « villes » en interaction. L'équilibre sur le marché de l'immobilier, sur le marché des biens et services et sur le marché du travail au niveau de chaque ville est contraint par l'équilibre macro-économique calculé par IMACLIM-R. IMACLIM-R fixe la population, le nombre de travailleurs, le capital, la production totale, ainsi que le prix moyen, le salaire moyen et la productivité moyenne du secteur des biens composites et de l'ensemble des autres secteurs hors biens composites. Ces variables imposent la cohérence entre le modèle spatial et IMACLIM-R. D'autre part, la désagrégation en plusieurs équilibres urbains permet de suivre les dynamiques locales et notamment leurs effets en retour

sur les dynamiques macroéconomiques au travers des besoins élémentaires de transport (trajet domicile-travail contraint par la localisation du ménage), des besoins d'investissements urbains, des capacités de transport et de la productivité du travail influencée par les effets d'agglomération.

La prise en compte des inerties sur les systèmes urbains joue donc un rôle important dans le modèle. Deux types d'inerties sont considérés : les inerties sur le mouvement des firmes et celles sur la construction de nouvelles infrastructures urbaines. Le niveau réalisé d'investissement est calculé par l'équilibre macroéconomique, ce qui se répercute sur la structure urbaine via les prix.

Etant donnée la structure de modélisation reposant sur l'articulation du modèle IMACLIM-R et du module spatial, certaines hypothèses ont pu être construites à l'aide des travaux réalisés sur les différentes dimensions des scénarios, autour des deux déterminants principaux :

- ceux du monde macro-énergétique dans lequel l'économie se développe. Ces déterminants incluent : la disponibilité des ressources fossiles (notamment du pétrole), le prix du carbone, la nature des carburants alternatifs au pétrole (biocarburants, charbon liquéfié), la nature du changement technologique (disponibilité de technologies bas-carbone, rapidité et orientation du progrès technique) et les styles de développement.
- ceux des dynamiques urbaines. Parmi ces déterminants, on trouve notamment les politiques publiques envisagées au niveau local, adoptées pour modifier les comportements des agents et réorienter leurs choix de localisation.

## RÉSULTATS QUANTITATIFS

Les scénarios 1 et 2 privilégient la piste de l'innovation technique, en réponse à des signaux-prix. Le scénario 1 conduit, dans une seconde phase, à une modification des comportements des agents suite à une augmentation brutale du prix du pétrole. Mais cette modification tardive des comportements ne permet pas une réponse de grande ampleur, et les émissions ne diminuent que de 35% entre 2004 et 2050, loin du facteur 4 que la France s'est fixé en 2003. Le scénario 2 apparaît un peu plus optimiste. Suite à une forte hausse du prix du pétrole ou à des mesures fiscales, avec notamment l'instauration d'une taxe carbone, des technologies plus sobres en énergies fossiles et moins émettrices voient le jour et pénètrent petit à petit le marché. Mais cette « créativité carbone » ne permet pas, non plus, de réduire de manière substantielle les émissions. Les changements des modes de consommation restent limités, et les actions prises par l'Etat ou les collectivités locales sont insuffisantes. La nécessité d'importer des nouvelles technologies et les effets sociaux des taxes sont des freins supplémentaires...

Les scénarios 3 et 4 scénarios, caractérisés par des investissements massifs dans les infrastructures, respectivement au niveau de l'Etat central ou au niveau des collectivités territoriales, montrent qu'un investissement important dans les infrastructures peut amener à une diminution importante des émissions de gaz à effet de serre, en privilégiant les modes de déplacement collectifs ou « propres » et les technologies sobres et alternatives dans l'habitat. Le scénario 3 montre une baisse des émissions de l'ordre de 50% entre 2004 et 2050, tandis que le scénario 4 arrive quant à lui une baisse des émissions de 60%.

Enfin, les scénarios 5 et 6, qui supposent des ruptures fortes dans les politiques locales et les comportements nous rapprochent des objectifs de division par quatre des émissions nationales de CO<sub>2</sub>. Ils se caractérisent par la volonté d'aborder la question de la ville post carbone à toutes les échelles et d'utiliser toutes les opportunités pour le faire : évolution des valeurs, transformation de la fiscalité locale, renouvellement de la planification, initiatives décentralisées... Ces scénarios, qui peuvent paraître les plus désirables, nécessiteraient toutefois des réflexions complémentaires pour en définir les conditions et les limites.

