

# Études de cas : l'évaluation économique d'enjeux environnementaux en situation

Pour illustrer l'état de l'évaluation économique au regard des enjeux environnementaux, nous avons retenu plusieurs exemples. Parmi les situations concernant des enjeux locaux bien ciblés, les zones humides représentent des ressources locales longtemps mal connues, mais que la connaissance scientifique permet d'éclaircir puis d'évaluer.

D'une autre complexité est le cas de l'urbanisation et de l'évaluation des coûts engendrés par différentes formes urbaines, notamment l'extension périphérique en tissu peu dense ; déjà, la comptabilité identifiée par les communes comme «environnementale» recouvre, lorsqu'elle existe, les secteurs traditionnels que sont l'eau et l'assainissement, le nettoyage et les déchets, les espaces verts. Il n'existe pas encore, par

exemple, de comptabilité énergétique, et la loi sur l'air n'a que récemment introduit l'idée d'associer les dépenses économiques et environnementales de transport aux choix urbains. Compte tenu de la complexité du sujet, nous nous sommes limités pour le bâti à faire le point sur les caractéristiques connues pour les choix de bâtiments (essentiellement énergétiques) et d'urbanisation (surtout tirés par le fonctionnement des marchés et l'entrecroisement des compétences des acteurs).

Pour ce qui concerne les transports urbains, les travaux français les plus récents mettent en évidence des relations fortes entre mode de transport, quantité de transport et densité ; nous attirons donc l'attention sur les crises possibles, dans l'hypothèse où se perpétueraient les tendances actuelles à un étalement urbain mal contrôlé, notamment par un choix trop restreint des critères d'évaluation.

Nous avons ensuite donné une place importante à l'analyse des méthodes actuelles d'évaluation des impacts sur la santé de la pollution atmosphérique, puis aux difficultés que soulèvent des questions planétaires de long terme comme les changements climatiques.

---

## **Valeurs des zones humides**

Dans le cas des zones humides, il existe un accord sur les fonctions qu'elles remplissent et certaines monétarisations ont été tentées. Un travail important de description sous forme de fiches techniques (*Entre terre et eau. Agir pour les zones humides.*, dossier d'information, 1997) a été effectué par de nombreux partenaires, sous le pilotage du ministère de l'Environnement. Nous en reproduisons ici de larges extraits [147].

Les ressources naturelles liées aux zones humides conditionnent l'exercice d'activités économiques du secteur primaire (agriculture, élevage, production et distribution d'eau...), secondaire (consommation d'eau dans l'industrie), ou tertiaire centré sur les loisirs, le plein air ou la consommation d'eau potable. Une monétarisation de la perte de bénéfices consécutive à la destruction des zones humides n'est pas facile en raison des nombreuses fonctions de ces dernières, qui se révèlent en outre largement collectives et indivisibles. C'est pourquoi nous commencerons par décrire brièvement ces multiples fonctions. Quelques indicateurs financiers pourront ensuite faire prendre conscience des enjeux socio-économiques qui s'y rapportent.

## **À quoi servent les zones humides ?**

Trop souvent, le rôle multifonctionnel et l'interdépendance des zones humides ont été constatés et compris après leur destruction. Les

problèmes socio-économiques et écologiques provoqués par la disparition ou la dégradation de ces milieux vont de l'amplification catastrophique des crues à l'érosion accélérée du littoral ou des berges, en passant par l'altération de la qualité de l'eau.

La démonstration de l'intérêt écologique, économique et sociologique de la conservation des zones humides conduit maintenant à leur conférer un statut d'infrastructure naturelle pour tenter de faire reconnaître le double bénéfique fonctionnel et patrimonial qu'elles nous fournissent. Il est alors possible de distinguer :

- les *fonctions remplies* par ces milieux, déduites directement de leurs caractéristiques et de leur fonctionnement écologiques ;
- les *valeurs ou services rendus*, estimés par les avantages économiques et culturels (exploitation des ressources agricoles, halieutiques, cynégétiques, régulation des régimes hydrologiques et de la qualité de l'eau, loisirs...) retirés par les populations locales et plus largement par la société.

## Les fonctions écologiques

### Les fonctions hydrologiques

Les zones humides contribuent au *maintien et à l'amélioration de la qualité de l'eau* en agissant comme un *filtre épurateur* :

- *filtre physique*, car elles favorisent les dépôts de sédiments y compris le piégeage d'éléments toxiques tels que les métaux lourds, la rétention des matières en suspension, etc. ;
- *filtre biologique*, car elles sont aussi le siège privilégié de dégradations biochimiques (grâce notamment aux bactéries), de désinfection par destruction des gènes pathogènes grâce aux UV, d'absorption et de stockage par les végétaux de substances indésirables ou polluantes telles que les nitrates (dénitrification) et les phosphates à l'origine de l'eutrophisation des milieux aquatiques, de certains pesticides et métaux, etc.

Elles ont aussi un rôle déterminant dans la *régulation des régimes hydrologiques*. Le comportement des zones humides à l'échelle d'un bassin versant peut être assimilé à celui d'une éponge. Lorsqu'elles ne sont pas saturées en eau, les zones humides retardent globalement le ruissellement des eaux de pluies et le transfert immédiat des eaux superficielles vers les fleuves et les rivières situés en aval. Elles « absorbent » momentanément l'excès d'eau puis le restituent progressivement lors des périodes de sécheresse. Ce faisant, elles diminuent l'intensité des crues et soutiennent les débits des cours d'eau en période d'étiage (basses eaux). Certaines d'entre elles participent à l'alimentation en eau des nappes phréatiques superficielles.

### Les fonctions biologiques

Les zones humides constituent *un réservoir de biodiversité* ou diversité biologique. Cette caractéristique, mise en avant de longue date par les protecteurs de la nature, résulte de la variabilité des conditions hydriques propre à ces milieux. Ainsi, en France, 30 % des espèces végétales remarquables et menacées vivent dans les zones humides ;

environ 50 % des espèces d'oiseaux dépendent de ces zones et les deux tiers des poissons consommés s'y reproduisent ou s'y développent.

Les zones humides assument dans leur globalité les différentes fonctions essentielles à la vie des organismes qui y sont inféodés :

- *fonction d'alimentation* : découlant de la richesse et de la concentration en éléments nutritifs observées dans ces zones, les marais assurent ainsi une mise à disposition de ressources alimentaires pour de nombreuses espèces animales localement et à distance par exportation de matière organique ;
- *fonction de reproduction* : la présence de ressources alimentaires variées et la diversité des habitats constituent des éléments essentiels conditionnant la reproduction des organismes vivants ;
- *fonction d'abri, de refuge et de repos* notamment pour les poissons et les oiseaux.

Ces fonctions biologiques confèrent aux zones humides une extraordinaire capacité à produire de la matière vivante ; elles se caractérisent ainsi par une *productivité biologique nettement plus élevée que dans les autres milieux*.

### **Les fonctions climatiques**

Les zones humides participent aussi à la *régulation des microclimats*. Les précipitations et la température atmosphérique peuvent être influencées localement par les phénomènes d'évaporation intense d'eau au travers des terrains et de la végétation (évapotranspiration) qui caractérisent les zones humides. Elles peuvent ainsi tamponner les effets des sécheresses au bénéfice de certaines activités agricoles.

## **Les valeurs ou services rendus**

La présence de zones humides en bon état de fonctionnement écologique assure aux populations locales un certain nombre de bénéfices par l'exploitation de diverses ressources produites ou entretenues sur ces territoires et par des usages en relation avec leurs valeurs. Ainsi, le concept d'utilisation rationnelle des zones humides a été développé dans le cadre de la convention de Ramsar dans le but de faire comprendre l'utilité de conserver ces milieux au profit du plus grand nombre.

### **La ressource en eau**

Les zones humides constituent avant tout un des éléments importants de la *gestion qualitative et quantitative de la ressource en eau* sur le moyen terme grâce à leurs fonctions hydrologiques. À ce titre, elles remplissent un rôle socio-économique indéniable en participant à l'alimentation en eau potable pour la consommation humaine et aux besoins liés aux activités agricoles et industrielles.

### **La prévention des risques naturels**

Les fonctions hydrologiques contribuent également à la prévention contre les inondations. Ainsi, en période de crue, *les zones humides des plaines inondables jouent le rôle de réservoir naturel*. Il a

été estimé que le maintien d'une zone d'expansion des crues, en bordure d'une rivière (*Charles River*), au nord-est des États-Unis, représentait au début des années soixante-dix une économie de 17 millions de dollars chaque année compte tenu des dommages qui seraient occasionnés si cette zone n'avait pas été maintenue (voir plus loin).

Inversement, le rôle de réservoir et l'influence des zones humides sur le microclimat permettent de limiter l'intensité des effets de sécheresses prononcées (soutien des débits d'étiage, augmentation de l'humidité atmosphérique).

Elles jouent enfin un rôle dans la *stabilisation et la protection des sols*. Ainsi, la végétation des zones humides adaptée à ce type de milieu fixe les berges, les rivages et participe ainsi à la protection des terres contre l'érosion.

### **La production de ressources biologiques**

La *forte productivité biologique* qui caractérise les zones humides est à l'origine d'une importante *production agricole* (herbage, pâturage, élevage, rizières, cressonnières, exploitation forestière, roseaux...), *piscicole* (pêches, piscicultures), *conchylicole* (moules, huîtres...), dont les répercussions financières, difficiles à chiffrer précisément se révèlent néanmoins considérables. À titre d'exemple, la production annuelle (1993) d'huîtres creuses en France est d'environ 140 000 tonnes et génère un chiffre d'affaire d'environ 1,5 milliard de francs.

### **Les valeurs culturelles et touristiques**

Les zones humides font partie du *patrimoine paysager et culturel*. Elles forment en quelque sorte la vitrine d'une région et contribuent à l'image de marque de celle-ci. Pourrait-on imaginer le Mont-Saint-Michel sans sa baie aux vasières ourlées de prés-salés, la Camargue sans ses sansouires parcourues par les manades et ses étangs fréquentés par les flamants roses, la Brière sans ses roselières enserrées par le labyrinthe des canaux, la Brenne et la Dombes sans leurs étangs bordés de prairies humides et îlots boisés, Guérande sans sa mosaïque de marais salants... ?

Elles sont aussi le *support d'activités touristiques ou récréatives* socialement et économiquement importantes. Les zones humides constituent aujourd'hui un pôle d'attraction important recherché en particulier par les citadins. Ainsi, la frange littorale atlantique ou méditerranéenne, les pays de lacs et d'étangs attirent une foule de touristes avides d'activités nautiques. À côté de cette fréquentation de masse, un tourisme plus respectueux de l'environnement se développe dans ces espaces naturels. Certains visiteurs viennent ainsi profiter de la beauté des paysages et de la quiétude des lieux ; d'autres y pratiquent des activités de chasse, de pêche, d'observation de la nature, de randonnées...

## Les valeurs éducatives, scientifiques et patrimoniales

L'exubérance des manifestations biologiques des zones humides constitue un excellent *support pédagogique* pour faire prendre conscience de la diversité, de la dynamique et du fonctionnement des écosystèmes. Les opérations de sensibilisation et d'information sont essentielles pour la prise de conscience des enjeux économiques et écologiques de ces milieux.

D'un point de vue scientifique, il reste encore bien des aspects fonctionnels à élucider. Une *meilleure compréhension* des processus naturels façonnant les zones humides apparaît indispensable pour une gestion à long terme de ces milieux dans le cadre d'un développement durable.

Enfin, l'ensemble de ces propriétés attribuée aux zones humides a une valeur patrimoniale reconnue à l'échelle mondiale dans le cadre de la convention de Ramsar.

## Des fonctions écologiques et des valeurs économiques intimement liées

En conclusion, il apparaît que les fonctions écologiques et les valeurs économiques des zones humides sont intimement liées : que l'on touche à l'une des composantes, et c'est le rôle de l'ensemble qui risque d'être perturbé. De ce fait, leur gestion doit être conçue de manière intégrée dans le cadre de projets de développement durable et d'aménagement raisonné. La désignation de sites Ramsar et la mise en œuvre des schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) par unité hydrographique cohérente participent de cette prise en compte du rôle d'infrastructure naturelle joué par les zones humides.

## **Les valeurs économiques des zones humides**

### La valeur marchande des services rendus par les zones humides

Le premier moyen de concrétiser ces valeurs consiste à chiffrer les infrastructures artificielles, les ouvrages du génie civil (barrages, réservoirs, endiguements, enrochements, stations d'épuration, bassins de décantation, passes à poisson...) construits pour contrecarrer les effets néfastes de la destruction ou de la dégradation des zones humides. Un second moyen est de chiffrer les interventions de gestion (désenvasement et dragage, travaux d'entretien des réseaux hydrographiques et canaux, alevinage et lâcher de gibier, programme de restauration) nécessaires pour assurer la pérennité de certains usages.

### **Fonction de « régulation des crues, soutien des débits d'étiage »**

Après les inondations de 1995 aux Pays-Bas et en France, le *coût des dommages* subis dans le nord de l'Europe a été évalué à près de 21 milliards de francs par le *Lloyd's List*, quotidien britannique spécialisé en assurance. Cette catastrophe s'ajoute à une longue liste d'événements similaires qui se sont produits en France ces dix dernières années, dont l'origine est liée à la fois aux changements d'occupation des sols et à la destruction des zones humides tampons en tête de bassin versant (Camarague, Redon, Charleville-Mézières, Nîmes...).

La zone inondable de la Bassée entre Nogent-sur-Seine et Bray-sur-Seine apporte naturellement un service en tant que zone d'expansion des crues de la Seine en amont de Paris. Pour remplacer cette infrastructure naturelle par un barrage d'écrêtement des crues, il faudrait déboursier entre 650 millions et 2 milliards de francs.

Dans la moyenne vallée de l'Oise, les zones humides contribuent au soutien naturel de l'étiage. Dans l'hypothèse d'une artificialisation de ce soutien par la réalisation d'un barrage, le volume de stockage à réaliser pour se substituer aux zones humides pour cette seule fonction de soutien représenterait une part non négligeable de l'investissement total, estimée entre 120 et 230 millions de francs.

### **Fonction de préservation de la qualité des eaux**

D'après le ministère de l'Environnement, les *dommages annuels liés à la pollution de l'eau* (surcoût du traitement, perte de production, coûts de santé...) sont estimés à 20 milliards de francs, soit 0,3 % du PIB. Sur le littoral, les lagunes ont un rôle important vis-à-vis de la salubrité des eaux marines.

Le *coût de substitution* peut renseigner sur la valeur du service rendu. Connaissant les capacités d'épuration d'un marais et le coût de leur remplacement par une station de traitement des eaux, le service rendu par une zone humide de Louisiane (États-Unis) a ainsi été évalué à environ 8 000 francs par hectare et par an.

En France, la nappe d'eau située sous les zones humides de la vallée de la Saône représente 57,5 millions de mètres cubes pour l'alimentation en eau potable. Le retournement des prairies humides, puis leur mise en culture intensive (maïs) ont progressé à proximité de nombreux champs captants, ceci risquant de rendre obligatoire une intervention lourde de traitement de l'eau potable en raison de la pollution de la nappe. Le coût des équipements d'épuration qui seraient nécessaires pour traiter cette ressource en eau a été évalué entre 30 et 72 millions de francs par an (traitement de l'azote et des pesticides).

## La valeur marchande des productions issues des zones humides

La pêche en eau douce est pratiquée par 1,7 million d'amateurs et 1 400 professionnels qui acquittent des taxes. Elle représente un poids économique de plusieurs milliards de francs ; cette activité est gravement confrontée à l'appauvrissement de la qualité écologique des cours d'eau. À ces chiffres doivent s'ajouter ceux de la location des étangs pour la pêche de loisirs.

En 1986, on estimait que les zones humides des États-Unis d'Amérique contribuaient à hauteur de 10 milliards de dollars (plus de 50 milliards de francs) aux ressources globales de la pêche commerciale.

De plus, 60 à 90 % des poissons et fruits de mer ayant une valeur commerciale dépendent des marais et des estuaires côtiers pour au moins une partie de leur cycle de vie. Cette donnée est à mettre en relation avec le chiffre d'affaires de la pêche dans l'estuaire de la Gironde par exemple, estimé par le Cemagref à 87 millions de francs pour l'année 1981.

Une activité parfois lucrative dans certaines zones humides est la chasse : ainsi, elle représente en Camargue près de 35 millions de francs et 74 emplois. Sans faire de cette ressource une règle générale pour les zones humides, elle peut se révéler pertinente dans certains contextes et certaines conditions (notamment la durabilité de l'écosystème).

D'autre part, une activité traditionnelle telle que la production des roseaux peut encore être mentionnée. Ainsi, en Camargue, la vente des roseaux assure un revenu annuel d'environ 2 000 francs par hectare.

La valeur marchande de la production peut être menacée par l'altération des zones humides. Ainsi, l'eutrophisation des lagunes côtières du Languedoc-Roussillon, liée aux pollutions agricoles et urbaines, entraîne une mortalité importante des coquillages et des poissons durant les étés chauds. En 1987, la destruction de l'ostréiculture locale par ce processus a ainsi causé une perte d'environ 35 millions de francs.

En outre, à l'étang de Leucate (Languedoc-Roussillon), un développement touristique sur le cordon littoral a nécessité, pour une marina, l'élargissement de l'ouverture sur la mer. Le fonctionnement écologique de la lagune a été profondément modifié par l'entrée d'eau de mer, sa salinité ayant brusquement augmenté. En conséquence, le nombre de pêcheurs a chuté de 117 à 47 après l'effondrement des rendements de pêche de 40 à 10 kilogrammes de poisson par hectare et par an.

## La richesse écologique des zones humides au service du développement économique local

Les zones humides sont aussi la vitrine de la qualité environnementale d'une région et elles participent à l'image de marque de celle-ci. Ce sont des atouts fondamentaux pour le développement économique local à long terme.



Ces dernières années, on assiste à l'augmentation du « tourisme vert », dépendant en grande partie des richesses naturelles locales. Ainsi, le lac de Der en Champagne, en tant que halte migratoire pour de nombreux oiseaux d'eau, attire environ 100 000 visiteurs par an dont une bonne proportion d'étrangers.

Les zones humides de Texel sur le littoral de la Hollande, réputées pour leur richesse en oiseaux d'eau, attirent 250 000 visiteurs par an.

En France, environ 1 million de touristes se rendent en Camargue pour y visiter la plus prestigieuse des zones humides françaises. Le parc ornithologique du Marquenterre en baie de Somme (Picardie) est visité par 200 000 personnes chaque année. Enfin, les sites du Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres accueillent 10 millions de visiteurs par an ; ils ont indirectement un grand impact sur l'économie locale.

## **Peut-on monétariser les écosystèmes ?**

Nous étendons ici brièvement le propos. À partir d'analyses agrégeant des potentialités économiques et des services écologiques, des tentatives de monétarisation systématique d'écosystèmes ont été tentées, notamment par des laboratoires américains.

Ainsi Richard Costanza et al. ont-ils proposé dans [145] une évaluation par région du globe de la valeur de la planète. Ils en soulignent toutefois les limites que nous résumons ici.

– Manque d'information sur des catégories de services ou sur des biomes majeurs (désert, toundra, etc.).

– Distorsion des prix à la base des évaluations courantes, notamment par exclusion de la valeur des écosystèmes, du travail ménager, de l'économie informelle. Utilisation de différents indicateurs monétaires (valeur totale, surplus du consommateur, surplus du producteur, etc.) peu comparables.

– Utilisation de consentements à payer pour évaluer les services rendus par des écosystèmes justifiée dans un monde « écologiquement soutenable », socialement équitable et avec information parfaite, mais discutable dans le contexte actuel.

– Courbes d'offre et de demande supposées « élastiques », alors que l'offre de services d'écosystèmes est plutôt inélastique en fonction de la quantité, et que la courbe de demande typique s'approche plutôt de l'infini quand la quantité tend vers zéro.

– Évaluation supposant qu'il n'y a pas d'effets de seuils, de discontinuités ou d'irréversibilités dans les fonctions de réponse des écosystèmes (d'où sous-évaluation).

– Extrapolation d'estimations ponctuelles à des totaux globaux.

– Utilisation d'un modèle d'équilibre partiel au lieu d'un modèle d'équilibre général (qui incorporerait les interdépendances complexes entre services, pour éviter les doubles comptes).

– Valeurs d'écosystèmes reposant sur des « usages soutenables » (respectant leur capacité de charge, etc.), alors que certains écosystèmes sont surexploités avec le système actuel de prix.

– Non-évaluation de la valeur des écosystèmes correspondant à « l'infrastructure » minimale (permettant d'assurer les cycles écologiques et le maintien de la vie sur la planète).

– Comparaisons entre pays affectés par leurs différences de revenu.

– Nécessité dans certains cas d'utiliser un taux d'actualisation pour convertir des valeurs de stocks en valeurs de flux annuels.

– Estimation reposant sur un « cliché » statique de ce qui est en fait un système dynamique complexe : modèle d'équilibre partiel statique ; pas de prise en compte de non-linéarités critiques et d'effets de seuil, etc.

---

## **L'extension urbaine**

Loger convenablement les Français fut depuis la guerre, et reste aujourd'hui, un objectif en soi. Mais paradoxalement, les coûts et avantages collectifs des formes urbaines, notamment du point de vue de l'environnement mais aussi des coûts de fonctionnement induits, semblent avoir motivé peu d'études au regard de leurs implications sociales, économiques et financières. Pour illustrer ce que pourrait être une telle approche, nous utilisons ci-après les données recueillies dans trois domaines : l'analyse micro-économique des coûts de la gestion de l'environnement urbain au sens classique du terme (eau, assainissement, déchets, espaces verts), le bâti à usage de logement et l'étalement urbain, enfin les transports et la densité de population.

### **Comptes de l'environnement urbain dans quatre villes**

#### **Les progrès de la connaissance sur les services urbains et la gestion locale**

Le Plan urbain tente de faire le point, dans [92], sur les relations entre dynamiques urbaines et finances locales. Il examine les charges d'infrastructures collectives dans différentes configurations de croissance des villes et des banlieues, et constate l'irrégularité de l'intérêt qui leur a été porté : « L'accumulation des critiques théoriques et

méthodologiques durant les années 70 et le déplacement de la question urbaine du domaine économique vers le champ social, entraînent toutefois l'abandon progressif, voire le rejet de la problématique des coûts d'urbanisation. La montée de nouvelles interrogations et la résurgence de vieilles questions redonnent, dès le début des années 80, une nouvelle actualité au sujet. »

Ont été étudiés dans ce cadre :

- l'influence de la demande de logements sur la dynamique des budgets locaux, et donc des coûts supportés par les communes ;
- les effets en retour de la gestion municipale sur les enchères immobilières des acquéreurs de logements dans le cadre des processus de capitalisation fiscale et de formation de la rente foncière ;
- l'impact des financements des coûts d'urbanisation sur l'aménagement du territoire et la justice fiscale entre les communes ;
- les méthodes prospectives de choix des investissements publics locaux en avenir incertain.

D'après [92], les coûts d'aménagement des nouvelles zones constructibles, hors équipements collectifs d'accompagnement, semblent assez homogènes. « Le prix de revient réel varie faiblement d'une commune à l'autre (en moyenne 140 F en 1983 par m<sup>2</sup>). En particulier, l'éloignement de la ville centre n'affecte pas sensiblement le coût. Ce résultat inhabituel résulte de la politique publique de réserves foncières qui a maintenu le prix du sol agricole à un niveau très bas et relativement uniforme quelle que soit la distance au centre. Le coût de revient superficiaire apparaît également uniforme dans le temps (hors érosion monétaire). Les gains de productivité obtenus par les entreprises de travaux publics ont compensé en majeure partie l'amélioration, incontestable, de la qualité technique et urbanistique des lotissements et ainsi stabilisé les prix de revient réels. »

Les coûts de développement des services publics locaux augmentent avec la densité urbaine : « le coût marginal de longue période (pour la part du capital) des infrastructures, de l'ordre de 21 000 F (constants 1983) par logement dans les plus petites communes périphériques de l'échantillon (300 logements soit environ 1 000 habitants), atteint 25 000 F dans les localités suburbaines les plus importantes (34 000 logements pour 11 000 habitants), et 31 000 F dans la ville centre (80 000 logements et 200 000 habitants). La concentration urbaine augmenterait donc en permanence les charges marginales d'aménagement des voies et réseaux structurant la ville, toutes choses égales par ailleurs et notamment le potentiel fiscal des localités et le revenu des ménages résidents. »

Une interprétation prudente de ces résultats s'impose : seule la ville principale finance certaines installations très coûteuses, notamment les centres culturels destinés à l'ensemble de l'agglomération. Les coûts récurrents fixes correspondent aux amortissements techniques. Enfin, l'estimation statistique des taux de dépréciation et des durées de vie des équipements publics locaux rencontre de multiples difficultés liées aux imprécisions du cadre comptable.

En outre, de nombreuses installations collectives sont encore récentes (années cinquante-soixante), ce qui réduit pour l'instant les charges de maintenance des équipements. Malgré la reprise actuelle de l'investissement local, les flux de dépenses les plus importants restent encore à venir. « Ensuite, l'enjeu de l'entretien des équipements publics locaux, limité traditionnellement au seul aspect de la dépréciation technique des installations, se pose désormais de plus en plus en termes économiques. »

## Délimitation du champ de l'environnement communal

Les chocs pétroliers avaient durant les années soixante-dix provoqué diverses études montrant que les coûts d'investissement et de fonctionnement des réseaux communaux croissaient fortement à mesure de la dédensification de l'habitat. Après deux décennies de quasi-interruption, de récentes recherches ont étudié de nouveau les coûts comptables de certains réseaux.

La recherche [90] examine, à partir de l'étude de deux villes (Nantes et Amiens), les flux financiers associés à la gestion de l'environnement. L'analyse des comptabilités communales permet d'accorder une certaine généralité aux conclusions méthodologiques, dans un contexte communal ou intercommunal. La définition des champs de la dépense a été établie selon la conception retenue dans les « Données économiques de l'environnement », en correspondance avec le Système européen de l'information économique sur l'environnement (SERIEE) :

- gestion de l'eau (alimentation en eau potable, production, stockage et distribution) et assainissement des eaux usées (réseaux et épuration) ;
- collecte et traitement des déchets ;
- nettoyage ;
- cadre de vie, essentiellement dépenses associées aux espaces verts.

L'étude a considéré en outre les dépenses de mobilisation de la ressource en eau et d'amélioration du cadre de vie ; elle n'inclut ni le bruit ni les transports.

Une première conclusion montre une convergence des modes de gestion de l'environnement dans les deux villes. L'intercommunalité, déjà développée, tend encore à progresser ; ainsi, à Amiens, la gestion de l'eau passe au district et le transfert à ce niveau de la collecte des déchets est étudié ; des indicateurs d'environnement sont mis en place. À Nantes, le projet « 2005 » fait jouer à l'environnement un rôle fédérateur pour le district et s'appuie notamment sur une politique dynamique de transports urbains. La gestion communale évolue vers une organisation plus intégrée. La construction d'un compte des dépenses « environnement » suit cette évolution.

Une seconde étude de cas a été réalisée à Lyon et Poitiers [91], pour identifier les flux financiers (investissement et fonctionnement) et les agents publics intervenant dans les domaines de l'eau, de l'assai-

nissement, des déchets, de l'énergie et des « espaces naturels ». Elle distingue les actions des villes à effet sur les personnes (par exemple la production et la distribution de l'eau potable) et les actions tournées vers le traitement du milieu (par exemple l'assainissement), à travers quatre catégories d'actions :

- actions de protection et de reproduction des ressources (milieu) ;
- actions d'optimisation des systèmes techniques de gestion des ressources (milieu) ;
- actions de protection de la santé (personnes) ;
- actions de protection du cadre de vie (personnes).

Par exemple, la protection des captages est considérée comme une protection de la ressource alors que la distribution d'eau potable est classée comme action de protection des personnes (santé).

Les dépenses rentables sont incluses dans le champ de l'étude qui prend en compte les « doubles dividendes et leur importance dans les comportements économiques ». Les auteurs limitent leurs investigations aux agents publics et à leurs délégataires, et distinguent les dépenses des maîtres d'ouvrage et des exploitants, de celles des organismes financiers comme les agences de l'eau.

## Flux, coûts, tarification

### Flux financiers de l'environnement

Le tableau et le schéma ci-dessous décrivent l'état et les perspectives de la gestion environnementale à Nantes et Amiens.

#### Orientations environnementales

	Amiens	Nantes
<b>Eau potable</b>	Remplacement des canalisations en plomb  (1991 - 1992)	Projet de production - distribution d'eau brute à usage industriel Quid de la remontée à terme de l'eau salée?
<b>Eau usées</b>	Mise en place à venir d'une nouvelle station d'épuration Diagnostic des besoins «eaux pluviales» Passage au niveau districale à l'étude (y compris eau potable)	Problème du traitement des eaux pluviales Important programme d'investissements à venir
<b>Déchets</b>	Passage de la collecte au niveau districale à l'étude Construction envisagée de 2 déchetteries  Couplage méthanisation + incinération ? Structure intercommunale plus vaste que le district ?	Très forte croissance observée des coûts de traitement Problème de cohérence entre collecte communale et traitement districale.
<b>Nettoieement</b>	Substitution de la municipalité au propriétaire ou locataire (devoir civique...)	Substitution de la municipalité aux habitants

	«Plus on nettoie, plus les exigences s'accroissent»	Développement des cani-sites
<b>Cadre de vie</b>	Renforcement du service «jardins et paysages» et de sa visibilité Sectorisation infra-communale  Intégration croissante avec la politique sociale (quartiers défavorisés) et d'insertion	Accent mis sur la réintroduction et la régulation de la vie animale sauvage.  Politique active de maîtrise du foncier (achat à bas prix de terrains occupés par d'anciennes décharges)

### Évolution des dépenses communales en environnement (en %)

Villes	Accroissement	
	Annuel 1990/95	Moyen 1985/95
Amiens	5,6	4,6
Nantes	5,9	4,7

L'analyse des dépenses communales porte sur le budget voté en mars de chaque année, et le compte administratif qui exprime les dépenses réellement engagées. On peut en outre examiner, service par service, les comptes courants des dépenses, en allant jusqu'aux justificatifs des dépenses engagées. L'existence de budgets annexes pour l'eau potable et l'assainissement permet d'isoler relativement bien les dépenses dans ces deux domaines. Mais les comptes par secteur sont assez hétérogènes, ce qui peut introduire des biais systématiques. Ainsi, « dans le cas de Nantes et d'Amiens, et pour les années considérées, on a pu vérifier que l'alignement strict sur les pratiques comptables amène une surestimation des ratios de l'eau de type francs par habitant inférieure à 7 % . »

#### Coûts collectifs, coûts par habitant

Les informations recueillies confirment les ordres de grandeur nationaux : la dépense « environnement » par habitant tirée de [6] ressort à 2 400 F par habitant pour 1995 ; elle est de l'ordre de 2 376 F pour Amiens et de 2 846 F pour Nantes.

#### Dépenses « environnement » d'Amiens et Nantes en 1995 et progression depuis 1990

Nature des dépenses	En KF courants		En F / habitant courants		Accroissement annuel moyen en F courants 1990 - 1995 (%)	
	Amiens (1)	Nantes (2)	Amiens (1)	Nantes (2)	Amiens	Nantes
A. Eau	115 098	275 936	872	1 128	4,8	2,7

B. Déchets	53 567	142 334	406	406	5,0	12,9
C Nettoyement	81 642	75 935	618	311	4,8	6,5
D. Cadre de vie	63 325	201 634	480	825	8,9	6,4
1. Environnement (A+B+C+D)	313 632	695 839	2 376	2 846	5,6	5,9
2. Total ville	1 468 439	2 795 259	11 125	11 432	3,6	3,3
3. Environnement total en % (1/2)	21,3 %	24,9 %	21,3 %	24,9 %		

(1) Après ventilation des dépenses d'administration propres à l'environnement sur chacun des domaines (eau, déchets, nettoyage, cadre de vie).

(2) Total des dépenses, y compris la production d'eau vendue à d'autres communes. Si l'on ne prend en compte que les dépenses imputables aux seuls Nantais, le chiffre pour l'eau est d'environ 200 MF (contre 275,936 MF). Les ratios par habitant seront alors de 818 F au lieu de 1 128 F pour l'eau et de 2 536 F pour le total (au lieu de 2 846).

L'analyse secteur par secteur confirme la prééminence du domaine de l'eau dans la dépense totale « environnement ». L'environnement représente 20 % des dépenses des villes d'Amiens et de Nantes.

Les investissements « environnement » sont décalés par rapport au cycle économique. « Les années 1985/1990 ont en effet été marquées par une forte croissance et par la gestation d'une génération nouvelle des politiques de l'environnement, en liaison notamment avec l'achèvement du grand marché intérieur européen. Mais ces politiques n'ont pu être mises en œuvre qu'au début des années 90, alors que la conjoncture économique avait basculé défavorablement. Les villes se trouveraient ainsi en porte à faux ; d'où le souci aujourd'hui pressant de maîtrise des dépenses, en particulier dans le domaine de l'eau et sans doute, à terme, dans celui des déchets (à titre indicatif, le coût de traitement des déchets a été multiplié par un facteur 10 en dix ans à Nantes, passant d'environ 50 F/T en 1985 à 580 F/T en 1995). »

Les dépenses « environnement » progressent plus vite que le total des dépenses urbaines de 1990 à 1995 (mise en œuvre des lois sur l'eau, sur les déchets). Comparativement, la croissance a été plus faible de 1985 à 1990. Il faut souligner le développement de « l'externalisation », par progression de l'intercommunalité et non par recours au secteur privé (cf. tableau suivant).

### Structure des coûts « environnement » à Amiens et à Nantes

En % des dépenses «environnement»	Amiens		Nantes	
	1990	1995	1990	1995
Dépenses «environnement» de personnel	34,4	29,4	31,9	30,7
Dépenses d'investissement	26,0	13,7	20,5	15,8
Dépenses «intégrées»/dépenses totales (1)	nd	nd	81,1	75,8

(1) Dépenses intégrées = dépenses totales - achats de biens et services.

### Tarification de l'environnement

Les coûts étudiés peuvent être pris en charge par la collectivité, sans qu'il soit toujours facile d'affecter à l'utilisateur ou au citoyen la facture qui en advient. Les coûts correspondants sont à la charge de plusieurs organes payeurs, quelquefois confondus dans des lignes budgétaires globales hors du champ réputé « environnement ». L'eau est de plus en plus fortement payée par l'utilisateur (71,2 % à Amiens en 1995 et 55,4 % à Nantes, cf. tableau *Tarification au service rendu en matière d'environnement à Amiens et Nantes*) ; dans ces deux villes gérées en régie, ceci a contribué à la hausse du prix apparent de l'eau, au-delà de l'impact des investissements consentis.

Au niveau national effectivement, selon le panel Ecoloc du Bipe Conseil, le prix de l'eau a augmenté de 9 % par an en francs courants de 1991 à 1996.

### Synthèse et limites

« Dans un tel contexte, le développement de l'intercommunalité peut s'interpréter comme résultant d'un double souci de maîtrise des coûts (rationalisation des modes de gestion, recherche d'économies d'échelle) et de participation d'une plus grande partie de la population agglomérée à certaines charges de centralité. Dans le même temps, le modèle de la commune centre tendrait à se diffuser à la périphérie. » Il n'a pas été possible de mettre en évidence une substitution du capital au travail dans la structure de ces coûts : l'évolution de cette structure porte avant tout la trace de l'intercommunalité croissante. Le cadre de vie reste lui marqué par une logique communale.

### Tarification au service rendu en matière d'environnement à Amiens et Nantes

% des ventes de biens et services dans le total des dépenses	Amiens		Nantes	
	1990	1995	1990	1995
Eau	53,3	77,6	87,5	97,8
Déchets	36,0	57,2	90,6	80,0
Nettoieement	0	0	ε	ε
Cadre de vie	0	0	ε	ε
1. Environnement	47,7	71,2	53,9	55,4
2. Total ville + comptes annexes	8,3	9,3	15,3	16,8

(1) Le produit de la taxe d'enlèvement des ordures ménagères est comptabilisé au titre de la tarification au service rendu

### Indicateurs

Le tableau *Dépenses « environnement » en 1995 rapportées à quelques indicateurs de résultats* rapporte les dépenses « environnement »



par secteur à différents indicateurs caractéristiques des résultats associés à ces dépenses : volume d'eau facturée, production de déchets, longueur des rues nettoyées, surface d'espaces verts. S'agissant d'espaces verts, les indicateurs retenus ne rendent pas compte de l'ensemble des services assurés par les municipalités. Par exemple, les activités de nettoyage concernent l'entretien des cours d'école, de gymnases et de luttes contre les décharges sauvages. De même, les services d'espaces verts peuvent avoir une activité de production horticole et d'aménagement d'anciennes décharges qui ne se réduit pas à l'entretien des espaces verts « classiques ». Les coûts obtenus majorent donc les coûts réels, une connaissance plus précise de ces derniers nécessitant d'avoir une affectation des charges par mission (comptabilité analytique).

Pour le cadre de vie, « le coût des espaces verts apparaît supérieur à 200 000 F / ha ; ce ratio est à rapprocher du coût d'un espace agricole qui se situe probablement à un niveau inférieur à 10 000 F / ha ». Le budget « espaces verts » de la ville de Paris se monte à environ 1,3 milliard de francs. L'hypothèse peut être avancée que le développement urbain – et notamment sa forme suburbaine (faible densité) – produit des coûts difficiles à maîtriser par les collectivités.

Ces espaces publics ou privés ont une valeur marchande à travers leur valeur d'usage culturel, immatériel, et parfois une valeur marchande calculable soit au prix du bâti périphérique, soit au prix littéral des produits vendus. Certaines villes s'efforcent de maintenir une agriculture interstitielle à mesure que l'urbanisation progresse ; c'est en effet un moyen d'échapper à une trop forte croissance des coûts, ou de favoriser des réserves foncières pour l'urbanisation future, ou de s'assurer un cadre de vie et un approvisionnement proches. Ceci pourrait conduire, dans un souci de maîtrise des coûts et de l'environnement, à revoir le statut des activités liées à l'entretien des espaces dits verts ou assimilés (forêts domaniales, jardins publics, d'agrément, pelouses, jardins « populaires », arbres d'alignement, agricultures résiduelles en attente d'opérations immobilières, etc.), qui ne sont pas inclus dans l'agriculture contemporaine.

**Dépenses « environnement » en 1995 rapportées à quelques indicateurs de résultats**

	Amiens	Nantes
<b>A. Eau</b>		
Dépenses imputables à la consommation communale (kF)	115 098	200 000
Eau facturée (x100 m <sup>3</sup> )	105 468	300 000
Coût unitaire (F/m <sup>3</sup> )	10,09	6,7
<b>B. Déchets</b>		
Dépenses (kF)	53 567	142 334
Production de déchets (tonnes)	85 000	110 000
Coût unitaire (F/t)	630	1 294
<b>C. Nettoyement</b>		

Dépenses (kF)	81 642	75 935
Longueurs de rues (km)	310	574
Coût unitaire	263	132
<b>D. Cadre de vie</b>		
Dépenses (kF)	63 325	201 634
Surface d'espace verts (hectare)	230	850
Coût unitaire 5 kF/hectare)	275	237
<b>E. Total «environnement»</b>		
Dépenses	313 632	619 903
Habitants (nombre)	132 000	244 514
Coût unitaire	2 376	2 536

Le tableau suivant présente une estimation des emplois directs (communes et structures intercommunales) dans le domaine de l'environnement à Nantes et à Amiens. Les emplois directs ont été calculés en s'appuyant sur des ratios économiques de type « valeur ajoutée/emploi », taux de pénétration des importations, etc. La gestion de l'environnement par les villes, sans tenir compte des effets induits, représente de l'ordre de 1 à 2 % de leur population active. Un nombre vraisemblablement non négligeable d'emplois proviennent en outre d'une économie ménagère et informelle, dont personne ne semble aujourd'hui pouvoir estimer la valeur ajoutée par secteur (dont par exemple les productions potagères privées).

**Emplois directs et indirects liés à l'environnement à Amiens et à Nantes en 1995**

Types d'emplois	Amiens	Nantes
Directs : commune + structures intercommunales	500	1 170
Indirects	400	1 000
Total «directs + indirects»	900	2 170

Estimation d'après les dépenses de biens et services (hors participation aux structures intercommunales), la valeur ajoutée par emploi, le taux de pénétration des importations et l'élasticité des importations au PIB.

## Évolution et répartition des dépenses environnementales

Les analyses de [90] montrent qu'une logique *d'intégration* tend à se substituer aux anciennes logiques sectorielles. Les limites sectorielles sont souvent économiques : d'une part les collectivités locales, prises dans les offres industrielles (équipements de traitement des eaux et des déchets) et dans des formes législatives et réglementaires nationales ou supranationales (normes communautaires d'épuration des eaux par exemple), ont perdu de *l'autonomie*. D'autre part, elles ont peu à peu pris en charge des activités jusqu'alors assurées par les individus eux-mêmes (*subsidiarité*), comme la collecte sélective des déchets.

Simultanément, la décentralisation et la déconcentration des services administratifs ont créé des marges de liberté qui ne sont pour

l'instant exploitées que partiellement, notamment parce que les collectivités territoriales ne disposent guère de moyens d'analyse et d'appareils statistiques efficaces. C'est à dire que leur capacité de régulation entre l'offre législative, réglementaire et technologique, et en définitive d'exercer des choix singuliers, reste relativement faible [90].

L'accentuation des politiques environnementales, sectorielles ou non, entraînera à moyen terme un besoin croissant d'indicateurs. Notamment, la croissance des coûts associés aux politiques sectorielles implique désormais de mettre l'accent sur des indicateurs de type « coût/efficacité », qui restent à préciser.

À titre d'illustration, l'étude [90] propose des indicateurs (cf. tableau *Déplacements et environnement : système d'information*) dans le domaine, plus récemment traité, des transports de personnes.

Les quatre villes étudiées (cf. tableau *Dépenses d'environnement (Poitiers, Lyon)*) consentent des dépenses très comparables pour l'environnement, autour de 2 100 F par habitant et par an pour les années 1990-95, avec des variations dans les répartitions sectorielles qui tiennent aussi aux données accessibles et aux techniques de mesure.

Certaines différences s'expliquent directement (déchets et nettoyage plus chers à Lyon car le traitement des déchets est plus élaboré et la densité plus forte). Dans les domaines de l'eau et des espaces verts, les différences reflètent surtout les échelles et les types de problèmes rencontrés.

**Déplacements et environnement : système d'information**

	INDICATEURS D'ÉTAT : air bruit satisfaction	
TRANSPORTS COLLECTIFS Infrastructures Fréquentation Coûts et financements		DÉPLACEMENTS URBAINS Mobilité Répartition par mode Cartographie
	INDICATEURS DE SATISFACTION : environnement qualité de service tarification consentement à payer	

**Dépenses d'environnement (Poitiers, Lyon)**

1990/1995	Poitiers	Lyon
Répartition des dépenses publiques d'environnement par objectif en F/hab/an	2 156 F	2 100 F
- protection de la ressource	687 (32%)	1 024 (49%)
- protection de la personne	540 (25%)	699 (33%)
- optimisation	275 (13%)	16 (1%)
- qualité de vie	654 (30%)	327 (16%)

Principaux indicateurs : - dépenses d'environnement en eau/m facturé - dépenses d'environnement pour les déchets et le nettoyage/tonne d'ordures collectées - dépenses d'environnement pour le nettoyage par mètre de rue nettoyée - dépenses d'environnement pour les espaces verts/m <sup>2</sup> d'espace vert	13,1 F/m <sup>3</sup> HT (1995) 966,24 F/t 43 F/mètre (1995) 15,95 F/m <sup>2</sup> (Poitiers, district)	14,37 F/m <sup>3</sup> HT 1 456 F/t 114 F/mètre (1991) 11,2 F/m <sup>2</sup> (Lyon + département)
Dépenses d'environnement par secteur en F/hab/an - eau - déchets - énergie - paysage	815 361 253 740	1 193 576 16 315
Part des dépenses couvertes par des recettes spécifique	47%	60%

### La difficulté d'accès à l'information est une réalité générale, qui remet en cause l'hypothèse d'une mesure fiable et simple

Établir des coûts de fonctionnement urbain est encore difficile. L'organisation de la comptabilité publique ne semble pas adaptée au suivi d'une politique transversale. « De plus, les services techniques s'intéressent essentiellement à l'aspect gestionnaire immédiat de leur activité, non au bilan et au coût d'une politique ; les élus chargés de l'environnement paraissent finalement très peu sensibles à la question de la mesure systématique : c'est à l'occasion de la négociation d'un dossier que les chiffres circulent, rarement dans la durée... Les actions environnementales ne sont pas repérables dans une nomenclature fondée sur des "fonctions" ou organisée selon le bénéficiaire (exemple : subventions aux associations). Le cas des espaces verts montre clairement la dispersion des sources d'information, puisqu'il dépend des autres services ou d'organismes extérieurs pour une partie du personnel et pour les acquisitions foncières. Il n'y a pas de comptabilité centralisée par activité ou par milieu. Or, la réforme des comptabilités est également liée à celle des organisations... Les méthodes de suivi des administrations publiques (État notamment) ne paraissent guère plus orientées vers la longue période que celles des collectivités. » [91].

### La notion de dépense se heurte en matière d'environnement à des obstacles non résolus

L'étude [91] insiste sur les risques de doubles comptes, comme par exemple les dépenses d'une station d'épuration financée par l'emprunt, se trouvant une fois à la rubrique des travaux, une autre au titre des remboursements de l'emprunt, et même des amortissements.

Les comptes se font par acteur ou par secteur d'activité (pour les dépenses), brouillant les correspondances avec les territoires ou les

milieux concernés (pour les résultats). La mesure des coûts et de la charge supportée diffère de celle de la dépense. Les premiers sont directement utiles soit à la gestion, soit à la négociation des financements. La seconde n'a qu'un intérêt macro-économique. La mesure des coûts contribue à décrire la dépense d'environnement, tandis que la charge nette (après élimination des mouvements croisés de subvention) est un véritable enjeu opérationnel.

Enfin, il est peu significatif de mesurer les coûts des politiques environnementales sans mesurer aussi le coût indirect de l'absence d'actions en ce domaine. L'outil « micro-économique » pourrait devenir, avec ces précautions, un outil d'aide à la décision.

### **La prévention et les économies d'énergie, mais aussi l'optimisation dans son ensemble, sont très sous-représentées**

« Ces deux types d'actions, qui disposent pourtant d'une ancienneté significative et d'un retour sur investissement excellent (elles coûtent peu par rapport à ce qu'elles rapportent), semblent peu motiver les acteurs publics. Le modèle dominant est celui de la recherche d'un produit rentable, permettant de couvrir la dépense, non d'une diminution des dépenses ou d'une réduction des atteintes au milieu. Il y a là un déficit réel des politiques publiques dont les conséquences devraient être tirées. Il apparaît aussi que le manque d'indicateurs simples de résultats [soit] à l'origine du désintérêt : absence de bilans environnementaux et énergétiques, absence d'outils de suivi de la consommation et des usages. » [91].

### **Il existe une tension entre un modèle d'action industriel/réparateur et un modèle plutôt protecteur et peut-être préventif**

« Est apparu un contraste entre des actions qui conduisent à traiter la pollution, avec des moyens de plus en plus industriels et coûteux, et des actions qui reposent sur la réglementation, le contrôle, la protection (parfois par des acquisitions), parfois sur la prévention et l'information, qui coûtent sensiblement moins cher, et réduisent aussi efficacement les atteintes au milieu – même si c'est difficile à mesurer », les premières actions étant plus faciles à suivre et mesurer que les secondes, qui souvent ne se matérialisent pas par un produit commercialisable spécifique. Le domaine des espaces verts et naturels, où les deux logiques existent, paraît propre à trouver les moyens d'une cohérence nécessaire entre ces logiques » [91].

### **Le cadre de vie et l'eau potable sont les postes les plus lourds**

« Les espaces verts urbains sont coûteux et ne procurent aucune recette, tandis que la distribution de l'eau est politiquement sensible. » [91].

## La dépense reflète d'autant moins le coût des politiques environnementales que le processus d'industrialisation se développe

« Peut-on considérer aujourd'hui que le prix de l'eau reflète le coût de la protection du milieu aquatique, ou bien celui de l'industrialisation du secteur ? Les exemples de l'incinération, avec récupération de chaleur, et de l'épuration le montrent clairement. La dépense nette des collectivités est généralement faible, ce qui détourne du développement de la collecte sélective, du recyclage et plus encore de la prévention. C'est un effet pervers de l'industrialisation.

« Un autre effet pervers est l'apparition de nuisances liées aux politiques industrielles de l'environnement, dont le chiffrage devrait aussi être une priorité. Les déchets de l'épuration des eaux usées, comme ceux de l'incinération sont effectivement de plus en plus coûteux à éliminer. » [91].

## Qui doit financer la prise de risque ?

« Il subsiste une incertitude sur les rôles que doivent jouer l'impôt, le tarif et les recettes annexes commerciales sur ce point. Est-ce à l'impôt de prendre le risque de lancer des techniques novatrices, comme cela s'est produit par le passé ? N'est-ce pas ce qui a permis ensuite le développement d'une industrialisation du secteur, puis l'implantation de grandes entreprises et d'activités bénéficiaires ? Comment rémunère-t-on dans ce cas le capital public investi, et comment mesurer les pertes dues aux expériences malheureuses ? Ou est-ce au secteur concurrentiel de prendre en charge cette expérimentation ? Le tarif, qui offre la possibilité d'une péréquation, doit-il jouer ici un rôle ? » [91].

Les recherches exploitées ci-dessus conduisent à examiner les coûts collectifs de l'environnement urbain selon plusieurs angles :

- comptabilité municipale ou districale, faisant apparaître des approches de comptes séparés de l'environnement ;
- construction d'un système d'indicateurs locaux ;
- marges de manœuvre pour faciliter le chiffrage des effets simultanés de facteurs extérieurs et modifier les systèmes comptables internes ;
- réalité d'une certaine autonomie locale.

L'emboîtement des structures et les interactions entre secteurs conduisent à se poser la question des possibilités de régulation. Les modes de concertation (protocoles d'accords, plans municipaux, chartes de l'environnement et agendas 21 locaux) favorisent-ils l'optimisation socio-économique et environnementale urbaine ?

## **Le rôle de la coordination sociale dans la régulation des coûts**

Selon [89, p. 7], la notion d'économie d'échelle devrait « être équilibrée par l'application d'une sorte de principe de subsidiarité

conduisant à fournir les services, traiter les rejets, recycler ce qui peut l'être, au plus près de territoires de taille raisonnable, afin de limiter la complexité des problèmes et à résoudre et à favoriser la responsabilité ». Selon [96], les réseaux techniques permettent au système urbain d'augmenter son autonomie par rapport à son environnement. Ils assurent un certain nombre d'interactions de la ville avec l'extérieur en rendant un service. En contrepartie, le système urbain dépend de ces réseaux, qui se complexifient et se concentrent avec les exigences réglementaires et normatives : directive européenne de 1991 imposant une fiabilité sur 95 % du temps pour les stations d'épuration, traitements des gaz des usines d'incinération, etc.

Ces économies d'échelle pourraient avoir des limites : préoccupations écologiques, sensibilité croissante aux risques et à l'insécurité, limites proprement économiques liées à la généralisation du modèle et à l'incapacité à monétariser le coût de la ressource, évolution des acteurs politiques et économiques. L'étude [96] indique trois domaines d'expression de cette évolution :

- le positionnement de l'utilisateur/citoyen par rapport aux processus de décision et de production du service;
- les évolutions des objets et des systèmes techniques;
- le territoire comme support et production des services urbains en réseaux.

### L'utilisateur/citoyen

« La notion de subsidiarité place le citoyen et les collectivités au centre à la fois des mécanismes de définition et d'identification des problèmes, de décision et de mise en œuvre des solutions... L'idée subsidiaire dans les services urbains conduit donc à questionner le rôle et la légitimité des citoyens et des pouvoirs locaux aussi bien dans les processus de décision que dans la gestion et l'exécution du service lui-même. » [96]. Entrent dans cette approche par exemple la régulation du service par la demande (*demand-side management*) pour l'énergie, la prévention à la source de la production de déchets, le tri et la valorisation des déchets dans le cadre de circuits courts locaux. « Au delà des effets écologiques et économiques sur le secteur des déchets, ces actions [...] conduisent à une responsabilisation accrue de l'utilisateur et à un changement de culture de la part des techniciens... Cet utilisateur-là, élevé au rang de coproducteur du service est avant tout citoyen... Le principe de subsidiarité est relié à un meilleur exercice de la citoyenneté dans les services publics. »

### L'évolution technologique

Dans le domaine de l'énergie, selon [96], « à partir d'une organisation très centralisée et concentrée, mise en œuvre par un puissant opérateur monopolistique, la maturité et la standardisation actuelle des technologies d'une part, et les impératifs d'adaptabilité et de flexibilité vis-à-vis des besoins d'autre part, commandent toute une série de

mécanismes de déconcentration » qui rendent le consommateur d'énergie davantage maître de son alimentation (systèmes hors réseau, énergies renouvelables, cogénération).