Les résultats obtenus pour les six scénarios illustrent la nécessité d'agir rapidement, pour faire face à l'inertie des systèmes urbains. Agir le plus rapidement possible permettra une réduction plus importante des émissions d'ici 2050, et une croissance plus élevée en moyenne sur les 40 prochaines années comme l'indique les scénarios 1 et 2. La mise en place d'une taxe carbone plus rapide dans le cas du scénario 2 par rapport au scénario 1 permet une diminution des émissions supérieure de près de 20 points. De plus, le taux de croissance dans le scénario 2 est au-dessus du scénario de 0.05 points.

Cependant, le tempo de l'action publique n'est pas la seule variable importante. Agir sur les seuls signaux-prix ne permet pas d'atteindre l'objectif de réduction des émissions d'un facteur 4 en 2050 par rapport à 1990. Les actions sur le prix du carbone doivent être accompagnées de mesures sur les infrastructures (logement, transport, production d'énergie) comme dans le scénario 3, mais aussi de normes qui agissent sur les formes urbaines (péages urbains, densification), comme dans le scénario 5.

## — POUR UNE MEILLEURE ARTICULATION ENTRE POLITIQUES NATIONALES ET POLITIQUES LOCALES

Les politiques climatiques habituellement envisagées dans le cadre d'une transition post-carbone s'appuient souvent sur des mesures macroéconomiques dont l'objectif est de fixer un prix au carbone (taxe carbone, permis

d'émissions négociables) et de développer de nouvelles technologies (normes, subventions). Ces politiques permettent des réductions importantes de gaz à effet de serre, mais n'atteignent pas le facteur 4 attendu. En ordre de grandeur, un facteur 2 est généralement observé. L'inefficacité de ces politiques est particulièrement marquante dans le secteur des transports. Et si de nombreuses avancées technologiques sont considérées, notamment avec la mise au point de moteurs plus efficaces, l'apparition de carburants plus propres ou encore les véhicules électriques, le parc de véhicules reste majoritairement thermique. Et la demande de transport ne cesse de croître, malgré une hausse considérable du prix du baril de pétrole.

De nouvelles politiques climatiques doivent donc être considérées. Agir sur l'organisation spatiale de l'économie notamment, à travers des mesures territoriales, apparaît être une solution. Dans le domaine des transports, la demande est essentiellement contrainte par le choix de localisation des entreprises et des ménages (tant pour les transports de personnes que de marchandises). Investir dans des infrastructures de transports en commun ou dans la construction de nouveaux logements au bon endroit est essentiel pour modifier les choix de localisations des entreprises et des ménages. Ces politiques locales apparaissent être de très bons compléments aux politiques globales habituellement mises en place et permettent des réductions de GES supplémentaires conséquentes. Mais elles ne suffisent pas. Pour atteindre un facteur 4, une modification des modes de vie (difficile à traduire dans un modèle type Modèle d'Equilibre Général Calculable) sera nécessaire, en particulier dans le secteur des transports où la voiture personnelle représente davantage qu'un simple moyen de déplacement. Mais surtout une telle évolution sera le moyen le plus rapide d'acquiescer de la résilience face au risque d'une pénurie, une rupture d'approvisionnement énergétique, impossible à écarter.

Au-delà de ces résultats issus de l'évaluation des scénarios, les conclusions à en tirer pour le dialogue entre prospective qualitative et quantitative, et notamment la modélisation, sont multiples. Exercices apparaissant comme souvent antagonistes, (car passer des scénarios qualitatifs à la modélisation peut paraître frustrant, voire simplificateur, réducteur...), la prospective et la modélisation peuvent être complémentaires et s'enrichir.

Ainsi, la modélisation ne permet pas seulement de donner des ordres de grandeur sur les réductions d'émissions attendues entre les scénarios mais de respecter une cohérence d'ensemble, de voir apparaître des convergences entre actions et mesures, mais d'observer aussi des résultats contre-intuitifs. En complément, la prospective qualitative, via la méthode des scénarios notamment, permet d'ouvrir le champ des possibles, d'envisager des ruptures -

à expliciter et documenter - et de faire évoluer le cadre conceptuel, forcément rigide et conservateur, de la modélisation.

Et c'est en cela que ce dialogue est utile, à la fois pour la cohérence globale qu'il implique, entre économie, technologie et organisations urbaines, et pour les réponses inattendues, nouvelles et surtout les questions qu'il permet de faire apparaître.