Dans le secteur des déchets, malgré la concentration encore induite par les exigences d'épuration des fumées des unités d'incinération des ordures ménagères (UIOM), les coûts correspondants, la gestion des risques et les progrès techniques pourraient inverser cette évolution par l'apparition de petites unités performantes et la réduction des quantités de déchets à traiter.

L'évolution des systèmes en réseau suggérée par [96] serait alors :

« – l'émergence, au sein d'un foisonnement technique issu de la recherche-développement, de solutions qui sont progressivement exploitées à petite échelle,

– un apprentissage des techniques qui se révèlent les plus satisfaisantes, apprentissage qui se fait sur des unités toujours plus importantes dans lesquelles se concentrent des savoir-faire et se produit une maturation des technologies,

– enfin une phase de banalisation qui correspond également à une certaine miniaturisation des solutions techniques, limitée par la notion d'échelle pertinente ».

## Territoires et réseaux

Le réseau d'assainissement est fortement déterminé par un territoire naturel qui est celui du bassin versant. La politique de l'eau (lois sur l'eau de 1964 à 1992) lui a superposé un nouveau contexte administratif et institutionnel adapté, les agences et comités de bassin ; parallèlement, le souci économique a poussé au regroupement des communes. Le réseau d'adduction et de distribution d'eau potable se conforme aussi au principe de subsidiarité en raison des coûts de transport importants et des risques à gérer (sécurisation de l'approvisionnement et de la distribution).

La gestion des déchets a étendu au département, voire davantage (loi de 1992), le territoire de traitement et d'enfouissement des déchets, tout en restant souvent au niveau communal pour la collecte et les déchetteries, moins susceptibles d'économies d'échelle. L'énergie reste principalement nationale voire internationale, malgré des adaptations locales.

« Les interactions entre la ville et son environnement se trouvent concentrées aux points d'entrée et de sortie des réseaux, sur lesquels ont pu se développer des unités industrielles de production ou de traitement bénéficiant naturellement d'une économie d'échelle. Il y a bien une synergie évidente entre le réseau et la logique d'économie d'échelle liée à la fonction de confinement et d'acheminement de flux opérée par le réseau. Faut-il s'attendre dès lors à ce que des évolutions ou des composantes subsidiaires soient entravées par cette logique imposée du réseau ? » [96]



L'existence d'un réseau évite de surdimensionner les équipements en additionnant les capacités nécessaires pour les pointes de chaque usager, donc en résolvant d'éventuelles crises locales par une mutualisation de niveau supérieur (subsidiarité). D'autre part, un réseau d'eau ou d'énergie peut autoriser une recombinaison adaptative des types et lieux de production ou de traitement : « le réseau urbain semble articuler économies d'échelle et principe de subsidiarité, dans des temporalités différentes et au sein d'une même forme organisée. La notion de subsidiarité fonde la notion de niveau pertinent de gestion et de ce qu'il est entendu sous le terme de "gestion intégrée", qui vise à articuler une pensée globale et une action locale. » [96]

Selon Claude Martinand (*Recherche Études Environnement Développement*, SRETIE, décembre 1992), « il est [...] possible de relier ces réflexions aux démarches visant à intégrer différentes dimensions dans un même projet. C'est notamment le cas de certaines techniques alternatives en assainissement pluvial, où des ouvrages multifonctionnels satisfont aussi bien des objectifs techniques de stockage ou d'infiltration des eaux que des objectifs d'aménagement ou de circulation : bassins de retenue paysagers, chaussées ou parkings à structure réservoir, etc.. La notion de zonage énergétique qui consiste, sur un territoire donné, à attribuer la priorité à telle ou telle source d'énergie (chauffage urbain au gaz par exemple) met également en œuvre cette catégorie particulière d'économie d'échelle que l'on pourrait qualifier d'économie par élargissement ou d'économie d'intégration. »

## Chartes de l'environnement urbain et formation des coûts collectifs

### **La concertation pour dépasser les contradictions coûteuses**

Au delà des pouvoirs publics et des opérateurs privés de la gestion environnementale, il existe en France de nombreuses formes associatives plus ou moins représentatives de la mouvance environnementale.

Ces acteurs, tout en « possédant des cultures et des approches différentes, entreprennent, tous, d'une façon ou d'une autre, des actions de sauvegarde, d'amélioration, de mise en valeur, voire de ré-interprétation d'espaces divers » (Regazzola). Il s'agit des chantiers d'insertion, qui sur objectif d'assistance psychosociale fondent l'efficacité de leur démarche sur la transformation de l'environnement utile pour la collectivité ; il s'agit aussi des chasseurs et pêcheurs, importants pour la gestion des ressources des éco- et agrosystèmes, des innovateurs du développement local, attentifs à la qualité de la nourriture, des paysages, de la santé, de l'accueil des « urbains » au village, etc., des restaurateurs de chemins, sauveteurs d'espèces, etc. Les processus de confrontation et de concertation, encore développés de façon inégale, s'adressent surtout à des représentants officiels, autour d'enjeux ciblés. Les expériences d'éco-développement ont rarement dépassé le Conservatoire du littoral et les parcs régionaux.

Depuis le début des années quatre-vingt, l'État et les collectivités locales ont mis en œuvre, à titre surtout expérimental, un modèle de concertation et de gestion sous la forme de plans ou de chartes de l'environnement urbain. Ce modèle est aujourd'hui testé dans plusieurs dizaines de communes de plus ou moins grande importance. Après un audit financé en partie et agréé par l'État, incluant un large processus de confrontation/concertation, des objectifs sont définis, évalués du point de vue de leur coût, puis mis en œuvre avec le concours de l'État, des agences techniques et financières et d'autres opérateurs. Les chartes, plans, agendas 21 locaux, ne disposent pas le plus souvent de données ou indicateurs micro-économiques entrevus ci-dessus, mais concourent effectivement à faire progresser les interrogations et les procédures de gestion territoriale.

### **Les chartes modifient effectivement les coûts finaux des décisions**

Les communes ou agglomérations étudiées ci-dessus (Nantes, Amiens, Lyon, Poitiers) se sont portées volontaires pour concourir à l'élaboration de «comptes parallèles» de l'environnement. La ville de Dunkerque et la Région Nord-Pas-de-Calais viennent récemment de décider d'établir des indicateurs environnementaux. Des résultats concrets témoignent des effets positifs de la concertation sur la réduction des coûts collectifs de l'environnement.

Par exemple, la diminution de la dépense peut compenser en partie une diminution de recettes d'une collectivité. Le service des espaces verts et environnement (SEVE) de la ville de Nantes apporte quelques éléments : « La ville ne vend aucun végétal, hormis quelques animaux et légumes d'une ferme pour enfants, ce qui représente à peu près 20 000 F par an. Le gros des recettes se limite à l'entretien des espaces verts d'un camping et du stade de la Beaujoire (à peu près 400 000 F l'an). La production de végétaux est donc auto-consommée, mais externaliser cette production reviendrait beaucoup plus cher. En outre, le climat local fait que les professionnels ne voient jamais d'un très bon œil que les collectivités locales produisent en autonomie des végétaux... Au total, il reste que l'autoconsommation de végétaux de collection a été jugée plus rentable. Au niveau de la gestion des ressources (eau, engrais, pesticides...), le SEVE aurait atteint son optimum technique depuis 1995, avec une stagnation de la consommation. Le fait nouveau est la démarche qualité et la formation divulguée auprès d'autres services utilisateurs (cimetières, voirie), peu techniciens en la matière et gaspilleurs. Une diminution de la consommation des ressources est constatée.» [96].

En valeur absolue les avantages réalisés peuvent paraître négligeables : à Nantes pour le SEVE, 300 000 F sur 200 MF ; mais il est probable de pouvoir les multiplier sur l'ensemble d'une politique urbaine. Dans les villes considérées, même si la dépense environnementale augmente depuis quelques années, les démarches de planification environnementale et de concertation amènent plusieurs possibilités de réduction des coûts. Pierre Radanne (Inestene) en distingue quatre types.

- Économies sur les flux : les domaines de l'eau, des déchets, de l'énergie cherchent à réduire des flux qui causent des dépenses de fonctionnement : économies d'électricité, réduction des consommations des voitures, isolation des bâtiments, récupération des eaux pluviales, réutilisation des déchets de procédés...
- Force modernisatrice et industrialisatrice des contraintes : après une réduction des pollutions *end of pipe*, les contraintes environnementales se traduisent souvent par un changement de conception des projets pour les installations neuves. Ces efforts de conception initiale absorbent en grande partie des surcoûts, réduisent les consommations de matière et les risques technologiques, évitent la dégradation des sites et des actifs naturels, fonciers et immobiliers qu'ils représentent.
- Effets positifs de la mise en débat des projets et pratiques : les discussions générées par l'environnement débouchent très souvent sur l'étude de variantes au delà du corps technique ou du métier du concepteur initial. Cette concertation aboutit souvent à des améliorations des projets (davantage que sur leur remise en cause), qui les rendent mieux adaptés à la finalité sociale.
- Constitution d'un secteur économique de recyclage symétrique de celui de l'élaboration des biens : le développement du recyclage constitue une voie de développement endogène, qui substitue de l'emploi à des matières le plus souvent importées (emballages).

On peut y ajouter les économies suscitées par une déclaration d'objectifs et une vision intersectorielle qui évitent les contradictions coûteuses entre orientations spécialisées. Grâce aux procédures de concertation et d'évaluation stratégique qu'ils favorisent, les chartes, plans et agendas 21 locaux paraissent donc capables de diminuer certains coûts collectifs en promouvant une vision globale des processus.

On a vu que les techniques de comptabilité et la structure des services dans les collectivités ne semblent pas aujourd'hui adaptées à ces évolutions organisationnelles, ce qui débouche une fois encore sur des difficultés importantes pour isoler les coûts des formes urbaines et des systèmes qu'elles impliquent. Nous tentons ci-après une approche de ces coûts sous deux angles : celui du bâti et de l'habitat, celui des transports urbains.

## **Urbanisme et habitat**

Rappelons qu'il ne s'agit pas ici de reconstruire une politique de l'urbanisation, ni de remettre en cause l'objectif d'améliorer le confort et la sécurité des logements ; nous ne nous placerons que du point de vue de l'évaluation économique, pour l'exercice de laquelle plusieurs éléments de contexte sont apparus importants au groupe de travail. Pour aborder ce sujet très complexe, nous avons retenu deux points de vue : les bâtiments eux-mêmes, leurs caractéristiques techniques et leurs marchés ; les dynamiques de l'urbanisation et les jeux d'acteurs impliqués.

## Le logement

### Les performances intrinsèques des bâtiments

Le bâtiment (habitat et secteur tertiaire) est avec les transports un domaine prioritaire pour les économies d'énergie : il représente en effet 35 % de la consommation française d'énergie (41 % avec le fonctionnement des équipements) et 25 % des émissions nationales de CO<sub>2</sub>. Selon [144], si la France a économisé en 15 ans le quart de sa consommation pétrolière sous l'effet des chocs des années 1974 et 1985, cet effort a essentiellement porté sur la consommation des entreprises et la production d'énergie nucléaire. Aujourd'hui, les réserves d'économies d'énergie à l'horizon 2020 s'établiraient environ comme suit :

Secteur	Habitat	Transports	Agriculture	Industrie
Potentiel (TWh)	31	22	17	13

À cet horizon en effet, la croissance de la consommation des pays du Sud reste à l'échelle mondiale inférieure aux potentiels d'économie des pays du nord [144]. Les politiques d'économie d'énergie dans les pays développés restent donc prioritaires même de façon absolue. Or, si les investissements induits dans le logement par les formes urbaines commencent à faire l'objet de suivis (Bature, CDC), ce n'est pas le cas des coûts de fonctionnement associés, notamment des charges diverses liées au bâtiment.

La qualité environnementale des bâtiments est associée à une réduction des coûts associés aux impacts correspondants. Outre l'insertion paysagère et énergétique (disposition des bâtiments les uns par rapport aux autres, transports induits), les relations d'un bâtiment avec son environnement comprennent :

- l'énergie, préoccupation majeure précédemment citée ;
- l'eau, qu'il faut économiser en s'orientant vers l'utilisation des eaux « grises » ;
- la ventilation des immeubles, car les défauts des dispositifs actuels commencent à poser des problèmes (santé publique, dégradation de certains logements) ;
- les nuisances sonores, internes et externes au bâtiment ;
- la collecte sélective des déchets qui impose des aménagements en architecture et aménagement ;
- l'utilisation des matériaux de construction en fonction des préoccupations d'environnement et de santé publique, ainsi que pour la réutilisation des gravats et la réduction des volumes de déchets ultimes [81]. L'accord passé entre la Fédération nationale du bâtiment (FNB) et le ministère de l'Environnement vise à promouvoir et généraliser les pratiques de construction économes en terme de coûts de fonctionnement induits et d'impacts environnementaux, notamment pour les chantiers et gravats [82].

Les choix énergétiques pour le fonctionnement des bâtiments doivent se faire d'une part en fonction de la possibilité pour l'utilisateur de régler facilement le chauffage et l'éclairage, d'autre part en fonction de l'efficacité énergétique et environnementale totale du système choisi (rendements globaux à partir de la source d'énergie primaire, contribution à la pollution locale et régionale et à l'effet de serre). La loi du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie impose des diagnostics et suivis énergétiques des performances des bâtiments. Parallèlement, dans un souci de santé publique, les questions sanitaires liées à la qualité de l'air intérieur devront être approfondies (épidémiologie, entre autres).

La consommation énergétique des bâtiments neufs a été considérablement améliorée par la réglementation thermique de 1989 ; une sévèrisation est en cours dans le secteur tertiaire (objectif de réduction de 25 % de la consommation énergétique actuelle). Elle doit être appliquée aux bâtiments publics, et les processus de réhabilitation de l'existant réexaminés en ce sens quant aux choix techniques et aux méthodes de financement. Comme la moitié de la production de logements neufs est le fait de constructeurs de maisons individuelles, un effort d'information, de diffusion et de contrôle de l'application de la réglementation existante doit être mené dans leur direction. Effectivement, entre 1982 et 1990, 54 % des urbanisations nouvelles franciliennes ont concerné l'habitat, dont 50 % pour l'individuel et 4 % pour le collectif [87].

### **Les marchés du logement : des déterminants sociaux lourds**

L'expression « marchés du logement » suggère des marchés dans lesquels une information judicieuse convenablement répartie entre les acteurs suffit à en réguler le fonctionnement, en faisant apparaître les coûts induits par les différents choix possibles. Mais les logiques à l'œuvre dans ces domaines relèvent assez peu de calculs économiques usuels, et plus souvent de comportements sociaux non réductibles à de tels calculs. Ainsi, sur les sept types de marchés fonciers et immobiliers que l'on peut répertorier en France, deux seulement fonctionnent suivant les rapports de l'offre et de la demande. Les autres dépendent trop de régulations administratives ou de facteurs comportementaux pour que ce principe puisse en rendre compte (Jean-Paul Lacaze, [83]).

Ainsi, la décohabitation des familles (réduction des tailles des ménages, séparation parents/enfants) a contribué à faire croître la demande d'espace : de 1962 à 1990, l'espace d'habitation est passé de 0,95 à 1,33 pièce par personne en Île-de-France, soit un gain de 40 % (Vincent Fouchier). Aujourd'hui, quelle peut être l'influence de la crise économique sur le regroupement des familles pour raisons financières (la progression des revenus ne se fait plus régulièrement au cours de la vie, les enfants quittent leurs parents de plus en plus tard) et donc sur la demande de logements ?

Comme l'écrit le directeur de l'Agence de développement et d'urbanisme du pays de Brest (ADEUPa), Marc Wiel, « le temps,

l'histoire, les jeux d'acteurs au travers des institutions, transforment et rendent caduque la meilleure reconstitution des préférences instantanées des acteurs » [84]. En particulier, pour espérer maîtriser en partie les coûts induits, il devient capital de tenter d'éclairer les règles d'évolution du prix du foncier, déterminant important des modes de production urbaine [83], dont les principaux facteurs pourraient être :

- les comportements patrimoniaux (héritages) ;
- les rigidités structurelles de marchés de biens non mobiles ;
- le rôle des marquages sociaux de l'espace, qui permet selon Jean-Paul Lacaze d'établir un parallèle entre la formation des prix des logements et ceux des œuvres d'art ;
- le fait que le marché des logements existants joue un rôle directeur et régulateur pour l'ensemble des autres marchés fonciers et immobiliers.

## L'urbanisation

### Étalement et environnement

Les enjeux collectifs liés à l'urbanisation sont nombreux. Nous indiquons en annexe les éléments de leur description recommandés pour toute étude d'impact d'un projet urbain. Citons ici :

- la fourniture de logements en qualité et nombre suffisant pour la population concernée ;
- le maintien de la fonction de socialisation et d'intégration (contre la ghettoïsation, facteur de tensions et de vulnérabilités tant individuelles que collectives) ;
- l'efficacité économique [118] ;
- le maintien et le développement des aménités urbaines (attractivité pour les résidents voire les touristes, qu'il s'agisse du cadre de vie, des fonctionnalités offertes ou des chants d'oiseaux !) ;
- la consommation d'énergie, notamment par l'habitat, les transports, la polarisation du territoire ;
- la consommation d'espace, notamment par la place des transports routiers ;
- le bruit ;
- la pollution de l'air, qu'elle vienne des chaufferies, des habitations, des entreprises ou des transports ;
- les risques, notamment naturels (constructions en zones inondables, en zone de glissements de terrain, d'avalanches...).

La question posée est de savoir si et comment l'évaluation économique peut permettre, dans un univers aussi complexe, d'évaluer les décisions permettant de minimiser les impacts négatifs des décisions d'urbanisme tout en atteignant ses objectifs, qualitatifs et quantitatifs, pour les logements et les espaces urbains.

D'un point de vue spatial, l'urbanisation consomme chaque année en France entre 500 et 600 km<sup>2</sup> d'espace, principalement prélevés sur des terres agricoles (70 % de cette avancée urbaine) [85]. Par exemple, 440 km<sup>2</sup> supplémentaires devraient être urbanisés en Île-de-France d'ici 2015 ([86], [87]). En 1990, les cantons périurbains représentaient 58 millions de km<sup>2</sup>, 12 millions d'habitants (près du quart de la population française), avec une densité moyenne de 208 habitants par km<sup>2</sup>.

L'étalement des villes recouvre deux phénomènes : d'une part la croissance des surfaces occupées par elles, d'autre part la dédensification du tissu urbain, notamment, mais pas seulement, en périphérie des agglomérations et des communes. Dans les années soixante-dix, le choc pétrolier fit craindre que les formes peu denses d'habitat (périphéries, mitages des campagnes) n'induisent des dépenses considérables du fait des réseaux à construire (énergie, assainissement, voirie) et des comportements induits (en transports notamment). On trouve ainsi dans [93] (ministère de l'Équipement), la comparaison des coûts de fonctionnement communal par construction nouvelle en habitat groupé et en tissu lâche (180 m de chaussée par construction nouvelle).

### Coûts de fonctionnement communal par construction nouvelle

Coûts (en F 1977/an)	Habitat groupé	Tissu lâche	Commentaires
Réseaux eau-électricité	240	367	1 primaire et 1 secondaire
Entretien chaussée	100	240	
Ramassage scolaire	0	466	
Distribution du courrier	80	103	
Ordures ménagères	120	230	
Total commune	<b>540</b>	<b>1 406</b>	
Transport individuel domicile-travail	0	1 576	trajet de 2 km, 3 allers-retours/jour, 0,36 F/km
Total général	<b>540</b>	<b>2 982</b>	

Depuis, les effets conjugués de la baisse des prix du pétrole, de la décentralisation et de l'éparpillement des acteurs semblent avoir, jusque très récemment, interrompu ces études.

Selon [94], « les communes qui de rurales sont devenues urbaines ont connu une vive progression [de leur population] : +1,7 % par an entre 1936 et 1990. Les prix élevés du marché immobilier dans les pôles principaux, le type d'habitat plus vieux et inconfortable en centre ville, la création d'ensembles locatifs excentrés et pour certains le désir d'accession à la propriété : autant d'éléments qui ont conduit au développement des banlieues. Près des deux-tiers des communes de plus de 50 000 habitants ont perdu des résidents entre 1975 et 1990 au profit de leur périphérie, dont les huit plus importantes : Paris, Marseille, Lyon, Toulouse, Nice, Strasbourg et Bordeaux. Ce sont les communes rurales périurbaines, dans la mouvance des grandes agglomérations, qui se développent le plus vite. Plus le pôle d'attraction est grand, plus la croissance de cette population est forte. Ainsi, aux alentours de Paris, le nombre d'habitants en communes périurbaines croît de 2,5 % par an sur les vingt dernières années, contre 0,5 % pour l'ensemble de la France... Cadre de vie, terrain à prix abordables, essor des infrastructures, généralisation de la voiture, expliquent aussi l'attractivité de ces communes. »

Aujourd'hui, le processus d'étalement observé diffère suivant deux catégories de taille d'agglomération : si l'on considère la distance

entre une commune-centre d'agglomération et une commune périphérique comme étant la distance séparant leurs centres-ville respectifs, l'étalement des villes de moins de 500 000 habitants, mesuré par le rayon dans lequel on trouve la moitié de la population de l'agglomération (distance médiane), semble indépendante de la taille de celle-ci [97] ; elle se trouvait en 1990 entre 5 et 7 km. L'étalement s'y est surtout traduit entre 1982 et 1990 par une densification de la zone située entre les distances médiane et « nonantane » (regroupant 90 % de la population). En revanche, les agglomérations de plus de 500 000 habitants se sont étendues dans cette période au-delà de la distance « nonantane ».

La dédensification des agglomérations se produit à la fois par désurbanisation des centres-ville notamment par création d'espaces verts ou de friches urbaines, et par production d'urbanisation périphérique peu dense. Ainsi, comme le souligne Vincent Fouchier dans le cas de l'Île-de-France : « Cette tendance à la désurbanisation se traduit même spatialement, puisque Paris intra-muros a vu se transformer 115 hectares d'espaces urbains, devenus parcs et jardins, entre 1982 et 1990. La désurbanisation s'accompagne d'une dédensification humaine : Paris intra-muros perd à la fois populations et emplois depuis plusieurs années (-24 000 habitants et -12 000 emplois par an entre 1982 et 1990). Or, en raison des différentiels de densité, la création d'un hectare de parcs dans Paris équivaut à consommer neuf hectares d'urbanisation nouvelle en périphérie pour compenser la dédensification opérée dans le centre. Introduire la nature en ville oblige donc à détruire la nature en périphérie » [87]. Certes, les populations concernées par les espaces verts urbains d'une part, l'extension périphérique d'autre part, ne sont en général pas identiques ; mais l'écart entre les consommations d'espace requises pour une même population reste réel.

Cette urbanisation s'est faite surtout aux dépens de terres agricoles, moins sur des terrains boisés : 70 % des surfaces occupées par les zones urbaines créées entre 1982 et 1990 sont d'anciennes terres cultivées. C'est encore davantage le cas pour les nouvelles zones de loisirs (parcs, golfs, terrains de sports...) [85]. Le choix d'occuper des terrains non encore urbanisés plutôt que de densifier l'existant répond à plusieurs facteurs, dont l'un est le coût apparent de l'opération pour le promoteur et le maître d'ouvrage et son degré de complexité. Néanmoins n'apparaissent pas dans les coûts envisagés ceux que représente la perte d'un potentiel agricole situé très près de sa clientèle potentielle : frais de transport et dépenses énergétiques réduits, possibilité accrue de ventes directes et donc de maintien d'exploitations assez nombreuses et diversifiées, traçabilité simplifiée des produits et donc confiance du consommateur, possibilité pour les citoyens de mieux connaître certains apports de la campagne à la ville et les contraintes liées à leur préservation, comme le montrent de nombreux exemples à Rouen, Grenoble, Lyon, Brest [88]. L'activité agricole périurbaine représentait en 1990 environ 3 millions d'hectares (10,4 % de la surface agricole utile), 127 000 exploitations et 401 000 personnes. La pression foncière qui pèse sur les exploitations rend leur avenir plus incertain qu'ailleurs malgré la clientèle proche et forte, ce qui tend à leur faire adopter une attitude en moyenne plus



attentiste que le reste de la profession. Effectivement, on ne peut attendre du fonctionnement du marché de réaliser un équilibre de mixité spatiale en périurbain, puisque le prix de la terre agricole se situe autour de 3 F/m<sup>2</sup> et celui des terrains à urbaniser autour de 500 F/m<sup>2</sup>. Aujourd'hui, « il existe rarement une demande spontanée pour les services que peut proposer une exploitation agricole : l'heure n'est pas encore à se partager un marché, mais plutôt à l'inventer et le faire croître » [88].

Selon Peter Calthorpe, l'urbanisation dans le monde suit un processus de zonage (voir aussi [106, p. 228]) qui demanderait un meilleur équilibre entre la spécialisation par activité et l'intégration des fonctions urbaines. Elle implique aujourd'hui une standardisation des produits et des matériaux offerts, qui conduit à perdre à la fois la culture et l'environnement locaux. Les villes, comme les entreprises ou les équipements, ont tendance à croître en taille, tandis qu'y diminuent les parties communes et les lieux de socialisation, au profit d'une logique d'individualisation [101]. Néanmoins, cette logique rencontre des limites, notamment dans les coûts collectifs de gestion (infrastructures), les implications environnementales (pollutions) et sociales (ghettoïsation).

### **Jeux d'acteurs**

Les résultats d'une évaluation économique sont très liés, d'une part, à l'observateur du point de vue duquel elle se place, d'autre part, pour un même objectif visé, à la façon dont les acteurs s'organisent pour l'atteindre. Dans le cas de l'étalement urbain, la question de l'observateur et de l'organisation se pose donc ; là aussi, elle est complexe.

Parmi les mécanismes qui entraînent l'étalement urbain [100], pour nous en tenir aux jeux d'acteurs, on constate qu'à côté d'intervenants nationaux ou locaux multiples, l'État détient en matière d'habitat et de construction des responsabilités essentielles :

- les moyens budgétaires, financiers et fiscaux de la politique nationale du logement ;
- la politique d'information (soutien aux « villages expo ») ;
- la politique réglementaire, notamment en matière d'environnement ;
- la tutelle des maîtres d'ouvrage publics, qui appliquent les politiques et peuvent mobiliser les acteurs locaux ;
- la capacité de recherche et d'expérimentation (CSTB, PCA...).

Qu'il s'agisse de logements ou de zones d'activités, les jeux de rôles institutionnels créent un processus de production d'espace urbain dont aucun acteur n'a la maîtrise [84] et qui pousse à l'étalement des villes sans pilotage d'ensemble :

- une grande partie des ménages motorisés désire une maison individuelle abordable ;
- la rétention foncière n'est pas pénalisée ;
- les communes urbaines ne peuvent à bon marché intervenir sur le coût du foncier, et préfèrent jouer de la taxe professionnelle pour accueillir des activités, ou réhabiliter l'existant ;
- les communes périurbaines ont besoin des apports fiscaux des nouveaux ménages, qui sont d'abord plus avantageux que les coûts induits, et leurs

communautés de communes n'ont pas le pouvoir d'imposer une politique foncière d'ensemble ;

– le Conseil général « subit une forte demande routière de la part de ses conseillers, il ne rechigne pas à faire payer par la majorité des contribuables urbains des infrastructures demandées par la majorité rurale de ses conseillers », et « la structure viaire de la ville de demain est constituée par le réseau financé par le département » [84] ;

– « l'État routier », préoccupé par la fluidité des réseaux, multiplie les contournements d'agglomération, qui modèlent ensuite l'urbanisation ;

– « l'État constructeur » considère que « quand le bâtiment va tout va » [84].

La commune périphérique joue donc dans l'agglomération le rôle politique de l'ancien quartier, à mesure que l'agglomération s'étend : « le territoire de la ville est celui qui permet d'aller au centre-ville en une demi-heure en voiture. Cette durée circonscrit maintenant l'aire des échanges urbains (aire de solidarité) » [84]. Or, il n'existe pas d'entité organisationnelle de pilotage, ni d'observateur identifié correspondant à cette échelle, notamment dans le domaine fiscal (les impôts locaux sont en grande partie perçus par le Land en Allemagne, mais par la commune en France).

Comme par exemple dans le cas de la politique des déchets ménagers, on voit qu'il faut tenir compte des scénarios institutionnels et des relations des acteurs entre eux pour déterminer la faisabilité et le coût des évolutions des extensions urbaines, non seulement parce que les articulations de compétences et d'intérêts (dont aucune instance n'a la régulation globale) constituent autant de biais dans les prises de décisions successives, mais aussi parce qu'elles déterminent les conditions de redistribution des avantages et inconvénients de ces décisions. Ainsi, la participation des citoyens au tri et la coopération des industries et des communes pour la gestion des emballages ont permis d'effectuer ces opérations à un coût moindre [82].

### **Gérer l'existant : le fonctionnement d'abord**

Les marges de manœuvre financières des collectivités locales semblent réduites pour un certain temps. On peut estimer que les vingt prochaines années seront marquées par la nécessité d'optimiser la gestion de l'existant plutôt que par une création importante d'équipements. Les circonstances sont favorables au fait de porter davantage attention aux frais et modes de fonctionnement induits par les choix d'investissements : l'urbanisme de dalle (Argenteuil, Sartrouville, Tolbiac, etc.) s'est avéré ruineux en création et en entretien et peu convivial ; les espaces verts classiques sont aussi d'un entretien coûteux : ainsi la ville de Paris leur consacre-t-elle environ 1,3 milliard de francs par an, soit 20 % du budget municipal. Il est possible d'imaginer des modes de gestion plus participatifs permettant à la fois l'appropriation par les habitants de leur cadre de vie et une diminution de ces dépenses ; d'autre part, au titre des coûts collectifs environnementaux figurent les pollutions des eaux induites par la gestion intensive de ces espaces (engrais, pesticides), ainsi que le gel des potentialités biologiques (y compris agricoles) des surfaces imperméa-

bilisées, et leurs impacts en terme de ruissellement. Une information et une diffusion de pratiques mieux adaptées permettraient la réduction des intrants et des coûts. De manière générale, des interventions désormais axées sur le fonctionnement devraient être accompagnées par une révision des critères d'attribution d'aides aux collectivités (investissement *versus* fonctionnement) [7]. Elles permettraient de surcroît de soutenir davantage l'emploi que le matériel.

De même que le choix entre investissement et fonctionnement infléchit largement la nature et l'efficacité de l'intervention publique, la source du financement (consommateur ou contribuable) influe sur les modes de régulation de ces dépenses et sur leur ressenti collectif, donc sur la plus ou moins grande facilité perçue pour y avoir recours. Aujourd'hui, les réseaux collectifs sont financés de façon mixte, par le contribuable et par l'utilisateur, avec des proportions variables suivant les secteurs : plutôt le contribuable pour les déchets (94 %) et l'utilisateur pour les eaux usées [95]. Pour ce qui concerne les réseaux de transports, d'après [119], on trouve pour 1993 en Île-de-France (hors véhicules utilitaires) : 40,3 milliards de francs venant des entreprises et administrations, 114,8 milliards de francs venant des ménages (utilisateurs) et 23,5 milliards de francs venant des collectivités (contribuables), soit respectivement 22 %, 62 % et 13 %, le reste (5,6 milliards de francs, soit 3 %) étant notamment composé d'emprunts. Du point de vue du financement par l'utilisateur, les transports se situeraient donc en position intermédiaire entre les secteurs de l'eau et des déchets.

Une part importante des coûts urbains sont aujourd'hui représentés par des coûts de réhabilitation : il existe environ 100 000 hectares de friches urbaines en France. La plupart demandent une réhabilitation afin d'éviter la déqualification progressive des territoires voisins. L'exemple de l'Île Seguin montre que ces coûts directs sont élevés : entre 1 et 7 MF/ha, autour d'une moyenne de 3 MF/ha, ce qui représenterait 300 milliards de francs pour les friches urbaines nationales. Ces coûts sont bien plus élevés que ceux de création d'espaces nouveaux (20 kF/ha selon CDC Consultants). Ainsi, la majeure part des investissements urbains à plus de 30 ans (réseaux, friches) sont aujourd'hui destinés à réparer les erreurs du passé et non à structurer des effets externes positifs pour l'avenir. Nous avons ici un exemple du coût de passifs dont l'éventualité n'a pu être prise en compte dans les décisions de départ, notamment concernant la qualité et l'adaptabilité du bâti décidé. Ceci étant, le renouvellement du tissu urbain fait partie de l'évolution normale des villes, et toutes les évolutions ne peuvent être anticipées à distance de 50 à 100 ans (c'est le cas par exemple pour l'expansion de l'automobile, vue du début du XX<sup>e</sup> siècle).

### **Adéquation aux besoins pour éviter les surprises ?**

Nous avons rappelé ci-dessus l'influence des scénarios sociaux (coopération plus ou moins forte) sur l'évaluation des coûts des décisions. La primauté des questions de fonctionnement et les

contraintes financières demandent qu'une attention croissante soit portée aux modes de participation des citoyens pour la définition de leurs besoins, l'adéquation des organisations possibles et la maîtrise des coûts de gestion. Il est donc indispensable de faire débattre tous les acteurs concernés en amont, pendant le cours et en aval des études d'infrastructures, notamment sur les critères d'évaluation des projets, sous peine de multiplier les coûts inattendus [84]. En particulier, quel serait l'effet, compte tenu de l'inertie des systèmes urbains, d'un renchérissement important des coûts de transport ou d'une baisse de disponibilité des carburants à l'horizon 2020, ce qui correspond à quelques-uns des scénarios élaborés par le Commissariat général du plan (*Energie 2010-2020*, 1997) ?

### **Trouver un pilote ?**

Les pays et les agglomérations, échelles proposées par la loi d'orientation sur l'aménagement du territoire, sont-elles susceptibles de fournir une échelle organisationnelle cohérente avec les aires de solidarité urbaines définies par les bassins d'emplois ? Un grand nombre de ressources peu ou non renouvelables demandent en effet à être mieux exploitées, entretenues ou préservées. C'est le cas des zones de calme, des espaces agricoles, du patrimoine naturel périurbains, mais aussi par exemple des ressources en eau : ainsi, 18 000 m<sup>3</sup>/an sont aujourd'hui disponibles aux USA en 1995 pour chaque habitant, mais selon certains prospectivistes, il n'y en aurait plus que 2 000 m<sup>3</sup>/an en 2025 compte tenu des consommations et pollutions actuelles [101].

## **Urbanisme et transports**

Le thème des transports, vu sous l'angle des coûts (budget, temps passé) et bénéfiques (gains de temps) qu'ils génèrent pour les individus (déplacements contraints notamment), a été traité dans un chapitre précédent. Nous examinons maintenant les relations entre urbanisme et transports, en terme de choix modaux, de coûts évaluables et de risques de rupture.

### **Poids et tendances des transports urbains**

La part des transports dans la consommation énergétique nationale est importante (60 %), ainsi que les impacts environnementaux qui lui sont liés [106] : plus de 60 % de la consommation de pétrole, 35 % des émissions de CO<sub>2</sub>, un tiers des émissions d'hydrocarbures non méthaniques (HCNM) et de particules, 71 % des NO<sub>x</sub>, 87 % du CO, 80 % de la croissance du CO<sub>2</sub> de l'Union européenne (qui est estimée à 7 % environ de 1990 à 2000). La route correspond dans ce total à 80 % de la consommation de carburants, entre 80 et 98 % des émissions de polluants, et plus de 60 % des investissements publics d'infrastructures de transport depuis 1983.

Les transports urbains (au sens du bassin d'emploi) sont contributeurs majeurs pour la plupart de ces impacts, essentiellement à travers le mode routier, personnes et marchandises : 75 % des COV, 66 % du CO, plus de 60 % de l'énergie et du CO<sub>2</sub> (dont 20 % en interurbain proche, le bassin de vie), 35 % des NO<sub>x</sub> et particules. Même en ville, le transport routier de marchandises représente la moitié de ces impacts, dont 60 % des émissions de particules ; il sera en France en 2010 le premier fournisseur de précurseurs d'ozone et de particules fines.

### Les modes routiers dans les transports urbains

	Conso.	CO2	NOx	Partic.	CO	HCNM	SO2
VP	55 %	55 %	40 %	40 %	50 %	65 %	50 %
TRM	40 %	40 %	35 %	60 %	21 %	15 %	50 %
2 roues						20 %	

Sources : Ademe, Inrets, [106]

## Coûts des transports et formes urbaines

### Des coûts variables suivant l'observateur

Les coûts du transport urbain varient suivant le point de vue. Si l'on se place du point de vue du concessionnaire de l'ouvrage à péage par exemple, l'important est le consentement à payer de l'utilisateur de l'infrastructure pour le temps et le confort éventuels qu'il gagne à l'emprunter ; ceci dépend bien entendu du revenu de chaque usager. De ce point de vue, [122] suggère une capacité à payer pour les franciliens de 30 F/heure en moyenne (33 F à Paris, 25 F en petite couronne et 28 F en grande couronne) pour des déplacements personnels (porté à 40 F/l'heure après les travaux de [126]) et de 200 F/heure pour des déplacements professionnels. Comme la répartition des revenus moyens en Île-de-France n'est pas uniforme, une « valeur du temps » moyenne n'est d'aucune utilité pour évaluer la rentabilité financière d'un ouvrage ou d'un service donné (voir en deuxième partie du rapport la discussion théorique de cette notion).

Le coût ressenti par trajet effectué dépend aussi de l'observateur, suivant qu'il s'agit du client de l'ouvrage ou du service, de la collectivité gestionnaire ou de l'ensemble des cofinanceurs, ou de la collectivité qui intègre les gains de temps réalisés, comme le montre le tableau ci-dessous (*Coût d'un déplacement en Île-de-France en 1993*).

Une autre conclusion de ce tableau est que le coût d'un trajet, pour un même observateur et un même mode, dépend de la forme urbaine, puisque les résultats sont très différents suivant la densité de la zone dans laquelle se situe le parcours.

Ces chiffres montrent aussi que le coût ressenti par le voyageur pour se rendre de la grande couronne à Paris est dorénavant plus élevé pour les transports en commun que pour l'automobile (alors que pour

l'ensemble des financeurs, l'ordre reste inverse), ce qui peut être en relation avec la désaffection des transports collectifs enregistrée récemment. Une politique des transports urbains doit prendre en compte ce type d'éléments dans son élaboration. Rappelons que de 1959 à 1992, le prix du carburant en francs constants a diminué de 33 % tandis que celui du ticket de bus s'élevait de 65 % [106].

### Coût d'un déplacement en Île-de-France en 1993

Coût d'un déplacement (en francs)	Coût ressenti par le voyageur (avec le stationnement)		Coût tous financeurs confondus (dont infrastructures)		Coût économique* et social (motif personnel)		Coût économique* et social (motif professionnel facturable)	
	TC	VP	TC	VP	TC	VP	TC	VP
Paris-Paris	3	9,5	8	15	25	28	114	92
Paris-petite couronne	6	8,5	13	22	38	42	180	148
Paris-grande couronne	14	13,5	28	51	65	85	266	247
Petite-petite couronne	7	3,5	17	10	34	18	157	74
Petite-grande couronne	18	7	42	30	73	50	269	160
Grande-grande couronne	8	2,7	18	10	37	18	149	64

\* dont : nuisances selon le Compte Transports Île-de-France de 1993 (valeurs très faibles devant celles utilisées aujourd'hui), valeur du temps, valeur de l'espace urbain consommé, accidents.

Il faudrait, du point de vue social, inclure dans les coûts ci-dessus ceux des impacts environnementaux et sanitaires des déplacements : les monétarisations sont très variables suivant les modes, et varient aussi d'un pays à l'autre pour un même mode dans les mêmes conditions ; de nombreux paragraphes de ce rapport et le chapitre « Coûts des effets sur la santé de la pollution atmosphérique » p. 268 illustrent et commentent cette variabilité. Ainsi, les coûts du transport de personnes estimés en France [133], par la D.G. VII de la Commission européenne [141] ou en Suisse et en Autriche (étude [142]) vont-ils du simple au sextuple :

### Coûts environnementaux et sanitaires

En cts 1994 par voy.km	[133]	[141]	[142]
VP	4,9	23,1	32,6
Rail	0,1	5,2	6,5

### Selon les densités

Selon les densités urbaines, les impacts environnementaux varient. Nous l'avons vu en terme de consommation d'espace ; c'est aussi le cas pour d'autres paramètres. Ainsi, selon [127], en prenant comme mesure de la densité le nombre d'habitants et d'emplois (P+E) à l'hectare urbanisé (hors parcs et jardins), les valeurs prises par quelques indicateurs de pollution en zones franciliennes de densité minimale, par rapport aux zones de densité maximale, sont les suivantes :

- distance journalière parcourue : multipliée par 2,3 en zone de densité minimale par rapport au centre le plus dense ; le nombre moyen de kilomètres parcourus annuellement en voiture est de 15 000 km pour les immatriculations en grande couronne, 10 000 km en petite couronne et 5 000 km au centre de l'agglomération parisienne ;
- consommation énergétique : multipliée par 3,2 ;
- émissions de CO<sub>2</sub> : multipliées par 4,4 ;
- émissions de CO : multipliées par 4,4 ;
- émissions d'hydrocarbures : multipliées par 4,2 ;
- émissions de NOx : multipliées par 6 ;
- émissions de particules : multipliées par 2,7.

On constate donc que les pollutions varient plus fortement que les distances parcourues. Ceci exprime le fait que le mode prédominant en zone peu dense, l'automobile, est moins efficace énergétiquement et environnementalement que les modes privilégiés en zone dense, transports collectifs, bicyclette et marche. Comme l'écrit Vincent Fouchier, « le résultat est que plus la densité de la commune de résidence est forte, moins l'individu porte atteinte à l'environnement par ses déplacements » [127].

De plus, selon les densités urbaines (toujours mesurées par P+E), l'efficacité des modes de transport varie. Dans [126], on évalue, en région Île-de-France, le coût pour la collectivité d'un déplacement permettant à un résident d'une zone donnée d'avoir accès à 500 000 emplois théoriques (de parcourir le rayon de la surface contenant 500 000 emplois). On trouve alors les performances suivantes, par ordre d'efficacité décroissante (c'est-à-dire de coûts croissants pour la collectivité), avec un consentement à payer pour le temps gagné de 40 F/heure :

### Coûts pour la collectivité d'un déplacement

Emplois par hectare (E brut)	>200	120-200	60-120	<60	60-200	<60	>200
------------------------------	------	---------	--------	-----	--------	-----	------

Mode	Méto	Méto léger en site propre intégral	Tramway en site propre au sol	Automobile	Auto ou bus sur voirie banalisée	Bus	Automobile
Coût pour la collectivité (tous financeurs) du déplacement domicile-travail	36 F (25 F)	47 F	83 F	107 F	102-113 F	107-122 F	113 F

L'auteur souligne que « le coût pour la collectivité du mode “optimal” (suivant ces critères) triple lorsque la densité est divisée par dix : il est trois fois plus élevé en deuxième couronne qu'à Paris. Le coût pour la collectivité de l'automobile varie en sens inverse mais plus faiblement (-20 % lorsque la densité décroît de 400 à 40 P+E) ». En tenant compte des parts modales réelles dans les différentes zones franciliennes, on obtient les coûts de transport optimaux et observés dans ces diverses zones, figurés p. 258. La conclusion est que, si on ne peut espérer beaucoup diminuer les coûts de transport en deçà de 80 (P+E) à l'hectare, en revanche, la part modale de l'automobile est encore très élevée pour les densités supérieures, et un transfert modal vers les transports collectifs et déplacements « doux » serait pour la collectivité source d'économies importantes [126].

Ces deux exemples, portant sur les coûts des pollutions et les coûts des déplacements, illustrent comment le calcul économique peut contribuer à éclairer un processus de décision, même s'il ne peut à lui seul trancher entre toutes les options possibles (voir le paragraphe sur les crises ci-après).

Compte tenu des densités d'emplois existant dans les différentes zones de l'Île-de-France et des performances en temps des modes, les conséquences pour les résidents concernés apparaissent dans le tableau suivant [126].

**Nombre d'emplois accessibles en 30 mn selon le lieu de résidence et le mode de transport en Île-de-France**

(VP : véhicule particulier ; TC : transports en commun)

	Paris	1 <sup>re</sup> couronne dense proche	1 <sup>re</sup> couronne plus éloignée	2 <sup>e</sup> couronne
Densité d'activités Population+Emplois par hectare (P+E/ha)	600 à 1 100	200 à 600	100 à 200	20 à 50
Densité moyenne d'emplois à l'ha	200	60	25	10



Rayon de la zone d'accessibilité à 500 000 emplois	2 820 m	5 150 m	7 980 m	12 620 m
Emplois accessibles en VP en moins de 30 mn (temps de recherche de stationnement nul)	>1,5 million	900 000	850 000	550 000
Emplois accessibles en TC en moins de 30 mn (dont autour de 10 mn de parcours terminaux)	>1,5 million	120 000 à 230 000 (autobus) >1 million (métro léger)	100 000 à 190 000 (autobus) 220 000 à 420 000 (tramway en site propre au sol)	30 000 à 70 000 (autobus)

Cependant tous les métiers n'ont pas le même rayon de chalandise : un boulanger, un informaticien, ou un spécialiste en balistique n'ont en principe pas besoin, pour chercher un emploi adapté, de parcourir les mêmes distances. La question des conditions nécessaires à l'accessibilité des emplois ne se pose donc pas dans les mêmes termes pour toutes les professions.

Il est clair que les habitants non motorisés de la petite, mais surtout de la grande couronne, sont fortement pénalisés professionnellement par rapport aux populations de zones denses, ce qu'il ne peuvent compenser qu'en allongeant les parcours quotidiens. « Toutes les couches de la population n'ont pas le même accès au transport, notamment automobile. L'accès à l'automobile est intimement lié aux revenus (mais aussi à une aptitude à la conduite) et il est relativement autonome vis-à-vis de l'espace, alors que l'accès aux transports en commun est très spatialisé, en fonction de l'offre, elle-même déterminée par la masse et la densité de population en présence... On touche ici à l'enjeu d'équité sociale que représente la mobilité. L'automobile n'est pas accessible à tous ; on ne peut donc pas planifier des villes uniquement conçues pour elle. L'âge, les revenus, la disponibilité d'un véhicule, la capacité de conduire, la possibilité d'accéder à pied ou à bicyclette dans un rayon raisonnable aux principales destinations, la présence d'une desserte en transports en commun, etc., sont parmi les facteurs importants justifiant une certaine prudence du planificateur à l'égard du "système urbain automobile" » [127].

Ainsi, un pourcentage relativement faible, mais sensible, de la population est forcé de consentir des temps de parcours de plus d'une heure, souvent sous peine d'éviction économique. L'Insee montre que, pour les ouvriers et employés, l'accession à la propriété s'est traduite par un allongement du temps de parcours domicile-travail, même lorsqu'il s'agit de logements collectifs. Dans le cas des cadres ou professions intermédiaires, seul un choix volontaire d'un certain cadre de vie conduit à allonger les trajets. Si la moitié des actifs d'Île-de-France font moins de 5,7 km pour se rendre à leur travail, 11 % font plus de 20 km (*Économie et statistique*, Insee, juillet 1996) et 4% produisent 40% des trajets en voyageurs-km [115]. C'est un élément de vulnérabilité important des systèmes urbains. Déjà, des éléments indiquent que certaines populations peu aisées sont dans une situation économiquement très sensible au

renchérissement des coûts de transport : d'après une étude de l'aurif, malgré une motorisation moyenne importante (2,3 véhicules par ménage) et une faible desserte en transports en commun, les habitants de communes comme Sainte Geneviève aux Bois (Essonne) utilisent peu leur voiture pour se rendre au travail et consentent de longs trajets quotidiens. L'étude suggère que ce décalage provient de ce que la plupart de ces ménages possèdent de vieilles voitures et ne peuvent acquitter le montant des réparations obligatoires que leur demanderait un contrôle technique. Ils renoncent alors à les utiliser. Cet exemple illustre la fragilité économique du mode de vie périurbain pour les ménages les moins aisés.

Faut-il en conclure que, pour rééquilibrer les chances d'accès à l'emploi de la population comme pour améliorer l'état de l'environnement urbain, la redensification des villes est la mesure décisive ? De nombreux pays font des choix concrets d'urbanisme explicitement en ce sens. C'est le cas des Hollandais, des Britanniques ou des Norvégiens, et du Livre Vert de la Commission européenne sur l'environnement urbain de 1990 ([86], [127], [106]).

Nous reproduisons ici une contribution de Vincent Fouchier [127].

« Les autorités publiques locales et nationales britanniques, hollandaises, norvégiennes, etc., ont mis en place des politiques urbaines visant à limiter la mobilité automobile. Elles ont ainsi défini comme objectif prioritaire de la planification une certaine densification des tissus urbains, supposée éviter une banalisation excessive de l'automobile et donc une large part des nuisances en ville et au-delà.

« Le Livre Vert de la C.E.E. synthétise ces principes : “Les stratégies qui préconisent des affectations mixtes et un développement plus dense sont les plus aptes à rapprocher les gens de leur lieu de travail et des services nécessaires à leur vie quotidienne. La voiture pourrait alors devenir un choix plus qu'une nécessité”. La séparation des fonctions et les faibles densités sont très clairement désignées comme responsables de la croissance de la mobilité automobile. Et la voiture est elle-même accusée de dégrader l'environnement ; il ne faut donc pas en rendre l'usage quasi-obligatoire par un développement urbain inadapté.

« Dans cet esprit, le gouvernement britannique a publié une directive nationale, la *Planning Policy Guidance* n° 13 (mars 1994) : celle-ci fixe l'objectif national de limitation des déplacements automobiles et indique qu'un urbanisme dense et mixte autour des stations de transports publics permet de l'atteindre. Les autorités publiques de rangs inférieurs doivent respecter cette directive. Il s'agit ici d'un principe et non d'actions concrètes de la part du gouvernement.

« Aux Pays-Bas, en revanche, le gouvernement ne s'arrête pas aux principes généraux, mais organise lui-même le développement urbain selon des principes identiques à ceux des Britanniques. Le plan d'aménagement du territoire de 1991 ambitionne de “dissuader l'usage de l'automobile, en particulier pour les déplacements domicile-travail”. Plusieurs moyens sont mis en œuvre pour atteindre cet objectif. Outre des

mesures de réglementation du stationnement, de péage urbain, une politique de localisation des “générateurs de déplacements” a été lancée : la politique de l’ABC. Elle consiste à “placer la bonne entreprise au bon endroit”. Les différentes parties du territoire sont classées en trois catégories, en fonction de leur accessibilité :

- profil A : activités tertiaires ou équipements ayant beaucoup d’employés ou attirant de nombreux visiteurs, dont la localisation sera de type centre-ville, bénéficiant de tous les transports publics ;
- profil B : activités attirant moins de personnes, mais qui doivent rester accessibles par automobile (production, distribution), dont la localisation devra combiner une double desserte automobile et transports publics, plus loin des centres ;
- profil C : activités dépendant uniquement du transport routier, dont la localisation sera périphérique.

«Une démarche partenariale a été engagée, non seulement avec la participation de différents ministères, mais aussi avec des acteurs privés. C’est ainsi un ensemble de mesures convergentes qui doivent concourir à ce projet » [127].

On constate que l’option retenue par le schéma directeur de l’Île-de-France ne retient pas ces principes, mais celui d’un accroissement volontaire de l’espace disponible pour chacun (dédensification), compensé dans ce scénario par une hausse théorique du pouvoir d’achat permettant à tous d’avoir accès à l’automobile.

« Le raisonnement du développement durable suppose d’une part que l’augmentation de densité aura un impact significatif sur l’usage de l’automobile, et d’autre part que les économies d’énergie et les pollutions évitées sont suffisantes pour justifier la densification. Le raisonnement du gain d’espace suppose quant à lui que la consommation d’espaces naturels par l’urbanisation n’est pas un problème majeur, que la technologie sait résoudre la plupart des nuisances de l’automobile et que l’économique prime l’écologique.

- «Tous ces débats viennent en fait d’une double difficulté :
- on ne sait pas desservir correctement les zones peu denses avec les transports collectifs ; c’est un problème d’allocation de ressources, car il n’y a pas de difficulté technique ;
  - à l’inverse, on ne sait pas bien faire des quartiers denses avec un fort taux de motorisation : la difficulté ici est à la fois financière (coût du stationnement souterrain ou sous dalle) et urbanistique (il y a peu de succès en urbanisme de dalle, et des voies à large gabarit sont peu compatibles avec la densité) » [127].

Effectivement, le degré de motorisation des ménages est fortement corrélé en négatif avec la densité, ce qui est aussi le cas du linéaire de voirie. En 25 ans, les rues en Île-de-France se sont allongées d’un facteur dix [127], ce qui se traduit, comme l’énonçait en 1977 le ministère de l’Équipement [93], par un fort accroissement des coûts d’entretien de voirie et de collecte des déchets par ménage, toutes choses égales par ailleurs.