*L'ensemble des participants à l'atelier de prospective sont ici remerciés.<sup>2</sup>*

## — BIBLIOGRAPHIE

Allio, C., Waisman, H. (2012). *Prospective quantitative des dynamiques urbaines : Enjeux, obstacles et leviers de la ville « post-carbone »*. [Rapport de recherches du Programme Repenser les villes dans une société post carbone]. Paris : CIRED.

Alonso, W. (1964). *Location and Land Use*. Cambridge MA: Harvard University Press.

Combet, E., Ghersi, F., Hourcade, J.C., Thubin, C. (2009). *Economie d'une fiscalité carbone en France. Eléments d'un débat nécessaire* [rapport]. Paris : CIRED.

European Environment Agency (2007). *Transport and Environment: on the way to a new common transport policy* [EEA report No 1/2007]. Copenhagen: European Environment Agency,

Fujita, M., Krugman, P.R., Venables, A.J. (1999). *The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade*. Cambridge MA : MIT Press.

Chevrier, S. (2012). 6 scénarios de transition vers des villes post carbone [Rapport de recherches du Programme Repenser les villes dans une société post carbone]. Paris: MANA.

---

**2** Geneviève Ancel (Grand Lyon), Mathieu Baisez (GDF SUEZ), Jean Marie Beauvais (Consultant), Louis Boulianne (EPFL), Dominique Bureau (Ministère du développement durable), Jean Carassus (Consultant), Olivier Coutard (Ecole Nationale des Ponts et Chaussées), Jean-Jacques Chevalier (Université du Maine), Hervé Delas (GDF SUEZ), Michelle Dobré (Université de Caen), Julien Dossier (Quattrolibri), Yves Geffrin (Ministère du développement durable), Pascal Girault (EIFER), Michel Julien (Ministère du développement durable), Lydie Laigle (CSTB), Benoit Lefevre, François Menard (PUCA- Ministère du développement durable), Michel Mousel (Association 4D), Sevrin Poutrel (ICE Consulting), Michel Ladet (Socio-vision), Gérard Magnin (Energy cities), Gabriel Plassat (ADEME), Claude Roy (Ministère de l'agriculture), Jonathan Rutherford (Ecole Nationale des Ponts et Chaussées), Taoufik Souami (Paris VIII), Didier Taverme (Agence d'urbanisme région mülhousienne), Jean-Pierre Traisnel (Paris VIII), Dominique Theile (Consultant), Henri-David Waisman (CIRED), Marc Wiel (Consultant).

Clanché, F., Rascol, O. (2011). Le découpage en unités urbaines de 2010. *Insee Première* (1364).

Grazi, F., van den Bergh, J.-C.-J.-M., Van Ommeren, J.-N. (2008). An Empirical Analysis of Urban Form, Transport and Global Warming. *The Energy Journal*, 29 (4), 97-122.

Heinberg, R. (2009). *Blackout: Coal, Climate and the Last Energy Crisis*. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers

International Energy Agency (2008). *World Energy Outlook 2008*. Paris: OCDE/AIE.

International Energy Agency (2010). *Key World Energy Statistics*. Paris: OCDE/AIE.

Kenworthy, J. (2007). Urban Planning and Transport Paradigm Shifts for Cities of the Post-petroleum Age. *Journal of Urban Technology*, 14 (2), 1-24.

Mana (2012). *Six scénarios de transition Vers des villes post carbone* [Rapport final de l'atelier Repenser les villes dans une société post carbone].

Rozenberg, J., Hallegatte, S., Vogt-Schilb, A. Sassi, O., Guivarch, C., Waisman, H., Hourcade, J.C (2010). *Climate policies as hedge against the uncertainty on future oil supply*, *Climatic Change*, 101(3). doi: 10.1007/s10584-010-9868-8

Theys, J. (2009a). Scénario pour une ville post carbone. *Constructif* (23)

Theys J (2009b). Les villes, au cœur de la transition vers des sociétés post-carbone. *Horizons 2030-2050* (2). Mission prospective, Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, du Logement et des Transports.

Vidalenc E, Theys J (2011). Le territoire, un levier complémentaire pour l'atteinte du facteur 4. *Développement Durable et Territoires*, 2 (1).

Waisman, H., Guivarch, C., Grazi, F., & Hourcade, J.-C (2012). The Imaclim-R model: infrastructures, technical inertia and the costs of low carbon futures under imperfect foresight. *Climatic Change*, 114(1), 101-120.