## Les crises possibles des villes

Un certain nombre d'impasses possibles se dessinent à l'horizon 2010-2030 si les tendances sur lesquelles s'appuient la plupart des scénarios actuels de transports et d'urbanisation (les renforçant par là-même) se maintiennent.

– Atteinte vers 2010 d'un niveau de pollution de fond en ozone de basse altitude ( $80 \text{ g/m}^3$ ) interdisant le respect des normes OMS ( $120 \text{ µg/m}^3$ ) en ville [106], d'après l'Académie des sciences ; prise en compte croissante des données de l'environnement en général par l'opinion, aboutissant à un refus des conditions réalisées.

– Inquiétude grandissante envers de graves changements climatiques, contraignant à revoir l'usage des combustibles fossiles, notamment des carburants.

– Concentration des ressources pétrolières au Moyen-Orient et prédominance des consommations énergétiques de la Chine et de l'Inde autour de 2030, avec les tensions correspondantes sur les prix, voire les disponibilités des carburants, sans doute dès 2020 (Conseil mondial de l'énergie, Commissariat général du Plan).

– Croissance de la congestion automobile (véhicules utilitaires compris) dans la plupart des métropoles du fait des faibles capacités de financement consenties pour les transports publics et de leur efficacité limitée en urbanisation peu dense [119]. Des questions économiques pourraient ainsi annoncer la fin de l'ère de l'automobile : l'exemple de Los Angeles montre comment il devient impossible financièrement de construire assez d'infrastructures dans des agglomérations pour y satisfaire correctement les besoins de transports lorsque ceux-ci sont entièrement assurés par la route (personnes et biens) (Peter Calthorpe, [101]).

– Restriction des possibilités de participation à la vie de la cité pour la frange « non motorisable » de la population [119]. Le problème de l'exclusion urbaine ne correspond pas seulement à l'incapacité à trouver un logement (du fait du montant du loyer par exemple), mais aussi éventuellement à celle d'assumer les charges diverses (efficacité énergétique des bâtiments, impôts locaux) et le coût du mode de vie imposé à l'endroit du logement par la conception urbaine. Le coût du transport pour accéder aux emplois ou à la vie urbaine peut devenir insupportable pour certaines parties défavorisées de la population. Selon Peter Calthorpe, le budget moyen de transports correspondrait à 20 % du revenu moyen aux USA et moins de 10 % en Europe [101]. « Ce n'est pas la mobilité qui doit être durable, mais la ville qui en résulte » [127]. Or, le budget automobile est en moyenne de 24 000 F par an d'après [130].

Dans une situation où les carburants deviendraient soit moins disponibles pour des raisons de difficultés géopolitiques, soit rapidement beaucoup plus chers suite notamment à des mesures prises contre le changement climatique, les populations peu aisées et captives de l'automobile (notamment en périphérie non desservie par les transports collectifs) seraient les plus touchées. Leurs conditions de vie seraient remises

en cause par manque d'accès aux emplois d'une part, au patrimoine urbain et aux autres quartiers. Même s'il s'agissait d'un pourcentage minoritaire de la population urbaine, il pourrait néanmoins en découler une situation d'exclusion inacceptable et des crises socio-économiques locales graves.

Effectivement, une bonne part des déplacements est imposée aux individus par les choix urbains [106] ; comme le dit M. Wiel : « Imputer le trafic à l'initiative individuelle de celui qui franchit chaque jour le seuil de son domicile est non seulement réducteur, mais falsificateur » [84]. Pour prévoir la viabilité d'une ville, « les moyennes n'ont pas de sens car ce sont les queues de distribution qui posent problème : les trajets longs, les ménages pauvres et les zones industrielles mal desservies » [119]. Nous retrouvons ici un point essentiel : dans l'évaluation économique d'une décision, ses inconvénients et avantages n'ont pas le même impact socio-économique et politique suivant qu'ils sont répartis à faible intensité sur la majeure part de la population ou qu'ils se concentrent sur une minorité, situation beaucoup plus vulnérable malgré des ratios moyens éventuellement semblables. Aussi les effets redistributifs d'une décision, même s'ils ne sont souvent pas pris en compte par la pratique économique traditionnelle, doivent-ils toujours être examinés dans une évaluation économique au sens large, telle que nous la préconisons dans ce rapport.

Les coûts de ruptures possibles sont aujourd'hui plus ou moins évaluables en termes monétaires, mais doivent évidemment entrer dans les raisonnements à moyen et long termes des aménagements urbains. Le seul objectif de densification des habitats n'apparaît pas alors suffisant, si d'autres mesures de plus court terme ne sont pas prises simultanément [129], visant par exemple à rendre l'usage de l'automobile moins attractif (tarifs, zones à vitesse réduite, stationnements gratuits rares) ou moins obligatoire (raréfier les établissements situés hors des dessertes collectives).

Comme l'écrit Vincent Fouchier : « La séparation des fonctions dans le tissu urbain, corollaire des extensions de faible densité, est également responsable de la place accrue de l'automobile dans les déplacements. La desserte en transports en commun de zones uni-fonctionnelles (parcs d'activités, par exemple) ne sera jamais suffisante pour être attractive vis-à-vis de l'automobile. Or, une large part des urbanisations récentes consistent en des délocalisations d'équipements ou de lieux d'activités autrefois localisés dans des secteurs plus denses et mieux desservis en transports en commun. Ces nouvelles localisations sont une concurrence à celles qui restent en centre-ville. Les créations de complexes de cinémas périphériques, après celles des centres commerciaux, contribuent à renforcer la place de l'automobile dans les agglomérations : leur accessibilité est bien meilleure pour les personnes motorisées que pour les autres. En matière de transports, les caractéristiques qualitatives de l'urbanisation ont donc des conséquences au moins aussi déterminantes que son étendue géographique ou son intensité d'un point de vue quantitatif » [127].

C'est pourquoi les politiques de densification ne doivent pas être conçues seulement en visant l'habitat, mais peut-être surtout en

établissant les zones attirant les trafics en fonction des dessertes collectives existantes : 46 % des urbanisations nouvelles entre 1982 et 1990 correspondent à des équipements ou des zones d'activités industrielles et commerciales [87].

De quels systèmes d'évaluation dispose-t-on aujourd'hui pour tenter de piloter et de suivre l'évolution nécessaire ?

## **Des méthodes d'évaluation à actualiser**

### **Distribution des « valeurs du temps »**

Nous avons vu plus haut que les valeurs utilisées pour quantifier le temps gagné ou perdu du fait des transports sont discutables. En effet, même en écartant la préoccupation d'un exploitant d'ouvrage sur le consentement réel des usagers à acquitter le prix du péage, l'utilité collective d'une infrastructure dépend du fait qu'elle soit effectivement utilisée comme le prévoyait l'évaluation. Notamment, pour les infrastructures routières urbaines, l'évaluation doit tenir compte de la capacité effective à dépenser les sommes requises pour utiliser ces moyens de transport (par exemple, le coût d'acquisition et d'entretien d'une automobile).

Nous avons vu que les modèles le plus souvent utilisés, notamment dans le cas du schéma directeur de l'Île-de-France, avancent des « valeurs de temps » pour les transports en commun de moitié moins élevées que celles utilisées pour le temps passé en voiture, ce qui manque de justification, et tendent donc à surestimer le temps gagné par les automobilistes [125]. Nous retrouvons ici le rôle important des modèles et la nécessité pour l'évaluation d'en éclaircir les hypothèses et les conventions.

En tout état de cause, les effets de la dispersion croissante des revenus sont souvent considérés comme négligeables dans ces modèles, au motif que les impôts assurent une redistribution des ressources telle que les inégalités financières d'accès au transport disparaîtraient. Au vu des exemples observés, cette hypothèse paraît douteuse. Une valeur élevée et unique du temps pour tous manque donc de pertinence pour construire un schéma de transports garantissant le fameux « droit au transport » de la LOTI [125].

### **Conditions d'une mobilité durable : qu'est-ce qu'un « coût de congestion » ?**

Tant que le seuil d'acceptabilité n'est pas franchi, malgré les difficultés de sa mesure [106], la congestion peut être considérée et monétarisée. Ainsi, dans [124], les coûts de congestion en Île-de-France, en terme de temps perdu valorisé à hauteur du consentement à payer, sont estimés à 8 milliards de francs (1996) par an.

En revanche, les exemples de Mexico, Los Angeles et, à l'opposé, de Hong-Kong montrent, soit par l'ampleur des dégâts et dépenses consenties en infrastructures, soit à rebours par l'importance des moyens mis en œuvre pour l'éviter, que la congestion routière urbaine

peut, dépassé un certain seuil, devenir un fléau à la fois environnemental, social et économique pour le fonctionnement de la cité [118]. À Los Angeles, agglomération côtière linéaire de 80 km, les encombrements, le *smog* et les sommes à investir deviennent telles que la ville a commencé, malgré une urbanisation très peu adaptée et une mauvaise image culturelle locale des métros et bus, à développer des lignes de transports collectifs. Le seuil de blocage dépend sans doute en grande partie de la configuration urbaine. On voit donc que la progression des coûts de congestion n'est pas linéaire.

Citons Vincent Fouchier : « Pour atteindre une mobilité socialement durable, deux méthodes sont applicables :

«1) s'appuyer sur une augmentation du pouvoir d'achat (ou baisse des prix) qui permettrait une plus grande diffusion de l'automobile, favorisée par des investissements routiers et des créations de nombreux parcs de stationnement ;

«2) produire une ville permettant aux individus n'ayant pas accès à l'automobile (pour des raisons matérielles ou physiques), et a fortiori à tous les individus, de s'en passer sans les exclure de certaines zones urbaines.

«Les évolutions passées indiquent que l'on se situe plutôt dans le premier cas de figure : les catégories socio-professionnelles à revenus élevés ont stabilisé la progression de leurs distances parcourues quotidiennement (avec une part modale très en faveur de la voiture), alors que les catégories de revenus moindres ont vu leurs distances de déplacements augmenter à un rythme très important, avec une part modale automobile fortement croissante.

«En localisant des zones d'emplois, de commerce ou de loisirs en périphérie de faible densité, on renforce une forme d'exclusion. Une ville de l'automobile se constitue progressivement autour d'une ville des transports en commun ; peu d'échanges entre les deux sont possibles » [127].

### **Composantes de la qualité urbaine**

L'attractivité d'une ville passe aussi par la perception que ses habitants et visiteurs en ont. Dans [106] par exemple, la vision qu'offrent de la ville ses moyens de transports pendant leur usage est évoquée.

D'autre part, ni la fonctionnalité ni l'esthétique d'un quartier, même en focalisant l'attention sur les relations entre densité et transports, ne sont déterminées par le paramètre le plus utilisé, le coefficient d'occupation des sols (COS). Comme le rappelle [128], un même COS peut correspondre à des formes urbaines très diverses, soit collectives soit individuelles. On ne peut ni assimiler fortes densités et habitat collectif, ni considérer que l'habitat individuel est synonyme de densités faibles. Les urbanistes scandinaves proposent des zones d'habitat individuel dense, et les tours et barres du nord de Paris correspondent à des COS bien inférieurs aux immeubles haussmaniens du centre-ville.

De plus, comme il a été déjà mentionné, la conception et la desserte des zones d'activités, de commerce et de loisirs influent beaucoup sur la qualité des zones concernées, mais aussi sur celles des habitats qui dépendent de ces services [87]. En effet, la qualité d'une zone urbaine ne dépend pas seulement de sa conception propre, mais du fonctionnement de tout l'ensemble urbain auquel elle appartient. Dans le cas de l'Île-de-France, « les pics de pollution mesurés à Paris ne pourront pas être empêchés par la multiplication des surfaces traitées en espaces verts. Ce sont des masses d'air qui entrent en jeu : une présence végétale seule ne peut pas résorber cette pollution localement. Au contraire, on a vu que la multiplication des parcs et jardins participe à la périurbanisation et à la motorisation qui lui est liée » [87]. De même, il ne suffit pas d'observer à courte échéance et dans un périmètre restreint les effets sur les trafics et l'environnement d'une infrastructure pour en déduire ses impacts à terme.

### **Vers des coûts urbains globaux ?**

Les choix urbains ont de nombreuses conséquences dans des domaines très variés [106]. Bien entendu, les aspects environnementaux, comme chacun des autres types d'aspects, ne sont pas déterminants à eux seuls, sauf lorsque des seuils d'acceptabilité ou d'alerte sont atteints (facteur limitant). Par exemple, « aujourd'hui, la technique nous offre un choix, pour lequel aucune décision consensuelle et explicite n'est prise : souhaite-t-on étendre les villes, au risque de rompre les liens de proximité physique, au bénéfice d'une mobilité accrue (en automobile) et de télé-actions plus nombreuses, ou souhaite-t-on densifier les villes pour valoriser les centralités et les proximités, et autoriser un usage accru des transports en commun ?... C'est la définition de ces objectifs qui détermine les grandes orientations de stratégie urbaine » [127].

Y a-t-il aussi un dilemme entre une croissance des nuisances totales induite par la dédensification urbaine et le recours croissant au mode routier, et la concentration en cité plus dense d'une moindre quantité de nuisances ? Nous avons tendance à penser que, même en supposant des véhicules personnels et utilitaires non polluants, des contraintes environnementales, sociales et financières pèseraient sur la généralisation de villes peu denses, sous la forme de consommation croissante d'espace en absolu et de leur part en voiries et parkings, de consommation d'énergie peu durable, d'exclusion sociale par difficultés d'accès financier et/ou réglementaire aux véhicules non polluants et une circulation intensifiée ([127], [118]). Ceci signifie que pour concevoir les villes de demain, conviviales et durables [86], des architectes et des urbanistes inventifs et informés de tous ces enjeux seront socialement, économiquement et environnementalement indispensables. Une évolution en ce sens des enseignements et formations correspondantes devient nécessaire.

Les coûts liés à ces divers enjeux sont difficiles non seulement à agréger, mais même pour certains à définir et évaluer. Ils ne ressortissent sans doute pas tous aux mêmes méthodes d'appréciation. Ils supposent une bien meilleure connaissance qu'aujourd'hui des comportements individuels des jeux institutionnels, des contraintes économiques et environnementales,



des répartitions des charges et avantages, des ruptures et crises logiquement possibles. Tant dans le souci de définir des critères de durabilité pour la ville que dans celui d'orienter les politiques d'aménagement urbain, un travail scientifique et socio-économique important devient indispensable, ce qui n'empêche pas d'infléchir les tendances dès aujourd'hui.

### **Vers une décision séquentielle : lancer dès aujourd'hui les signaux de maîtrise des consommations d'énergie**

C'est au plus tôt que doivent être lancés les signaux de maîtrise des consommations d'énergie, notamment par la mise en cohérence des décisions d'urbanisme et des possibilités de transport peu consommateurs d'énergie et d'espace (transports collectifs et non motorisés).

L'évolution nécessaire des conceptions urbaines demande d'abord de moderniser, de clarifier et de faire partager les hypothèses et les conventions de conception urbaine utilisés. Les grands choix stratégiques et politiques, qu'il s'agisse de redistribution, des risques acceptables ou non, des options cohérentes de fonctionnement urbain désirées, doivent être définis en amont des modèles employés, et non en aval, ni *a fortiori* être traités séparément. Si beaucoup de progrès restent possibles et nécessaires tant dans la connaissance des phénomènes que dans l'analyse et le suivi chiffrés des fonctionnements induits par les structures urbaines (réseaux d'assainissement, de transports, d'énergies...), la monétarisation des avantages et inconvénients des formes urbaines a des limites, notamment pour ce qui concerne les modes de vie que l'on en attend et les risques environnementaux et sociaux que l'on souhaite éviter.

Réfléchissons aussi au fait que les villes des pays riches offrent aux autres nations une image de la réussite économique, et que neuf des dix premières mégalopoles de 2015 se situeront dans des pays en voie de développement. Cela signifie que dans l'évaluation économique des conséquences du maintien du modèle urbain occidental actuel, il faut intégrer des coûts stratégiques tels que son extension aux autres métropoles, par exemple en terme de consommations énergétiques, de changement climatique, d'accumulation d'ozone troposphérique, d'imperméabilisation des surfaces, de dépenses minimales imposées aux ménages et de crises éventuelles qui peuvent en résulter. Si les nations favorisées et leurs entreprises veulent collaborer avec ces pays dans le sens d'un développement durable, elles doivent considérer que, pour la plupart d'entre eux, l'énergie reste chère et que, comme le rappellent parfois leurs représentants, ce n'est pas en y multipliant les automobiles que les difficultés qu'ils connaissent y seront résolues (il semble que le taux de motorisation y soit aujourd'hui d'autant plus élevé que le niveau de richesse y est plus faible d'après [111]). Mais leur fonction, volontaire ou non, de modèles pour le développement, les oblige à infléchir leurs propres modes de production de villes et de transports.

Parce que les phénomènes urbains ont une inertie importante, une stratégie de précaution pour les villes doit s'élaborer selon une prise de décision séquentielle, dont le sens général est de diminuer la dépendance énergétique envers le pétrole et la nocivité des émissions polluantes pour la

santé (ainsi que le bruit, etc.). Chaque étape consiste alors à choisir un certain nombre de mesures qui vont dans ce sens tout en apportant d'autres avantages à la collectivité. Cette stratégie doit par ailleurs prévoir les moyens d'éviter l'exclusion des populations exposées à la crise (soit en leur fournissant d'autres modes de transport, soit en se donnant les moyens de leur assurer une transition financièrement convenable en cas de crise).

Le choix des premières mesures à prendre dépend du contexte et du décideur. Par exemple, il peut s'agir pour une commune de commencer à diminuer l'attractivité de la voiture et d'accroître celle des autres modes de transport par des mesures peu coûteuses : la priorité aux feux des transports collectifs, le partage de voirie en faveur des modes autres que l'automobile et le gardiennage de parkings à vélos. Par ailleurs, l'évolution urbaine étant très lente, s'étalant sur plusieurs décennies, minimiser le risque de crise conduit à commencer tout de suite à infléchir ce mouvement, par exemple en mettant en cohérence les décisions d'urbanisme et les ressources en transports peu consommateurs d'espace et d'énergie, à l'instar de la politique néerlandaise. Le rééquilibrage des coûts d'usage des différents modes peut se faire progressivement par exemple par l'intermédiaire de la fiscalité (sur les carburants, ou la fiscalité locale sur l'usage de l'espace), en fonction des coûts que ceux-ci provoquent pour la collectivité et de leur caractère plus ou moins porteur du risque maximal que la stratégie est destinée à éviter. En tout état de cause, l'évaluation économique des décisions en matière urbaine peut, moins que toute autre, faire l'économie de scénarios explicites et débattus.

---

## **Coûts des effets sur la santé de la pollution atmosphérique**

Nous allons ici nous attacher à suivre le cheminement qui va de la pollution atmosphérique (en particulier d'origine routière) jusqu'aux coûts des impacts sanitaires. Ceci va nous permettre d'apprécier les nombreux types d'évaluation (chimiques, physiques, sanitaires, économiques) par le biais desquels est pris en compte l'environnement.

Comme il est noté dans [66, p. 157], l'évaluation des risques pour la santé liés aux polluants atmosphériques nécessite d'identifier les populations à risque, d'estimer la distribution de l'exposition aux polluants atmosphériques au sein des différents segments de la population, au cours de leurs activités, éventuellement d'apprécier la part attribuable au trafic routier, aux industries ou au chauffage, de connaître les relations concentration-réponse entre les polluants et les effets connus sur la santé et, enfin, de mieux caractériser la nocivité à court, mais surtout à long terme des polluants émis ou produits secondairement.

On peut ainsi apprécier les spécificités de l'évaluation économique, conditionnée par les résultats d'autres évaluations, mais avec son

originalité propre. Nous verrons que, malgré des connaissances insuffisamment développées en France dans le domaine des effets sanitaires de la pollution atmosphérique (les principales lacunes actuelles tenant aux limites des réseaux de surveillance de la qualité de l'air, au manque aigu de données de surveillance sanitaire et à la faiblesse générale de la recherche en santé environnementale et préventive en France), des évaluations économiques sont possibles et pertinentes dès qu'on mesure la portée de leurs hypothèses.

### **Trois sources d'information**

#### **La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique (Société française de santé publique, 1996)**

Pour ce qui est des impacts sanitaires, nous nous appuyerons essentiellement sur le rapport de mai 1996 de la Société française de santé publique, *La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique* [66], qui fait le point sur les connaissances actuelles concernant la pollution atmosphérique (présence dans l'air de substances susceptibles, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, de provoquer un effet nocif ou de créer une nuisance ou une gêne) due à l'usage de l'automobile, et limite son objet aux effets de cette pollution sur la santé humaine. Ce travail est une actualisation du rapport [64] écrit en 1983 sous la direction du Professeur André Roussel qui dressait l'état des connaissances sur les conséquences biologiques et sanitaires des émissions des véhicules automobiles. Cette synthèse est aujourd'hui unique en France, par le panorama qu'elle dresse (un bilan de 15 ans de recherche internationale) et par le pluralisme des participants qui ont contribué à sa réalisation, deux caractéristiques qui renforcent son crédit.

#### **Erpurs, évaluation des risques de la pollution urbaine pour la santé (1994)**

Pour décrire une évaluation du risque par quantification des impacts sanitaires, nous nous appuyons sur le projet Erpurs (évaluation des risques de la pollution urbaine pour la santé [60]) qui est remarquable car c'est en France la seule étude contrôlée avec un protocole élaboré dans le cadre du projet européen Apeha (*Air Pollution on Health : a European Approach*).

Erpurs est un projet collaboratif qui associe le réseau Airparif, l'École nationale de santé publique, la faculté de pharmacie de Paris V, le laboratoire d'hygiène de la ville de Paris, l'observatoire régional de santé d'Île-de-France et le Réseau national de santé publique, ainsi qu'un réseau pluridisciplinaire d'une cinquantaine de partenaires dans les domaines de la métrologie, de l'épidémiologie et de la médecine. Ce projet a vu le jour en décembre 1990 avec pour objectif, d'une part, de caractériser les liens à *court terme* entre la pollution atmosphérique

urbaine *de fond* et la santé de la population francilienne et, d'autre part, d'évaluer la pertinence de la mise en place, en Île-de-France, d'un système de surveillance épidémiologique, couplé au système de surveillance de la pollution atmosphérique.

Une étude épidémiologique de type «écologique temporelle» portant sur la période 1987-1992 a été réalisée : il s'agissait d'étudier les liens entre les variations journalières des niveaux de pollution et celles des indicateurs de santé, sur l'ensemble de la période d'étude, qu'il y ait eu ou pas des « pics » ou épisodes de pollution.

On notera que l'étude Erpurs ne porte pas spécifiquement sur les impacts sanitaires d'origine automobile, mais sur ceux liés à la pollution atmosphérique dans son ensemble (sachant que certains indicateurs de pollution [comme les particules] sont majoritairement imputables à la circulation routière).

### Évaluation monétaire des effets à court terme de la pollution atmosphérique sur la santé. Application à l'Île-de-France (GREQAM, octobre 1996)

Pour ce qui est de la partie économique, nous nous sommes très largement inspirés de [72] qui présente clairement les étapes de ce mode d'évaluation, mettant en lumière les hypothèses et conventions retenues (ce qui permet d'en envisager d'autres), plaçant ses résultats en perspective (autres études, étrangères ou nationales), etc.

Notons qu'une habitude de langage désigne souvent par « pollution d'origine automobile » la pollution en fait émise par tous les véhicules routiers, utilitaires inclus. Nous avons donc parfois également utilisé cette expression dans ce sens général. Toutefois, l'évaluation économique de [72] ne porte pas spécifiquement sur les impacts sanitaires d'origine automobile. Mais nous verrons que l'indicateur de pollution à l'origine des coûts les plus élevés est constitué des particules en suspension et autres poussières, majoritairement imputables à la circulation routière.

### **Des émissions aux impacts sanitaires : des chaînes causales complexes et une surveillance insuffisante**

Comme le note [66, p. 165-166], partant de l'estimation de la contribution des transports et des relations connues entre exposition et manifestations sanitaires, il est possible pour certains polluants et certains effets d'évaluer le risque attribuable à la circulation routière. Cet exercice de «caractérisation du risque», reposant sur quelques hypothèses simplificatrices et des extrapolations, est la méthode aujourd'hui communément reconnue pour évaluer quantitativement les conséquences de la pollution atmosphérique d'origine automobile en terme de santé publique.

Rappelons que, selon la définition de l’OMS, bonne santé ne signifie pas seulement absence de maladie, mais « état complet de bien-être physique, mental et social ».

## Polluants et indicateurs de pollution : deux notions à distinguer

Nous suivons [67] dans sa présentation succincte des phénomènes de pollution atmosphérique, sujet d’étude en pleine évolution, qui présente de multiples paradoxes et un certain nombre de pièges. On trouve ici illustrée, dans ce cas particulier, la question des indicateurs d’environnement discutée dans le chapitre « Des enjeux environnementaux d’appréciation souvent délicate ».

La première difficulté qui se pose est celle de la *caractérisation de la pollution atmosphérique*. Une usine ou un véhicule en fonctionnement rejette dans l’atmosphère plusieurs centaines de composés chimiques. Parmi ceux-ci, plusieurs dizaines peuvent être toxiques pour la santé humaine, pour les végétaux ou pour la conservation de certains biens (le noircissement des bâtiments dans les agglomérations est un exemple de dégradation des biens causée par la pollution). Ces composés chimiques, une fois dans l’atmosphère, sont susceptibles de réagir pour donner naissance à de nouvelles espèces, elles-mêmes plus ou moins toxiques. Il n’est évidemment pas possible de mesurer en permanence l’intégralité de ces composés ; la mesure de certains d’entre eux nécessite d’ailleurs des moyens extrêmement lourds et onéreux. Un choix est alors effectué et seules quelques espèces (de l’ordre de la dizaine) sont suivies.

Ces espèces sont appelées des *indicateurs de la pollution atmosphérique* ; le choix des indicateurs est une étape particulièrement critique qui doit être réalisée avec le plus grand soin et sur laquelle il convient de s’interroger régulièrement. *Il est capital de garder en mémoire que les indicateurs de pollution ne sont que des témoins de la pollution de l’air et qu’ils ne résument pas à eux seuls l’ensemble des polluants*. L’oubli de ce phénomène est à l’origine de nombreuses erreurs d’interprétation.

Comme il est souligné dans [66, p. 164-165], en raison de la multiplicité des polluants respirés dans l’air, les quelques composés qui apparaissent « responsables » d’une incidence accrue de troubles respiratoires doivent plutôt être considérés comme des indicateurs de la qualité de l’air, parfois aussi comme des marqueurs d’une source de pollution complexe.

Par exemple, la question se pose de savoir ce que représente l’indicateur « dioxyde d’azote » en atmosphère urbaine. Bien que les études toxicologiques et expérimentales montrent la nocivité à forte concentration de ce polluant oxydant, les résultats des études épidémiologiques ne sont pas aussi probants. De même, les indicateurs ozone, dioxyde de soufre et sulfates particuliers doivent vraisemblablement être considérés comme représentant une classe de polluants (oxydants ou

acido-particulaires, respectivement), même s'ils peuvent aussi avoir un impact propre. Les interactions parfois observées entre les effets des différents polluants dans certaines études expérimentales (dioxyde de soufre/dioxyde d'azote, dioxyde de soufre/particules ou dioxyde d'azote/ozone...) pourraient expliquer que les associations entre les symptômes respiratoires et ces indicateurs de pollution, appréciés dans les études épidémiologiques, puissent varier quantitativement d'une étude à l'autre dans les conditions de la vie courante.

### **Les «cocktails» de polluants**

Le tissu industriel de la région de Rouen est différent de celui des environs de Lyon. Il en résulte que les «cocktails» de polluants émis par ces deux zones industrielles sont distincts et comportent des espèces dont la toxicité n'est pas comparable. Dans les deux cas, l'indicateur principal retenu pour suivre l'évolution de la pollution atmosphérique est le dioxyde de soufre, mais un niveau équivalent de dioxyde de soufre dans ces deux villes rend compte de situations de pollution différentes. Il ne sera donc pas possible d'extrapoler à Lyon les résultats d'une étude épidémiologique sur l'effet sanitaire des niveaux de dioxyde de soufre effectuée à Rouen et *vice versa*.

### **L'ozone inhalé en altitude ne représente pas le même cocktail que l'ozone d'origine routière**

On peut observer au sommet du mont Blanc en été des niveaux d'ozone élevés, comparables à ceux atteints à Paris les jours de pointes de pollution. Néanmoins, à Paris, l'ozone est l'indicateur de la transformation photochimique d'un grand nombre de polluants émis par la circulation routière et de forts niveaux d'ozone sont toujours accompagnés de forts niveaux d'un certain nombre d'autres polluants, tandis qu'au sommet du mont Blanc l'ozone est généralement le seul polluant présent. Un même niveau d'ozone aura donc des effets sanitaires plus marqués à Paris qu'en haute montagne. Ceci explique pourquoi les résultats des études épidémiologiques sur les effets de l'ozone dans les grandes agglomérations mettent en évidence davantage de conséquences pour la santé que les études sur la toxicité propre de l'ozone : dans un cas, on mesure la réaction d'une population à un cocktail de polluants dont l'ozone est l'indicateur, et dans l'autre, on mesure la réaction d'un groupe de personnes exposé expérimentalement à de l'air pur auquel est rajouté exclusivement de l'ozone.

En ce qui concerne le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), la même distinction est à faire selon qu'il provient de sources intérieures (chauffage au fuel, cuisinière à gaz, etc.) ou extérieures (combustions automobiles, industrielles, thermiques) [66, p. 80-87].

### **Une confusion entre polluants et indicateurs de pollution peut conduire à des décisions inadaptées aux enjeux**

A confondre polluants et indicateurs de pollution, on risque de porter l'effort sur un polluant seulement parce qu'il est aussi un indicateur : on pourra alors observer une diminution de ce polluant, sans

que diminuent les autres substances auxquelles il est associé dans le « cocktail » dont il est l'indicateur : si le plomb était considéré comme un indicateur, on en déduirait aujourd'hui que « la pollution atmosphérique » s'atténue...

Pour les particules en suspension, l'indicateur est généralement l'indicateur dit PM<sub>10</sub>, *particulate matter 10*, qui mesure la fraction des particules de moins de 10 µm. Or cet indicateur est global alors que les particules ont des diamètres, des compositions et donc des impacts sanitaires très variés. Comme les autorités médicales déclarent aujourd'hui que l'effet sanitaire des particules en suspension a été sous-estimé, une révision à la baisse des seuils de protection du public a été proposée. Pour réfléchir à d'éventuelles mesures visant à réduire les particules en suspension, il convient de ne pas oublier qu'elles sont un indicateur de pollution, c'est-à-dire qu'une part des effets sanitaires observés peut provenir d'autres polluants primaires non mesurés émis en même temps, et que la variable particules en suspension est une donnée composite faisant la somme massique de particules de nature différente dont la toxicité est *a priori* variable... Ainsi, toute action qui diminuerait les concentrations en particules de diamètre important verrait décroître l'indicateur, mais pourrait manquer la cible des fines particules, alors qu'un « consensus se dégage pour considérer que l'essentiel des effets associés aux particules est le fait des particules les plus fines (< 2 à 3 µm de diamètre aérodynamique) », d'après [66, p. 58].

## Les principaux indicateurs de la pollution

Les indicateurs de pollution les plus fréquemment retenus actuellement sont le dioxyde de soufre, les poussières ou les particules en suspension, l'ozone et le dioxyde d'azote. Ils ont des significations et des propriétés fondamentalement différentes.

### Polluants primaires

Le dioxyde de soufre et certaines particules en suspension sont des polluants primaires, c'est à dire qu'ils sont émis directement par les sources de pollution, qu'elles soient fixes (usine, chaufferie) ou mobiles (voitures).

Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) est généralement considéré comme l'indicateur de la pollution industrielle encore que, dans des grandes agglomérations comme l'agglomération parisienne, les sources mobiles contribuent de manière significative à la pollution soufrée.

Les véhicules, et en particulier ceux fonctionnant au gazole, peuvent aujourd'hui être considérés comme la source la plus préoccupante d'émissions de *particules en suspension* en agglomération.

On utilise le terme de *poussières*, de *particules en suspension* (PS) ou de *fumées noires* (FN) selon le dispositif de mesure adopté. En effet, d'après [66, p. 58], les particules en suspension constituent un ensemble hétérogène dont la qualité, sur le plan physique, chimique et/ou

biologique est variable selon les sources d'émissions à l'échelle locale ou à plus longue distance, selon la saison (en raison des phénomènes de chimie atmosphérique), ainsi que selon les méthodes de mesure employées (fumées noires, méthodes gravimétriques ou radiométriques, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, sulfates particulaires...). Les particules en suspension d'un diamètre inférieur à 13 µm (notées PS<sub>13</sub>) sont mesurées par radiométrie bêta : on étudie la quantité de particules déposées sur un filtre par absorption de rayons bêta. L'indice de fumées noires (FN) consiste à observer le coefficient de réflexion du dépôt produit par les particules collectées sur un filtre (réflectométrie). Les fumées noires ont une taille inférieure à 4 ou 5 µm.

Les pointes de polluants primaires s'observent quand les capacités de dispersion de l'atmosphère sont les plus faibles, c'est-à-dire avec une atmosphère très stable et un vent quasiment nul, conditions fréquentes lors des grands anticyclones hivernaux. Pour les polluants primaires, les niveaux observés au voisinage des sources sont très supérieurs aux niveaux moyens de l'agglomération ; ainsi les niveaux mesurés au milieu du trafic urbain sont fréquemment trois fois supérieurs aux niveaux moyens, voire encore plus dans les tunnels.

### **Polluants secondaires**

L'*ozone* (O<sub>3</sub>) est un polluant secondaire : il n'est pas émis directement par les sources de pollution, mais résulte de transformations chimiques des polluants primaires. Ces réactions de transformation étant liées à la température et au rayonnement, les pointes d'ozone se produisent le plus fréquemment l'été avec un beau temps et un vent faible. La formation des polluants secondaires pouvant nécessiter un certain temps durant lequel les masses d'air se déplacent, les pointes de polluants secondaires concernent souvent des territoires plus étendus que les pointes de polluants primaires.

D'après [66, p. 15], les teneurs de fond en ozone dans les basses couches de l'atmosphère (troposphère) d'Europe de l'Ouest croissent régulièrement sur le long terme (+1,5 % par an depuis 20 ans). L'ozone se distingue des principaux autres polluants associés aux transports en ce qu'il se distribue sur de larges échelles géographiques, à l'échelon régional voire, suite à des périodes d'ensoleillement prolongé, sur de vastes espaces à travers l'Europe.

Il faut noter que l'ozone n'est sans doute pas le meilleur indicateur de la pollution photochimique, car il a la particularité d'être détruit très rapidement par le monoxyde d'azote (NO) émis par les véhicules. C'est pourquoi les niveaux d'ozone en centre ville et au voisinage des grands axes de circulation sont plus faibles qu'en grande banlieue ou que dans les zones avec un faible trafic. Ces « faibles » niveaux sont malheureusement trompeurs car les autres polluants photochimiques dont l'ozone est l'indicateur ne sont pas détruits par le monoxyde d'azote et restent bien présents... Une réflexion pour définir un autre indicateur de la pollution photochimique devrait certainement être conduite.



Dans l'agglomération parisienne, la pollution photochimique résulte de manière quasiment exclusive des véhicules. Ce n'est pas le cas partout en France : dans la zone de Fos-Berre par exemple, les émissions industrielles contribuent pour beaucoup aux niveaux d'ozone observés.

### **Polluants mixtes**

Le *dioxyde d'azote* (NO<sub>2</sub>), quant à lui, est un polluant mixte : il est émis directement par certaines sources (mobiles ou fixes), mais peut également provenir de la transformation d'autres polluants primaires (le monoxyde d'azote) par réaction photochimique. Les pointes de polluants mixtes peuvent se produire aussi bien l'hiver que l'été. Des niveaux plus élevés sont observés près des sources, mais ce phénomène est moins marqué que pour les polluants primaires. Dans les grandes agglomérations, le dioxyde d'azote est surtout un indicateur de la pollution d'origine routière, mais certaines activités industrielles en rejettent également des quantités importantes, et la part respective des deux sources d'émission doit être étudiée au cas par cas à proximité d'une forte zone de production.

Certaines particules en suspension peuvent également être des polluants secondaires, notamment en été par des processus de conversion de gaz en particules.

### **Des liens complexes entre les émissions et les concentrations**

Comme le souligne [66, p. 19], les émissions sont reliées de manière imparfaite aux expositions des personnes, c'est à dire aux risques pour la santé. Ces derniers sont déterminés par les concentrations des polluants dans l'air inspiré et par les volumes inhalés.

Un grand nombre de facteurs physico-chimiques (conditions météorologiques, hauteur d'émission, présence d'autres polluants...) conditionnent en effet, à partir des sources d'émissions (industrielles, résidentielles ou automobiles...), les teneurs ambiantes des différents polluants, qu'ils soient directement émis (polluants primaires) ou qu'ils résultent de réactions chimiques plus ou moins différées (polluants secondaires). Ces valeurs de *concentration ambiante* (parfois appelée *immission*) sont mesurées au moyen des capteurs de surveillance de la qualité de l'air.

Même pour les polluants primaires, il n'y a pas de relation directe entre la quantité de polluants émis par les sources et les niveaux de pollution observés. Entre ces deux éléments, la météorologie pilote la dispersion des produits dans l'atmosphère : la vitesse du vent, l'intensité de l'inversion thermique et l'épaisseur de la couche de mélange constituent trois paramètres clefs pour la pollution atmosphérique par les polluants primaires. La situation est plus compliquée pour les polluants secondaires, car entre l'émission et l'observation s'intercalent non seulement la dispersion, mais également des transformations chimiques (plu-

sieurs centaines de réactions). Il faut donc ajouter aux paramètres précédents la température et l'intensité du rayonnement, mais ce ne sont pas forcément les seuls. Même à émissions de polluants identiques, les conditions météorologiques évoluent sensiblement d'une année sur l'autre et les niveaux de polluants observés dans l'atmosphère également. Ceci est particulièrement vrai si les données de pollution atmosphérique recherchées ne sont pas les niveaux moyens, mais le nombre et l'intensité des pointes de pollution. Il serait utile de pouvoir disposer d'un indice de la qualité dispersive de l'atmosphère (ou de la transformation photochimique) qui permettrait de comparer des niveaux de pollution en mettant de côté les particularités météorologiques.

Les villes sont des puits d'ozone en raison des émissions de monoxyde d'azote qui la consomment pour donner des oxydes d'azote (NOx), qui contribueront eux-mêmes à la formation d'ozone. C'est ainsi que les franges urbaines sont plus touchées que les lieux d'émission : l'ozone émise à New York peut affecter des zones situées à quelques centaines de kilomètres ; on ne sait pas encore à quelle distance de Paris la concentration en ozone baisse significativement ; compte tenu des transformations chimiques, des oscillations éventuellement amplifiées de concentrations en ozone se produisent à des échelles régionales, voire continentales. L'ozone a une durée de vie de l'ordre du mois, mais son contrôle est difficile car il provient de différentes sources.

Le SO<sub>2</sub> crée des sulfates qui voyagent aussi (jusqu'à 1 500 km), de sorte que la seule mesure des émissions directes de SO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub> est insuffisante.

## Généralités sur les études sur la nocivité des polluants

Nous suivons ici [66, p. 51-52, p. 164-165] et une contribution de William Dab.

Les connaissances acquises sur la nocivité des polluants proviennent de différents types d'approches. Principalement il s'agit de physico-chimie, de toxicologie expérimentale (toxicité aiguë, subaiguë ou chronique, études *in vitro* ou *in vivo*, sur l'animal ou sur l'homme) et d'épidémiologie.

### Toxicologie expérimentale

Les études expérimentales peuvent concerner l'homme ou l'animal. Chez l'homme, on expose des volontaires sains à différents niveaux de pollution, en laboratoire. Ces études se heurtent à des impératifs éthiques, d'où l'intérêt des études chez l'animal ; l'affirmation de la causalité y est plus facile, mais se pose la question délicate de l'extrapolation des résultats à l'homme. On peut encore faire des études *in vitro* sur des cellules ou des tissus ; elles servent à approcher la compréhension des mécanismes physiopathologiques.

Si la toxicologie permet une étude fine des modes d'action des polluants, elle ne reproduit jamais les conditions réelles :

- elle étudie en général l'effet d'un polluant seul (ou au mieux de quelques associations simples) ;
- les relations dose (ou concentration) / effet (ou réponse) qui en sont issues sont rarement transposables directement pour la population humaine générale en situations réelles (en particulier tenant compte de la variabilité biologique et des expositions multiples).

### **Épidémiologie**

Les études épidémiologiques chez l'homme comparent la fréquence des maladies dans des zones très ou peu polluées, ou comparent des jours très ou peu pollués (comme l'a fait le programme Erpurs en Île-de-France [60]). L'avantage de l'épidémiologie est qu'elle étudie l'homme dans ses conditions de vie réelles. Son inconvénient principal est, qu'étant une science d'observation, le jugement de causalité requiert une certaine prudence.

Les études épidémiologiques permettent d'observer les effets des polluants dans les conditions réelles d'exposition de la population générale, comprenant donc les enfants, les personnes âgées, les malades, etc. De ce fait, les résultats présentent une pertinence forte du point de vue de la santé publique. Les périodes d'observation sont généralement bien plus longues qu'en exposition humaine contrôlée, et les populations exposées sont plus importantes en nombre, ce qui confère à ces études une plus grande puissance pour estimer les risques faibles.

Cependant la multiplicité des expositions rend leur analyse et leur interprétation délicates. On trouve dans [56] une description des limites propres à l'épidémiologie environnementale : erreurs de mesure, mesure de l'exposition, mesure de l'effet pathologique, facteurs de confusion... La connaissance de l'exposition des personnes ou des groupes ne peut être qu'approchée. De plus, la complexité de la pollution atmosphérique, notamment de la pollution chimique d'origine routière, rend théoriquement impossible l'attribution par l'épidémiologie seule de tel ou tel effet à l'un ou l'autre de ses composants. Les facteurs de confusion à prendre en compte, particulièrement pour les effets à long terme, sont nombreux.

La toxicité chronique due aux faibles doses est plus difficile à objectiver que la toxicité aiguë liée à des doses importantes de polluants (qui pose moins question), et ce pour plusieurs raisons : l'intensité des effets est faible ; la caractérisation de l'exposition est délicate quand celle-ci est constituée d'un mélange complexe de polluants à faible teneur et que la qualité de l'air est en constante évolution ; les effets apparaissent après un délai de latence parfois très long pour des maladies comme le cancer ; les maladies provoquées sont d'origines multiples avec une intrication de facteurs endogènes et exogènes ; elles ne sont pas spécifiques d'un polluant (au niveau individuel, le médecin ne peut pas identifier la pollution atmosphérique comme une cause de bronchite). L'affirmation

d'une relation de causalité prête donc souvent à discussion, voire à spéculation.

### **C'est la confrontation des approches qui permet d'apprécier le risque sanitaire**

C'est la confrontation des connaissances issues de ces différents types d'approche qui permet d'estimer le risque sanitaire attribuable à la pollution atmosphérique, l'épidémiologie permettant de valider et de quantifier chez l'homme les hypothèses soulevées par la toxicologie, et la toxicologie apportant la plausibilité biologique nécessaire à l'interprétation d'observations épidémiologiques.

C'est par la conjugaison des travaux expérimentaux, sur matériel cellulaire, sur l'animal ou chez l'homme, et d'investigations épidémiologiques, en milieu professionnel ou en population générale, que le savoir sur l'impact biologique et sanitaire de ces polluants a pu progresser. En effet, alors que l'approche épidémiologique est irremplaçable pour analyser la nocivité de l'air pollué dans les circonstances et aux concentrations de la vie courante, notamment pour des sujets les plus vulnérables (enfants, personnes âgées, malades), cette discipline ne permet pas d'affirmer des relations de cause à effet entre niveaux de pollution et état de santé. Ce sont les connaissances toxicologiques acquises en laboratoire (y compris sur des volontaires humains) qui confèrent alors une «plausibilité biologique» aux associations mises en évidence par l'épidémiologie, et apportent les arguments de la démonstration.

Plusieurs exemples témoignent de la pertinence de cette conjugaison des approches scientifiques.

Ainsi, le constat que le nombre d'hospitalisations pour cause cardiaque varie parallèlement à la teneur environnementale en CO est en cohérence avec la physiopathologie hypoxiante de ce gaz, démontrée expérimentalement.

De même, les particules fines, qui pénètrent profondément dans les poumons, se trouvent associées aux admissions hospitalières pour causes respiratoires, au développement de manifestations irritatives chez l'enfant et à l'usage de broncho-dilatateurs par les asthmatiques, ou encore à la mortalité générale, respiratoire et cardio-vasculaire. La physiopathologie de l'agression particulaire n'est pas très bien connue, mais la saturation des mécanismes de défense joue sans doute un rôle important, les effets s'observant avec une uniformité surprenante dans des contextes d'émission variés, c'est-à-dire avec des natures particulières différentes. Un effet possible de sensibilisation chez l'asthmatique est également suggéré par les études sur l'immunité chez diverses espèces animales.

Enfin, les études épidémiologiques sur l'ozone sont convaincantes, en particulier du fait que ce polluant varie de manière relativement indépendante des autres, dans le temps et dans l'espace. À court terme, il est associé à des manifestations inflammatoires de la muqueuse respiratoire, à une baisse de la fonction respiratoire, observations tout à

fait conformes aux acquis des connaissances expérimentales sur ses puissantes propriétés oxydantes.

## Impacts à court terme avérés de la pollution de l'air sur la santé

En France, les études sur les liens entre pollution et santé sont récentes. L'étude [60] occupe une place particulière par son rôle de déclencheur dans la prise de conscience publique des questions de santé liées à la pollution atmosphérique en ville, et par la détermination de relations dose-réponse permettant des évaluations monétaires.

Les effets dits « aigus » concernent ceux intervenant lors d'une augmentation du niveau de pollution, ou dans les quelques jours la suivant ; il s'agit d'affections survenant dans un laps de temps très court après l'exposition.

Dès lors que l'on dispose d'informations sur l'exposition de la population, on peut mettre en évidence des impacts sanitaires attribuables à des états de l'atmosphère caractérisés par certains indicateurs de pollution. C'est ainsi que les particules fines et l'ozone (majoritairement), suivis du dioxyde de soufre, sont à l'origine :

- d'atteintes respiratoires aiguës (mesurées par l'intermédiaire de consultations hospitalières ou ambulatoires, par de l'absentéisme en milieu scolaire ou professionnel, etc.), comme des crises d'asthme chez des sujets asthmatiques ;
- d'atteintes cardio-vasculaires.

Ces affirmations reposent sur des études suffisamment nombreuses, issues de territoires variés, convergentes dans leurs ordres de grandeur.

### Impacts sur la santé : des faits

S'étant efforcé d'être une fidèle expression de l'état actuel des connaissances, le rapport [66] comporte de nombreuses zones d'ombre, mais il est catégorique sur l'existence d'impacts sur la santé.

Il est ainsi affirmé dans [66, p. 163] que, grâce « aux progrès de l'épidémiologie et à l'avancée remarquable des connaissances toxicologiques depuis une quinzaine d'années, on sait à présent avec certitude que santé et pollution atmosphérique urbaine sont liées, aujourd'hui, dans nos grandes cités, même à des niveaux de concentrations relativement modestes respectant les "normes" actuelles de la qualité de l'air. »

L'incertitude ne doit pas masquer les faits et freiner la décision, comme il est souligné dans [66, p. 169-170]. « Malgré ces lacunes, les faits sont aujourd'hui suffisamment établis pour justifier un renforcement considérable des efforts de chacun visant à réduire la menace que constitue pour les habitants des grandes cités, et tout spécialement pour les personnes les plus fragiles, la pollution atmosphérique d'origine automobile. Il ne s'agit certes pas du principal problème de santé publique aujourd'hui en France. Mais il est bien identifié, son

impact est loin d'être négligeable, ses causes sont bien cernées, ses solutions, enfin, de natures très diverses, sont bien documentées et, pour certaines, déjà mises en œuvre par les différents acteurs concernés, ici ou au delà de nos frontières. »

Nous reproduisons ici le tableau XXI de [66, p. 144]. Ce tableau prend en compte des informations issues d'études expérimentales, d'études épidémiologiques en milieu professionnel ou général, ou d'études relatives à l'exposition. Il ne s'agit pas d'une mesure de l'importance du problème en terme de santé publique mais d'un jugement d'experts porté sur l'existence et la fiabilité des données nécessaires à l'évaluation de l'impact de la pollution d'origine automobile.

**Qualité de l'information disponible pour l'évaluation du risque à court terme, pour la santé de l'homme, des polluants atmosphériques d'origine automobile dans l'environnement général**

Polluant-indicateur	Particules	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	Aldéhydes	CO
	E2	E2	E2	E1	E?	E1
	A1	A1	A1	A?	A1	A1
Mortalité générale	++	++	?	?	?	?
Mortalité respiratoire	++	++	?	?	?	?
Mortalité par asthme	+	+	?	?	?	?
Mortalité cardio-vasculaire	++	++	?	?	?	+
Fonction respiratoire	++	++	++	++	?	0
Voies aériennes supérieures	+	++	+	+	+	0
Voies aériennes inférieures	++	++	++	++	+	0
Crises d'asthme	+	++	+	+	+	0
Affections cardio-vasculaires	++	?	?	?	?	++
Troubles neuro-comportementaux	?	?	?	?	?	++
Troubles ophtalmologiques	?	?	?	+	+	0

SFSP, 1996

Exposition de la population	E? E1 E2	inconnue connue ponctuellement peut être estimée
Part de la source automobile dans l'exposition	A? A1	inconnue peut être estimée
Qualité de l'information sur les effets sanitaires	0 ?	absence d'effet pas d'effet établi

	+	effet connu mais non quantifié
	++	effet connu et quantifié

### **Mortalité**

Comme noté dans [66, p. 166-168], des variations de la *mortalité respiratoire et cardio-vasculaire* ont été observées à de nombreuses reprises en liaison avec les fluctuations de la pollution acido-particulaire, avec une insistance sur le rôle des particules fines, régulièrement mises en cause pour de faibles teneurs.

Les auteurs soulignent que cet effet sur la mortalité n'est pourtant pas forcément le plus pertinent du point de vue de la santé publique car il concerne une population vulnérable, dont l'espérance de vie ne serait que modestement raccourcie. Cependant, outre la question éthique soulevée ici, il est des cas où le décès a été vraisemblablement fortement précipité.

Ainsi en est-il des décès «prématurés» correspondant à des pathologies qui frappent une population aux caractéristiques différentes de celles touchées par les effets aigus (notamment en ce qui concerne leur âge). En effet, une personne décédant d'une crise d'asthme, d'un cancer du poumon ou d'une crise cardiaque causés ou exacerbés par une exposition prolongée à la pollution possédait, avant ce décès prématuré, une espérance de vie de beaucoup supérieure à celle d'une personne fragilisée décédant lors d'un épisode de pollution élevée.

### **Morbidité**

Comme souligné dans [66, p. 168], les particules fines sont régulièrement mises en cause pour de faibles teneurs dans la survenue de *troubles respiratoires*, d'*épisodes asthmatiques*, dans la modification de divers indicateurs d'activité sanitaire (consultations, urgences hospitalières...). Ainsi, il est avancé dans [66, p. 167] une estimation de l'ordre de 5 à 6 000 hospitalisations annuelles pour *épisodes aigus respiratoires* (soit de l'ordre de 2 % des hospitalisations pour affections respiratoires) en liaison avec la pollution particulaire d'origine automobile dans les grandes cités françaises. Ces conséquences sanitaires sont sources de gênes et de souffrances.

On note aussi dans [66, p. 167] que certains micro-environnements fortement pollués par la proximité du trafic sont vraisemblablement à l'origine d'une *aggravation* de leur état chez les personnes souffrant d'*angine de poitrine* (sans que l'on dispose encore aujourd'hui en France d'informations suffisantes sur l'exposition pour quantifier cet impact).

De nombreuses observations épidémiologiques sur l'ozone, indicateur de pollution photo-oxydante, établissent des liens avec la *morbidité respiratoire inflammatoire* et la *sensibilisation des asthmatiques*. Ce point est affirmé dans [66, p. 168] qui ajoute que la nocivité de l'ozone est avérée et que le fait que ses variations spatio-temporelles soient relativement indépendantes des autres polluants confère un caractère très convaincant aux observations épidémiologiques le concernant.

## Estimation du risque sanitaire : l'exemple d'Erpurs

L'ampleur des risques pour la population justifie une meilleure évaluation des risques liés aux faibles niveaux de pollution, car un risque faible pour chaque individu devient préoccupant, au plan collectif, si la population exposée est importante. Le choix d'un risque acceptable ne relève plus ensuite d'un travail purement scientifique, mais d'une décision politique de santé publique.

Pour décrire une évaluation du risque par quantification des impacts sanitaires, nous nous appuyons sur le projet Erpurs (évaluation des risques de la pollution urbaine pour la santé [60]), présenté plus haut.

### **Choix des indicateurs de pollution**

Les indicateurs de la pollution ont été sélectionnés selon deux critères : faire l'objet de relevés journaliers ou horaires par les stations de mesure du réseau Airparif, et présenter un caractère nocif sur la santé mis en évidence par des études antérieures. Les auteurs de l'étude Erpurs ont, de plus, privilégié les stations de mesure de fond à celles dites de proximité, dans la mesure où ces dernières sont trop influencées par la pollution locale (rappelons que le projet Erpurs avait pour objet la pollution de fond).

### ***Seuls cinq polluants sont actuellement réglementés dans l'air ambiant***

Comme le note [66, p. 25], seuls cinq polluants sont actuellement réglementés dans l'air ambiant : le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), les particules en suspension (PS), le plomb (Pb), l'ozone (O<sub>3</sub>). Leur choix a résulté de leur caractère nocif, de leur prévalence dans l'air ambiant, et du fait qu'ils ont longtemps été jugés comme de bons indicateurs de la pollution atmosphérique générale. Ce sont également les principaux polluants émis par les sources fixes ou mobiles de pollution, à l'exception de l'ozone dont les rejets directs sont faibles, mais qui découle de la transformation dans l'air des NO<sub>x</sub> et COV (composés organiques volatils).

Ces indicateurs sont apparus progressivement insuffisants pour caractériser pleinement de nouvelles formes de pollutions liées par exemple au trafic automobile ou à d'autres rejets (ainsi les COV ne sont pas réglementés dans l'air ambiant). De plus, diverses études toxicologiques et épidémiologiques mettent en évidence des effets toujours perceptibles de la pollution de l'air sur la santé humaine.

Les polluants mesurés dans le cadre du projet Erpurs ne sont qu'un reflet partiel de la complexité de la pollution atmosphérique urbaine et doivent être considérés plutôt comme des indicateurs, des traceurs de la pollution atmosphérique urbaine. Leur sélection a tenu compte des valeurs de référence de l'Union européenne dans les directives de qualité de l'air et de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour l'établissement des valeurs-guides.



### ***Les valeurs de référence sont le fruit d'un arbitrage***

Les valeurs actuellement recommandées par l'OMS pour la protection de la santé humaine sont présentées au tableau n° VI de [66, p. 27]. Les normes actuellement applicables en France sont présentées au tableau n° VII de [66, p. 28].

Ces valeurs de référence sont l'expression, à un moment donné, d'un arbitrage entre des préoccupations sanitaires et environnementales (fondées sur les résultats des travaux scientifiques publiés jusqu'alors) d'un côté, et des contraintes réalistes économiques et technologiques d'autre part. Il devient de plus en plus évident que, s'agissant des principaux polluants atmosphériques, on ne peut plus parler en terme de sécurité absolue ; le respect des normes de qualité de l'air est un objectif de gestion pour les pouvoirs publics et les acteurs économiques.

Cela ne signifie pas, pour autant, que tous les individus seront protégés : on trouvera toujours des sujets particulièrement fragiles qui souffriront de la nocivité des polluants présents, même à de faibles concentrations [66, p. 29]. Comme le note [4, p. 156], les valeurs limites de certains polluants atmosphériques sont proches de la gamme de concentrations pour lesquelles les individus les plus sensibles peuvent manifester des effets sanitaires (enfants, personnes âgées, asthmatiques...).

C'est ainsi que plusieurs des valeurs recommandées par l'OMS en 1987 seront sensiblement réduites dans le rapport en cours de préparation par la SFSP pour tenir compte de l'évolution des connaissances scientifiques sur la nocivité des polluants atmosphériques.

### ***Les cinq indicateurs de pollution retenus par Erpurs***

Ces indicateurs de pollution sont l'indice de fumées noires (FN), le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), l'ozone (O<sub>3</sub>) et les particules en suspension d'un diamètre inférieur à 13 µm (PS<sub>13</sub>). Leurs teneurs ont été relevées chaque jour sur 15 stations de fond de mesure de l'indice de fumées noires, 4 stations de fond de mesure de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> du réseau Airparif.

– Les fumées noires, d'un diamètre aérodynamique inférieur à environ 4 à 5 µm, sont mesurées sur 15 sites répartis sur les quatre départements concernés (valeurs moyennes des teneurs journalières).

– Le dioxyde de soufre est mesuré sur 4 sites (un dans chaque département, valeurs moyennes des teneurs journalières et valeurs moyennes des teneurs maximales horaires).

– Le dioxyde d'azote est mesuré sur 4 sites (un dans chaque département, valeurs moyennes des teneurs journalières et valeurs moyennes des teneurs maximales horaires).

– L'ozone est mesuré sur 4 sites (un dans chaque département, valeurs moyennes des teneurs sur 8 h et valeurs moyennes des teneurs maximales horaires).

– L'indicateur PS<sub>13</sub> est à considérer avec précaution du fait d'un nombre important de données manquantes

### **Indicateurs sanitaires**

En ce qui concerne les données sanitaires, des choix ont dû être effectués afin de retenir les indicateurs les plus pertinents compte tenu de la disponibilité des données sur la période étudiée. Là encore, il ne s'agit que d'indicateurs traduisant les conséquences plausibles de la pollution sur l'état de santé de la population :

- *les données de mortalité* (source INSERM) classées d'après la classification internationale des maladies, 9<sup>e</sup> révision (CIM-9), qui représentent la totalité des 47 000 décès par an de la zone d'étude ;
- *les hospitalisations de court séjour* dans les 27 hôpitaux de l'Assistance publique-hôpitaux de Paris (source APHP), par code CIM-9, soit environ 800 000 séjours par an représentant environ 50 % des hospitalisations de court séjour en Île-de-France ;
- *les urgences pédiatriques* à l'hôpital Trousseau (source APHP) codées par classification interne propre, soit environ 6 600 visites par an ;
- *les visites médicales à domicile en urgence* (source SOS-Médecins) codées par classification interne propre, soit environ 300 000 visites par an représentant 20 % des visites à domicile effectuées par des généralistes ;
- *l'absentéisme professionnel* (source EDF-GDF), par classification interne propre, concernant environ 18 000 agents résidant dans la zone d'étude.

Les auteurs du rapport Erpurs se sont surtout intéressés à la mortalité non accidentelle, aux pathologies respiratoires et cardio-vasculaires, aux maux de tête et aux maladies oculaires.

### **Méthode d'analyse statistique et construction de fonctions «dose-réponse»**

Nous suivons ici [72, p. 26-29].

Pour dégager une relation d'intérêt entre pollution atmosphérique et santé, l'étude Erpurs s'appuie sur une analyse statistique élaborée dans le cadre du projet européen Apeha et approuvée lors du congrès d'épidémiologie environnementale de 1994. Le sérieux de cette étude, qui en justifie le choix, repose sur un traitement préalable rigoureux des différentes séries et sur la prise en compte d'un ensemble de facteurs de risque qui peuvent interférer avec les indicateurs de santé et de pollution atmosphérique. Ce dernier point mérite une attention toute particulière puisqu'il faut appréhender correctement la complexité de la relation entre la santé et la pollution.

La procédure retenue dans Erpurs le fut après que deux autres méthodologies eurent été essayées. Toutes deux ne s'avérant pas totalement adéquates, la méthode finalement choisie fut une analyse statistique répondant aux objectifs de construction de fonctions de risque relatif, définie en collaboration avec le spécialiste américain Joël Schwartz. Son déroulement complet se résume aux étapes suivantes, dont les deux premières sont effectuées dans l'étude Erpurs.

1) Estimer une fonction de dommage  $f$ , qui relie un dommage (dégradation d'un indicateur sanitaire) à une cause (ici, une augmentation du niveau de pollution atmosphérique) : réponse =  $f$  (indicateurs de pollution, autres variables).

2) Calculer à partir de cette fonction le coefficient reliant le dommage à divers niveaux de pollution, au travers de régressions statistiques. On dispose d'un coefficient, généralement appelé *risque relatif* (noté RR), pour chaque couple indicateur sanitaire-indicateur de pollution retenu : il mesure l'intensité du lien entre l'exposition à un facteur de risque et une variable sanitaire.

3) Calculer la part des dommages attribuables à différents niveaux de pollution : il s'agit du *risque attribuable* (noté RA). Il mesure la proportion de cas dans une population pouvant être attribuée au facteur de risque.

L'estimation de la fonction de dommage (ou fonction dose-réponse) comprend plusieurs étapes. Statistiquement, il s'agit d'étudier une relation à court terme entre deux séries temporelles, une série de niveaux journaliers d'un indicateur de pollution atmosphérique et une série d'indicateurs sanitaires (nombre de décès, etc.).

Tout d'abord, les indicateurs sanitaires sont corrigés de divers effets, les séries de données sont « filtrées » des phénomènes temporels pour lesquels il est raisonnable de penser qu'un effet de confusion est important. Ainsi, les variables suivantes peuvent constituer des facteurs de confusion faussant l'analyse :

- les variations temporelles «à long terme» telles que la tendance (introduction d'un terme linéaire ou quadratique), les variations annuelles, saisonnières (filtrées par des fonctions sinusoïdales ou des variables saisonnières) et hebdomadaires (variables binaires) ;
- les variations liées aux grèves hospitalières et aux périodes de vacances ;
- les épidémies de grippe et les périodes de pollinisation ainsi que les effets à court terme de la météorologie (température, humidité).

Ensuite, comme nous nous trouvons dans le cas de l'étude d'un grand nombre d'individus, dont la probabilité individuelle de décéder ou d'être hospitalisé un jour donné est faible, les comptes journaliers d'un indicateur sanitaire sont modélisés par un processus dit de Poisson. Ce processus est non stationnaire ; son paramètre, qui mesure la valeur moyenne  $Y_t$  de l'indicateur sanitaire au jour  $t$ , dépend d'un vecteur  $X_t$  de variables explicatives comprenant l'indicateur de pollution dont on souhaite tester l'influence (au même jour  $t$ , voire aussi quelques jours avant pour tenir compte d'effets différés).

Il existe généralement un délai entre l'observation d'un épisode de forte pollution (qui est immédiate puisque les mesures se font pratiquement en continu) et celle d'une modification d'un indicateur sanitaire (qui peut demander deux ou trois jours compte tenu du délai d'apparition des symptômes, et de la prise de décision d'une consultation ou d'une hospitalisation). Pour chaque indicateur de santé, la relation à

court terme avec un indicateur de pollution a été étudiée avec un décalage dans le temps variant de 0 à 3 jours. Différentes hypothèses ont été testées concernant la durée de ce délai par la construction de plusieurs variables à partir de chaque indicateur de pollution : la valeur initiale de l'indicateur, la moyenne des valeurs du jour et de la veille, la moyenne des valeurs du jour et des deux jours précédents, et enfin celle du jour et des trois jours précédents.

Ainsi, différentes variables sont incorporées de façon successive dans des modèles linéaires ou non-linéaires pour déterminer  $X_t$  et une relation statistiquement satisfaisante entre ce vecteur et  $Y_t$ . On retient un modèle de la forme  $\log Y_t = X_t \beta$ , où  $\beta$  est un vecteur de paramètres (estimés statistiquement).

L'exponentielle du coefficient associé à un indicateur de pollution s'interprète comme le risque relatif RR, ou (par normalisation à l'unité) le pourcentage de modification du risque,  $(RR-1)*100$ , ajusté des autres variables explicatives. L'étape suivante est le calcul, pour différents niveaux de pollution, des risques relatifs associés à chaque indicateur sanitaire.

### **Choix de la valeur de base**

La valeur de base, retenue pour le calcul des risques pour la santé liés à différents niveaux de pollution, a été fixée au cinquième percentile de la distribution des valeurs journalières de chaque indicateur de pollution, c'est à dire au *niveau de pollution non dépassé ou atteint au cours des 18 jours les « moins pollués » de l'année.*

Pour chaque indicateur de pollution, et en fonction de la distribution statistique des valeurs journalières observées en Île-de-France, les risques pour la santé ont été calculés pour trois situations différentes :

- niveau «moyen» de pollution, atteint ou dépassé 50 % des jours de l'année ;
- niveau «élevé» de pollution, atteint ou dépassé les 18 jours de plus forte pollution, soit 5 % des jours de l'année ;
- niveau «encore plus élevé» de pollution, observé de 5 à 8 jours par an selon les indicateurs et les années ; cette situation correspond à une augmentation de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  du niveau de base des teneurs moyennes sur 24 h (ou 8 h) de chaque indicateur de pollution.

### **Des lacunes dans la surveillance sanitaire de la population en raison d'une anticipation insuffisante**

Comme le relève [66, p. 169], beaucoup de points restent encore obscurs concernant les relations entre la pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé : ces lacunes portent selon les cas sur l'estimation de l'exposition des individus, la mesure de la nocivité des effluents, la compréhension des mécanismes de l'agression ou la quantification de l'impact sanitaire.

Nous nous contenterons ici pour l'essentiel de citer *in extenso* de larges extraits de [66]. Si l'énumération de citations est fastidieuse, elle marque néanmoins l'impréparation aux impacts du développement de la circulation routière, souvent appelée ici « circulation automobile » en dépit du fait qu'elle concerne aussi les véhicules utilitaires pour une bonne part du problème [106].

### **Des mises en garde non entendues**

Ce développement programmé de la circulation routière n'a pas été accompagné de recherches adaptées consacrées à ses effets négatifs, malgré certains signaux d'alarme. Ainsi, le rapport [64] constatait un certain nombre de lacunes et présentait des recommandations. Dès 1983, il est notamment affirmé que « l'accroissement du parc automobile équipé en moteurs Diesel, principaux responsables de l'émission des fumées, n'est pas souhaitable jusqu'aux conclusions définitives des expérimentations en cours. »

Dans ce contexte, les lacunes actuelles dans les connaissances sanitaires ne peuvent être considérées comme des indices d'une innocuité de la pollution concernée.

### **Des lacunes dans le dispositif d'estimation de l'exposition des individus**

L'existence d'informations sur l'exposition de la population conditionne la possibilité d'établir des relations entre la pollution atmosphérique et un certain nombre d'indicateurs sanitaires.

[66, p. 169] « Ceci est dû en partie au fait que la surveillance par les réseaux de mesure permanente est encore insuffisante, malgré des progrès récents, en ce qui concerne la couverture géographique et les polluants à surveiller. Des équipements mobiles de surveillance devraient compléter les réseaux fixes pour des études particulières (garages, tunnels, proximité de grandes voiries, inter-cités). L'amélioration de la stratégie d'implantation des capteurs des réseaux, ainsi que des études spécifiques, devraient notamment permettre de mieux évaluer la part de la source automobile dans la pollution générale, et dans l'exposition des populations. L'effort devrait également porter sur le développement de modèles prédictifs des pointes de pollution, et de la distribution géographique des concentrations ambiantes. Les recherches sur la mesure ou l'évaluation de l'exposition de la population à la pollution d'origine automobile devraient aussi être promues. »

### **Des réseaux de mesure à améliorer**

Comme l'architecture des réseaux n'est pas toujours conçue pour la surveillance d'une pollution liée spécifiquement à la circulation, on ne dispose généralement que de données mal adaptées à l'étude de son impact sur la qualité de l'air [66, p. 38]. D'après [66, p. 23], la structure des réseaux est relativement hétérogène, en particulier en matière de surveillance de la pollution routière. En effet, jusqu'au milieu des années quatre-vingt, l'activité métrologique des réseaux a été en priorité orientée vers la mesure du SO<sub>2</sub> et des particules en suspension, le plus souvent

en zone industrielle ou à proximité de centrales thermiques. Sous l'impulsion des pouvoirs publics et des collectivités territoriales et conformément à des directives européennes (plomb et NO<sub>2</sub>) plus tardives, des stations de mesure furent progressivement installées en centres urbains et en zones affectées par la pollution émise par le trafic. À Paris, dès le début des années soixante-dix, des stations de mesure du monoxyde de carbone CO ont été mises en place.

#### ***Des sites de proximité en nombre insuffisant***

[66, p. 159] «L'implantation des sites de mesure n'a pas toujours fait l'objet d'une réflexion approfondie, sauf en région parisienne où des stations axées sur la surveillance de sites plus ou moins influencés par le trafic automobile ont été mises en place. Le nombre de stations dites "de proximité" est ainsi insuffisant sur la plupart des agglomérations. »

[66, p. 154] «Bien que le CO soit surveillé par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air, d'une part le nombre de stations de mesure est relativement faible en France (35 sites sur l'ensemble du territoire) et d'autre part, principalement mesurés par des stations de proximité, les résultats sont très dépendants du site d'implantation de celles-ci. L'exposition moyenne au CO des citoyens est donc aujourd'hui encore difficile à caractériser.»

#### ***Des analyseurs en nombre insuffisant***

[66, p. 159] «En ce qui concerne les polluants à surveiller, le nombre d'analyseurs automatiques de CO, NO<sub>x</sub>, particules fines en suspension (en caractérisant leur profil granulométrique) et d'hydrocarbures aromatiques (benzène et HAP notamment) sur les stations de proximité est insuffisant.»

#### ***Des équipements mobiles de surveillance nécessaires mais en nombre insuffisant***

[66, p. 160] «La surveillance par stations fixes, si elle apparaît indispensable, ne saurait être suffisante, ne serait-ce que parce que le nombre de stations ne peut couvrir l'ensemble des situations de proximité ou de fond. Des études ponctuelles de plus courte durée sont nécessaires pour apprécier des situations particulières (ouvrages souterrains, voiries en tranchées ou enterrées notamment), ou des plaintes de riverains. Ce type d'études n'est pas assez développé dans la plupart des grandes agglomérations ou au voisinage de grandes voiries distantes des agglomérations. »

#### ***Des mesures sensibles à la localisation des capteurs***

À travers l'exemple du CO, il est souligné dans [66, p. 31] en quoi, pour tous les polluants primaires, le choix du site d'implantation de la station peut influencer considérablement sur les données recueillies : une station déplacée de quelques mètres dans une rue peut voir ses résultats de mesure multipliés ou divisés par un facteur deux selon sa position par rapport aux feux de circulation les plus proches, sa distance à la voie, la proximité du trafic montant ou descendant, sa localisation sur le trottoir au vent ou sous le vent de la rue, la présence d'un obstacle ou d'arbres, etc.

Nous avons déjà indiqué que, pour les polluants primaires, les niveaux observés au voisinage des sources sont très supérieurs aux niveaux moyens de l'agglomération : par exemple, les niveaux mesurés au milieu du trafic urbain sont fréquemment trois fois supérieurs aux niveaux moyens, voire encore plus dans les tunnels.

### ***Des mesures plus ou moins représentatives***

Les capteurs de fond sont situés le plus loin possible des émetteurs de pollution ; en contrepartie, ils mesurent ce à quoi les individus ne peuvent échapper. D'un autre côté, les niveaux quasi systématiquement plus élevés observés sur les stations situées en proximité de voies routières (à l'exception de l'ozone) montrent que l'exposition à la pollution de l'air est significativement plus prononcée au voisinage des axes de circulation que dans l'atmosphère générale [66, p. 38].

La métrologie de l'ozone est très liée à la situation du capteur. En outre, pour un polluant secondaire, il est difficile d'identifier la source. Toutefois, grâce aux méthodes utilisées pour évaluer les pollutions transfrontalières, on commence à mieux connaître la contribution du mode routier.

Si l'on compare les concentrations mesurées à celles fournies par les capteurs du réseau de surveillance Airparif, il est observé dans [66, p. 46-47] que les sites de fond sous-estiment largement l'exposition des usagers, d'autant plus que ces derniers sont plus proches du flux automobile et que les sites de proximité sont assez représentatifs, en général, de l'exposition du piéton, mais moins des usagers des transports. Comme l'ont montré des travaux américains, les capteurs fixes de proximité sous-estiment l'exposition réelle des populations sur 1 h, mais évaluent plus correctement l'exposition sur 8 h.

D'après [66, p. 46], l'automobiliste est le plus exposé, devant le cycliste, le piéton, l'usager de bus ou de métro, et, en moyenne, l'enfant en situation basse sur le trottoir est exposé plus (30 %) que l'adulte.

### ***Part de la pollution automobile dans l'exposition***

Dès 1983, le rapport [64] affirme que parmi « les responsables de la pollution atmosphérique, la circulation automobile, c'est-à-dire le moteur thermique, est incontestablement un élément important. » Sur l'appréciation des responsabilités respectives des foyers fixes et des foyers mobiles dans la pollution des villes, il estime encore que cette « querelle est en réalité dépourvue d'intérêt », ajoutant qu'il « n'est pas sérieusement contestable que la responsabilité des foyers mobiles et parmi eux de l'automobile, est grande. »

[66, p. 166] «Malgré les efforts considérables des industries automobile et pétrolière pour réduire les émissions unitaires de chaque véhicule – efforts couronnés de succès importants – la croissance continue du trafic, avec un lent renouvellement du parc, absorbe tout (pour les particules) ou partie (pour les composés organiques volatils, par exemple) de ces gains technologiques. Si l'air n'est sans doute pas, en masse, plus pollué qu'il y a vingt ans, il l'est différemment tant du point de vue des polluants que des caractéristiques de l'exposition.»

### Une part croissante d'estimation parfois délicate

[66, p. 165] «Dans le cas des études se basant sur la pollution urbaine générale, issue de diverses sources, il faut considérer l'importance de la contribution automobile. Les progrès de la prévention des émissions ou de leur dépollution dans l'industrie et, parallèlement, la forte augmentation du trafic en agglomération ont eu pour conséquence une part croissante de l'origine automobile dans les émissions urbaines de polluants, et encore plus dans l'exposition de la population des villes, en raison de la proximité de la source et de phénomènes de dispersion horizontale et verticale des polluants. Cette part de la source automobile dans l'exposition de la population ne peut pas encore être estimée précisément pour un grand nombre de polluants, en raison des limites actuelles des techniques de mesure, de la surveillance de la pollution urbaine et des connaissances sur le budget espace-temps des citoyens.»

### Une part majoritaire pour certains polluants

[66, p. 165] «Bien qu'elle varie d'un site à l'autre, selon l'importance du trafic et des autres sources, la part de la source automobile dans l'exposition de la population est aujourd'hui majoritaire pour le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote, les hydrocarbures mono-aromatiques, les particules fines et le plomb atmosphérique, et minoritaire pour le dioxyde de soufre. Elle est difficile à apprécier pour les polluants secondaires tels que l'ozone, l'aérosol acide et les aldéhydes.»

[66, p. 166] «Deux améliorations sensibles sont à souligner. La baisse notable des teneurs atmosphériques pour le plomb est à consolider, car il n'y a pas de seuil reconnu pour les effets du plomb sur le développement psychomoteur de l'enfant. Le monoxyde de carbone est lui aussi en baisse, tendance qui devrait, selon toute logique, s'accroître en raison de l'extension du parc de véhicules à essence catalysés. Cependant l'aggravation du risque cardiaque existe même pour de faibles teneurs, et localement, notamment en des lieux confinés ou mal ventilés (parkings, tunnels), on peut observer des teneurs encore excessives.»

### Une exposition spécifique

Le mélange complexe issu des sources automobiles a pour caractéristique d'être souvent émis à proximité immédiate des voies respiratoires de la population générale.

[66, p. 166] «Pour apprécier l'exposition des citoyens, il faut également considérer des espaces dans lesquels, si les séjours sont habituellement d'une durée relativement brève, les concentrations des polluants émis directement par les véhicules peuvent être considérables. L'habitation des voitures ralenties par des embouteillages, les parkings en sous-sol ou les tunnels et leur immédiate proximité apparaissent comme des lieux de haute concentration des polluants.»

[66, p. 19] «D'autres facteurs interviennent aussi pour caractériser l'exposition : le degré de ventilation respiratoire des personnes (influencé par l'âge, le sexe, l'activité physique), le temps passé dans différents milieux au cours de la vie courante : air extérieur dans lequel



les séjours sont habituellement brefs par rapport aux milieux intérieurs, espaces clos plus ou moins bien ventilés, tabagisme actif et passif... À cet égard, la pollution atmosphérique d'origine automobile influence dans une certaine mesure la qualité de l'air dans les espaces clos proches des voiries, les teneurs intérieures (en l'absence de sources propres) étant le reflet des valeurs en façade, avec une inertie dépendant du taux de renouvellement de l'air intérieur (écrêtage des valeurs). D'autres facteurs déterminent également l'importance de la réaction des systèmes biologiques à cette exposition (susceptibilité individuelle, état de l'appareil respiratoire...). C'est l'ensemble de ces paramètres qu'il faut considérer pour apprécier les risques liés aux émissions des véhicules automobiles. Or les polluants issus des transports automobiles présentent pour caractéristique d'être émis à proximité immédiate des individus, notamment des personnes les plus fragiles.»

### **De rares données d'exposition nationales**

[66, p. 167] «Certains micro-environnements fortement pollués par la proximité du trafic sont vraisemblablement à l'origine d'une aggravation de leur état chez les personnes souffrant d'angine de poitrine, sans que l'on dispose encore aujourd'hui en France d'informations suffisantes sur l'exposition pour quantifier cet impact. D'autres effets à long terme, connus par la toxicologie animale et l'observation de populations professionnellement fortement exposées, n'ont pas été mis en évidence de façon indubitable sur la population générale, là encore en raison d'une mauvaise connaissance de l'exposition des groupes et des individus. Par exemple, la part prise par la pollution d'origine automobile dans l'incidence des cancers en population générale n'est pas connue alors que le benzène est classé "cancérogène certain pour l'homme", plusieurs autres polluants "cancérogènes probables pour l'homme" (1,3 butadiène, formaldéhyde, benz [a] anthracène, benzo [a] pyrène et dibenz [a, h] anthracène), tandis que l'effluent diesel dans son ensemble est considéré comme "cancérogène probable pour l'homme" et l'effluent essence "cancérogène possible pour l'homme" par le Centre International de Recherche sur le Cancer. Des estimations sur l'impact des émissions automobiles sur la fréquence des cancers sont publiées dans des pays proches du nôtre, disposant de données d'exposition plus nombreuses.»

[66, p. 45] «Des études ont porté sur le mesurage direct de l'exposition des citoyens aux polluants automobiles en fonction de leur mode de déplacement quotidiens en zone (sub) urbaine, qu'il s'agisse de l'automobile, des transports en commun (bus, métro, rail) ou de déplacement en bicyclette ou à pied. La plupart de ces études, étrangères, ont été réalisées aux USA, néanmoins, quelques unes sont françaises (LHV Paris, INRETS) et récentes.»

[66, p. 113] «Aucune étude publiée à ce jour ne porte sur l'exposition de la population [au formaldéhyde, probablement cancérogène pour l'homme] par le biais de l'automobile.»

[66, p. 154] «Si l'augmentation de la prévalence de la maladie asthmatique ne peut [...] actuellement être expliquée par la pollution

atmosphérique, il est au contraire clairement démontré aujourd'hui que les polluants constituent des facteurs de risque de déclenchement de crises chez les sujets asthmatiques connus. [...] En l'absence de données sanitaires précises sur l'ensemble du territoire national, il n'est pas possible aujourd'hui de procéder à une évaluation du risque de déclenchement des crises d'asthme pour la pollution atmosphérique.»

[66, p. 154] «Si les niveaux de concentrations du monoxyde de carbone dans certains micro-environnements sont relativement bien connus, en l'absence de données concernant le budget espace-temps de la population générale urbaine dans ces micro-environnements, l'estimation de l'exposition globale de la population au CO est difficile.»

[66, p. 155] «La connaissance de la distribution des expositions de la population urbaine française est encore insuffisante pour pouvoir caractériser le risque [de cancer dû au benzène] de manière valable.»

### **De rares études épidémiologiques nationales**

D'après [66, p. 169], la surveillance épidémiologique – notamment à partir des statistiques de mortalité, des systèmes d'information des urgences hospitalières et ambulatoires, de l'activité en médecine de ville ou de consommation de médicaments – est grandement insuffisante, ce qui rend difficile l'appréciation quantitative des pathologies susceptibles d'être liées à la pollution atmosphérique d'origine routière.

[66, p. 167] «D'une façon générale, pour les effets à long terme (cancers, mais aussi révélation d'un terrain potentiellement allergique ou troubles chroniques de la fonction respiratoire), la mesure ou l'estimation d'une exposition cumulée est pour l'instant nettement insuffisante, rendant l'épidémiologie impuissante à quantifier d'éventuels effets. L'expérimentation animale est également plus difficile à conduire pour ces effets différés, et ses enseignements sont souvent délicats à extrapoler à l'espèce humaine. »

[66, p. 117] «La connaissance des effets sur la santé humaine de l'exposition à l'acétaldéhyde [probablement cancérogène pour l'homme] est actuellement limitée du fait de l'absence d'études épidémiologiques ; seules des extrapolations des résultats d'études animales essayent de l'appréhender.»

[66, p. 135] «Sur les dix dernières années, sept auteurs seulement à notre connaissance ont tenté d'étudier les effets sur la santé de la pollution d'origine automobile en tant que source de pollution responsable de l'émission d'un mélange de polluants. Les effets étudiés sont pour cinq d'entre eux axés sur la sphère respiratoire et pour deux autres études sur les leucémies ou cancers. De par leur disparité, tant au niveau des effets étudiés que des protocoles proposés, il est difficile de réaliser une synthèse de ces études.»

[66, p. 144-145] «Les connaissances nécessaires à l'évaluation de l'impact de la pollution atmosphérique d'origine automobile sont encore fort lacunaires. À court terme, l'impact de l'exposition de la population urbaine aux particules en suspension et du SO<sub>2</sub> sur la mortalité,

principalement respiratoire et cardio-vasculaire, et sur les manifestations inflammatoires des voies respiratoires peut être estimé avec une incertitude acceptable. À long terme, les informations nécessaires sont encore plus rares. En l'état actuel des connaissances en France, seul l'impact de la pollution acido-particulaire sur la fonction et l'état des voies respiratoires, l'impact du benzène à hautes concentrations sur le risque de leucémie, et celui du plomb inhalé sur le développement psychomoteur de l'enfant peuvent être raisonnablement caractérisés.»

[66, p. 117] «La connaissance des effets sur la santé humaine de l'exposition à l'acétaldéhyde est actuellement limitée du fait de l'absence d'études épidémiologiques ; seules des extrapolations des résultats d'études animales essayent de l'appréhender.»

### **Des lacunes dans la compréhension des mécanismes de l'agression**

[66, p. 169-170] «D'une manière plus générale, la recherche dans le domaine des relations entre l'environnement et la santé doit être renforcée en France. C'est le cas de l'approche toxicologique expérimentale qui devrait concerner en particulier les particules d'origine automobile et les mélanges de polluants. Enfin l'épidémiologie orientée sur les groupes vulnérables, les effets à long terme, le coût médico-social de la pollution atmosphérique automobile, constitue aussi un champ disciplinaire indispensable pour éclairer l'action des pouvoirs publics et des acteurs économiques. Les priorités à cet égard portent sur l'impact à long terme de l'exposition aux particules fines et à l'ozone, notamment chez les enfants, avec un accent particulier sur le cancer et le développement de la maladie asthmatique. L'ensemble de ces recherches permettrait de développer l'utilisation de la méthodologie d'évaluation des risques appliquée au domaine de la pollution automobile.»

[66, p. 59] «Au cours des 5 à 10 dernières années, des progrès considérables ont été faits en matière de connaissance des effets à court et long terme des particules fines, au moyen d'études épidémiologiques empruntant divers protocoles (études transversales, longitudinales ou écologiques temporelles). Le cas des particules en suspension est ainsi singulier dans le champ des connaissances sur l'impact des nuisances environnementales. En effet, alors que les travaux épidémiologiques sont légion et impressionnants par la cohérence de leurs résultats, les données expérimentales chez l'homme ou l'animal sont rares ou d'interprétation délicate du fait du caractère très composite des particules, qui se prête mal à l'expérimentation.»

### **La pratique des évaluations de coûts des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique**

À l'examen des évaluations de coûts des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique, on s'aperçoit que la plupart suivent un cheminement commun que nous allons tenter de suivre et d'illustrer.

## Des évaluations reposant sur les impacts avérés de la pollution de l'air d'origine automobile sur la santé

Malgré les lacunes relevées plus haut, il est aujourd'hui avéré que la pollution de l'air d'origine automobile provoque un certain nombre d'affections. Ce sont sur celles-ci que reposent généralement les évaluations de coûts.

Le rapport de mai 1996 de la Société française de santé publique, *La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique* [66] dresse un bilan de 15 ans de recherche internationale. On y trouve référencées les principales études – dont quatre études étrangères qui sont des références incontournables dans ce domaine [58], [59], [65], [62] – sur lesquelles se fondent la plupart des évaluations économiques existantes.

## Généralités sur les méthodes employées dans les études économiques

Nous suivons ici [72] dans son analyse des variations de bien-être engendrées par des impacts sur l'environnement, ou par des choix en matière de politique de santé publique ou environnementale.

### **Ce que révèlent et ne révèlent pas les dépenses de santé**

L'idée centrale sur laquelle s'appuient les méthodes d'évaluation économique est le fait que l'on puisse interpréter l'arbitrage observé ou révélé entre les revenus et la santé comme une mesure des consentements à payer pour une amélioration de la santé. Ainsi, à travers le choix que font les agents dans la répartition de leur consommation entre dépenses pour la santé et dépenses pour les autres biens, se révéleraient les valeurs qu'ils attribuent à la santé.

Toutefois, cette perspective est soumise à plusieurs restrictions [72, p. 43].

– Selon les pays, une partie plus ou moins importante des dépenses individuelles de santé est reportée sur le reste de la société. Les choix de consommation individuels ne reflètent donc pas cette partie du coût.

– La nature altruiste de certains individus peut faire qu'il existe des préférences pour la santé d'autrui non révélées par les choix de consommation individuels.

– Les individus peuvent avoir des préférences pour la santé qui ne sont pas exprimables à travers leur consommation. Par exemple, le fait qu'un asthmatique utilise très fréquemment l'aspirateur pour éviter de vivre dans un environnement poussiéreux représente un effort et une perte de temps qui ne sont pas révélés sur un marché.

Ainsi, la mesure des consentements à payer pour une amélioration de la santé par l'analyse des comportements de consommation ne

met pas à jour l'ensemble des préférences pour la santé. Elle peut aussi être soumise à des biais par l'existence de mécanismes de mutualisation des risques. En effet, ces mécanismes de répartition des coûts de la santé de l'individu vers la société dans son ensemble perturbent les mécanismes de marché pur sur lesquels se fonde ce type d'analyse.

### **Le bien-être en matière de santé ne peut pas toujours s'évaluer par le biais d'un marché**

Le caractère non marchand de certaines composantes du bien-être en matière de santé et d'environnement complexifie l'analyse. La dégradation de l'environnement, ici la qualité de l'air, peut affecter le bien-être des individus par des biais divers [36] :

- augmentation des dépenses médicales associées aux affections chroniques ou aiguës (augmentation de crises d'asthme, de bronchites chroniques...);
- pertes de revenu occasionnées par des arrêts maladie ;
- augmentation des dépenses de protection contre les effets de la pollution (achat de purificateur d'air...);
- diminution de bien-être induite par la maladie ou l'impossibilité de poursuivre des activités récréatives ;
- diminution de l'espérance de vie ;
- dégradation de la santé d'autrui (enfants, famille, enfants à naître, voisinage, etc.).

À cela s'ajoute évidemment l'ensemble des bénéfices d'une amélioration de la qualité de l'environnement qui ne transite pas par la santé, comme, par exemple, la satisfaction de vivre dans un environnement plus sain, ou encore la valeur de legs pour les générations futures d'un patrimoine naturel préservé.

L'augmentation des dépenses médicales, les pertes de revenus liées à l'inactivité et l'augmentation des dépenses de protection possèdent une contrepartie monétaire facilement identifiable, et c'est pourquoi, en pratique, c'est sur ces types de coûts que reposent les évaluations. Afin d'avoir une mesure la plus complète possible de ces bénéfices ou de ces coûts, les économistes ont développé plusieurs méthodes d'évaluation.

### **Des modes d'évaluation économique théoriquement ouverts, mais limités en pratique**

La pratique des évaluations économiques en matière de santé fait ressortir deux principaux types d'approche.

Dans la première, on trouve les méthodes qui estiment la valeur attribuée à une modification des indicateurs de pollution. On questionne directement les individus sur leur consentement à payer pour une modification donnée (hypothétique) de leur état de santé ou de leur environnement. On peut aussi les interroger sur la façon dont leur comportement changerait si la modification était mise en œuvre, ou sur la façon dont ils classent certaines situations alternatives (combinaisons différentes de revenus, santé et autres biens).

Dans la seconde, on trouve les méthodes qui mesurent la valeur attribuée à la modification d'indicateurs sanitaires ou environnementaux après une variation des indicateurs de pollution. Elles reposent alors sur des relations statistiques entre la variation d'indicateurs de pollution et la variation d'indicateurs sanitaires (déterminées par ailleurs et en dehors du champ de l'évaluation économique). Elles sont suivies de méthodes fondées sur l'analyse de la demande, des fonctions de coût, des prix de marché, des choix et comportements observés, des pertes de revenus, etc.

De fait, on observe que la plupart des études économiques existantes font appel à la seconde approche. En ce cas, l'évaluation économique se situe à l'extrémité d'une chaîne :

- choix des polluants et suivi dans l'environnement (air...);
- passage des émissions à l'exposition des populations (éventuellement à l'aide de modèles);
- établissement de relations dose-réponse (généralement relations à court terme les mieux connues);
- estimation de coûts (de différents types, sous diverses hypothèses et conventions).

### **Une étude exemplaire du Greqam sur l'évaluation économique de la pollution atmosphérique en Île-de-France**

L'étude [72] repose sur les évaluations sanitaires de l'étude Erpurs. Nous en reprenons de larges extraits.

#### **Trois indicateurs sanitaires : décès, hospitalisations et visites à domicile**

Si les données de mortalité sont exhaustives, ce n'est pas le cas de celles concernant les hospitalisations (l'APHP effectue 50 % des hospitalisations de court séjour en Île-de-France) et les visites à domicile (SOS-Médecins représente 20 % des consultations à domicile de généralistes). De ce fait, la généralisation à l'ensemble de la population (effectuée lors du calcul du coût total) est soumise à caution dans la mesure où les valeurs retenues pour les divers coûts, les durées d'hospitalisation, le nombre et la fréquence de chaque indicateur, peuvent ne pas représenter correctement celles de l'ensemble de la population.

#### **Niveaux de pollution de référence**

Avant toute chose, il convient de définir ce que l'on entend par pollution, tout étant question de niveau puisqu'une pollution nulle n'existe pas dans les agglomérations.

Se conformant aux critères retenus par l'étude [60], les jours de pollution pour chaque polluant sont définis comme les 95 % les plus pollués de l'année (parmi ces derniers, 5 % sont considérés comme traduisant un niveau élevé). Le niveau de référence dit de faible pollution correspond donc au niveau des 5 % de jours les moins pollués.

Le choix du niveau de pollution de référence détermine nombre de calculs, et il est donc de fait une convention importante sur laquelle les acteurs doivent s'accorder. Ainsi, prendre un niveau de référence correspondant au niveau des 5 % de jours les moins pollués, ce n'est pas prendre les niveaux recommandés par l'OMS. Un niveau de référence est un niveau de faible pollution relative, et il reste toujours des impacts sanitaires à ce niveau.

### **Risques attribuables**

À partir des risques relatifs (RR) estimés par l'étude Erpurs, on détermine le nombre d'occurrences attribuables à chaque indicateur de pollution atmosphérique. La fraction de risque attribuable (RA) s'exprime à partir de l'expression du risque relatif, et représente la proportion de cas qui serait évitée si l'exposition à la pollution était supprimée, dès lors bien sûr que la relation est causale.

Mathématiquement, la fraction de risque attribuable s'exprime dans le cas général comme  $RA = e (RR-1) / [1+e (RR-1)]$ , où  $e$  représente la fréquence d'exposition au facteur considéré. Pour calculer RA, il est donc nécessaire de connaître la fréquence d'exposition dans la population et le risque relatif. Du fait que la mesure est une mesure de pollution de fond, on peut admettre que la fréquence d'exposition de la population de l'Île-de-France à la pollution atmosphérique extérieure est partout la même à une date donnée, c'est-à-dire que  $e=1$  dans l'expression ci-dessus. Ainsi, la formulation générale de RA se simplifie en  $RA = (RR-1) / RR$ , qui est appelé fraction étiologique du risque attribuable (FER) par définition, puisque 100 % des individus sont considérés comme étant exposés

### **Relations impacts-coûts**

Les calculs de coût sont effectués sur la base des fonctions « dose-réponse » significatives du rapport [60], après avoir attribué des valeurs monétaires aux différents états sanitaires.

L'analyse est menée dans un premier temps polluant par polluant, dans la mesure où les événements climatiques font que les jours de forte pollution diffèrent selon les polluants. Les fonctions « dose-réponse » sont calculées pour chaque polluant par rapport à un niveau de référence dit de faible pollution (5 % des jours les moins pollués), et doivent donc être appliquées aux valeurs des indicateurs sanitaires correspondant à ces jours.

Seuls sont quantifiés les coûts correspondant à la mortalité, aux hospitalisations pour causes respiratoires et circulatoires, aux arrêts de travail (pertes par jours d'inactivité, coûts des journées de travail perdues), et aux visites à domicile associées à la pollution atmosphérique. Nous avons déjà discuté de la « valeur du mort » : l'étude [72] retient une valeur de 5,5 MF sur la base de consentements à payer. Les autres coûts sont mesurés par le biais de prix observés.

L'absence de données a contraint à ne pas prendre en compte les coûts associés aux journées avec douleur ou désagréments (toux, gêne respiratoire, etc.).

L'échantillon sur lequel se fonde l'enquête épidémiologique doit être assez large pour permettre l'utilisation de coûts moyens unitaires par variable sanitaire.

### Évaluations monétaires

Le coût sanitaire associé aux seules dépenses de santé et prenant en compte la valeur économique de la vie humaine est compris, pour l'Île-de-France, entre 2,8 et 8,6 milliards de francs selon les indicateurs de pollution.

Nous reproduisons ici un tableau de [72, p. 65]. L'indicateur PS13 est à considérer avec précaution du fait d'un nombre important de données manquantes. Les coûts ne peuvent être ajoutés indicateur par indicateur en raison d'effets conjoints. Le coût total est rendu sous forme de fourchette dont les bornes dépendent de l'indicateur de pollution. Pour un indicateur donné, la borne inférieure du coût total est la somme des bornes inférieures des coûts par catégorie ; il en est de même pour la borne supérieure, somme de bornes supérieures.

D'autres types d'évaluation sont possibles, comme celle consistant à estimer les gains sanitaires annuels associés à une réduction du niveau moyen annuel de pollution (tableau 17, [72, p. 68]). Par exemple, une baisse de 20 % du niveau annuel moyen de l'indicateur de fumées noires conduirait à un gain d'environ 1,35 milliard de francs.

En étendant l'analyse de [72] à l'échelle nationale – en sachant que la population urbaine française s'élève à 20 millions d'habitants, dont une partie évolue dans un environnement pas forcément moins pollué que celui de l'Île-de-France (Grenoble, Le Havre, Lille, Lyon, Marseille, Rouen, Strasbourg ou Toulon en sont des exemples) – il n'est pas déraisonnable de penser que le coût des affections aiguës dues à la pollution atmosphérique peut s'élever à 20 milliards de francs, et le coût total à environ 60 milliards de francs [72, p. 76]. Pour la France, le chiffre le plus couramment repris est de 50 milliards de francs.

### Évaluation du coût sanitaire annuel attribuable à chaque indicateur de pollution atmosphérique en Île-de-France (en millions de francs)

Indicateurs de pollution Variables sanitaires	FN	PS13	SO2	NO2	O3
<b>Mortalité non accidentelle</b>	<b>6.182</b> 3.030-9.471	<b>8.376,5</b> 3.674-12.980	<b>4.020,5</b> 2.277-5.764	<b>2.447,5</b> 611-4.323	<b>3.767,5</b> <b>390-7.276</b>
Hospitalisation pour cause respiratoire	32,6 5,6-58,5	--- ---	37,8 4,5-71,2	---	---
Hospitalisation pour cause cardio-vasculaire	195,7 119,8-275,5	160,7 55,3-268,5	189,4 91,9-287,7	90 10,4-167,5	---
<b>Coût total des hospitalisations</b>	<b>228,3</b> <b>125,4-334</b>	<b>160,7</b> <b>55,3-268,5</b>	<b>227,2</b> <b>96,4-358,9</b>	<b>90</b> <b>10,4-167-5</b>	---



Consultations pour affection VRS	40,8 4,5-77,4	---	37,8 16,8-59,4	113,9	---	71-157,4
Consultations pour affection VRI	12,6 5,1-20,3	19,2 3,2-35,7	13,9 5-23	39,8 13,7-65,9	31	1,5-59,5
Consultations pour asthme	3,1 1,2-5,1	4,2 1,3-7,2	2,8 0,6-5,2	6,8 3,6-10,5	2,8	0-5,6
Consultation pour maux de tête	7,3 3,8-10,8	8,9 4,3-13,5	3,5 1,6-5,9	8,8 5,2-12,5	---	
Consultations pour maux de tête	---	---	---	---	2,1	0,5-3,7
<b>Coût total des consultations de généralistes</b>	<b>63,4</b> <b>14,6-113,6</b>	<b>32,3</b> <b>9,8-56,4</b>	<b>58</b> <b>24-93,5</b>	<b>167,3</b> <b>93,5-246,3</b>	35,9	2-68,8
<b>Coût des arrêts de travail liés aux indicateurs de morbidité</b>	<b>89,3</b> <b>34,7-145</b>	<b>54,9</b> <b>15,9-95</b>	<b>87,6</b> <b>35,9-140,4</b>	<b>136,9</b> <b>66,2-208,8</b>	<b>29,2</b>	<b>1,3-56,5</b>
<b>Coût total (10<sup>6</sup> FF)</b>	<b>6.563,6</b> <b>3.205-10.063</b>	<b>8.624,3</b> <b>3.754-13.400</b>	<b>4.393,4</b> <b>2.433-6.357</b>	2.843,3 <b>781-4.946</b>	<b>3.832,7</b>	<b>394-7.402</b>

--- relation non significative au seuil de 5 %.

Greqam, 1996

### Sensibilité des évaluations monétaires

Le résultat de l'évaluation du coût sanitaire associé aux seules dépenses de santé et prenant en compte la valeur économique de la vie humaine est particulièrement sensible aux hypothèses retenues.

#### *Conventions sur la « valeur du mort »*

Si l'on retenait la valeur pour la vie humaine préconisée par l'Union européenne (17 millions de francs), l'évaluation ferait plus que tripler [72, p. 93]. Or, on sait que les «valeurs du mort» varient d'un facteur 1 à 10 par exemple dans l'Union européenne [3], ce qui illustre le poids des conventions nationales.

Inversement, si on n'impute pas la totalité du coût de la vie statistique à la pollution atmosphérique, l'évaluation peut-être divisée par dix. Nous détaillons ce point.

Dans un développement ultérieur de leur étude [72] (séminaire Predit), les auteurs du Greqam ont approfondi la question du concept de décès prématuré.

Du fait de leur caractère non expérimental (et par contraste avec les études cliniques qui recherchent les effets de la pollution à partir de procédures médicales standardisées appliquées sur des populations exposées différemment, ou sur une même population lors de niveaux d'exposition à la pollution différents), les études épidémiologiques ne permettent pas de déterminer, lors de l'observation d'un décès associé à un niveau de pollution, quelle aurait été la date de décès en l'absence de ce facteur déclenchant. Il est vraisemblable que des niveaux de pollution élevés font sentir leurs effets d'abord sur une population fragilisée

(malades, personnes âgées, asthmatiques ou allergiques), et dont la probabilité de mortalité (ou de morbidité) est plus élevée que celle de la population en général (ce fait est d'ailleurs confirmé par la forme des courbes dose-réponse, puisque l'effet des indicateurs de pollution sur divers indicateurs sanitaires est généralement logarithmique ou linéaire).

D'un point de vue purement méthodologique, la valeur économique d'une vie statistique dépend de l'espérance de vie des individus considérés. L'imputation de la totalité de cette valeur à l'occurrence de décès revient à considérer que l'espérance de vie de l'individu avant son décès lié à la pollution est indépendante de sa cause de décès. Or s'il est possible d'admettre que dans le cas d'accidents (de la route par exemple) cette hypothèse est valide, en revanche, elle ne peut être maintenue dans le cas de la pollution pour deux raisons. Il existe, d'une part, un biais de sélection, qu'il serait nécessaire de pouvoir contrôler, dans la population de référence : à court terme la pollution touche plus spécifiquement les personnes déjà fragilisées par d'autres pathologies ou plus âgées. D'autre part, si nous considérons que la pollution est un facteur aggravant des pathologies et se trouve éventuellement à la source d'effets chroniques susceptibles de réduire l'espérance de vie, se pose un problème d'imputation totale ou partielle de la valeur économique.

De l'avis général, et en l'absence d'études précises, il est admis que la survie n'aurait pas dépassé un an pour cette population. Dans un rapport [32] concernant quatre pays européens, il est choisi une valeur de 15 mois de vie perdus pour un décès lié à des effets aigus (et trois ans pour un décès lié à une affection chronique) ; dans [Rabl : 95], on considère une médiane de quelques mois, inférieure à une moyenne située autour de douze mois (et 12,5 ans pour un décès lié à une affection chronique). L'imputation totale du coût de la vie statistique calculée à partir d'une durée de vie moyenne est donc discutable.

Aussi les auteurs du Greqam ont-ils choisi de présenter une variante du tableau p. 299 en utilisant des valorisations annuelles d'une vie statistique à partir de la valeur totale de 5,5 millions de francs. Une durée (arbitraire mais plausible) d'une année est utilisée pour une réduction de l'espérance de vie liée à des effets aigus, valorisée à 280 000 francs suivant [Geniaux : 97]. Pour la mortalité chronique, une durée de 10 ans est retenue, valorisée à 150 000 francs par an compte tenu du temps de latence (15 ans en moyenne) entre exposition et décès, et d'un taux d'actualisation fixé à 3 % par an (voir [Geniaux : 97]).

### **Évaluation du coût sanitaire annuel attribuable à chaque indicateur de pollution atmosphérique en Île-de-France (en millions de francs)**

<b>Variables sanitaires\ Indicateurs de pollution</b>	<b>FN</b>	<b>PS<sub>13</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>O<sub>3</sub></b>
<b>Mortalité non accidentelle</b>	<b>314,7</b>	<b>426,4</b>	<b>204,7</b>	<b>144,6</b>	<b>191,8</b>
Hospitalisation pour cause respiratoire	154-482 32,6 5,6-58,5	187-660 ---	116-293 37,8 4,5-71,2	31-220 ---	20-370 ---

Hospitalisation pour cause cardio-vasculaire	195,7 119,8-275,5	160,7 55,3-268,5	189,4 91,9-287,7	90 37,8 10,4-167,5	---
<b>Coût total des hospitalisations</b>	<b>228,3</b> <b>125,4-334</b>	<b>160,7</b> <b>55,3-268,5</b>	<b>227,2</b> <b>96,4-358,9</b>	<b>90</b> <b>10,4-167,5</b>	---
Consultations pour affection VRS	40,8 4,5-77,4	---	37,8 16,8-59,4	113,9 71-157,4	---
Consultations pour affection VRI	12,6 5,1-20,3	19,2 3,2-35,7	13,9 5-23	39,8 13,7-65,9	31 1,5-59,5
Consultations pour asthme	3,1 1,2-5,1	4,2 1,3-7,2	2,8 0,6-5,2	6,8 3,6-10,5	2,8 0-5,6
Consultations pour maux de tête	7,3 3,8-10,8	8,9 4,3-13,5	3,5 1,6-5,9	8,8 5,2-12,5	---
Consultations pour maladies de l'oeil	---	---	---	---	2,1 0,5-3,7
<b>Coût total des consultations de généralistes</b>	<b>63,4</b> <b>14,6-113,6</b>	<b>32,3</b> <b>9,8-56,4</b>	<b>58</b> <b>24-93,5</b>	<b>167,3</b> <b>93,5-246,3</b>	<b>35,9</b> <b>2-68,8</b>
<b>Coût des arrêts de travail liés aux indicateurs de morbidité</b>	<b>89,3</b> <b>34,7-145</b>	<b>54,9</b> <b>15,9-95</b>	<b>87,6</b> <b>35,9-140,4</b>	<b>136,9</b> <b>66,2-208,8</b>	<b>29,2</b> <b>1,3-56,5</b>
<b>Coût total (106 F)</b>	<b>695,7</b> <b>325-1.074</b>	<b>674,3</b> <b>268-1.080</b>	<b>577,5</b> <b>272-886</b>	<b>518,8</b> <b>201-843</b>	<b>256,9</b> <b>23-495</b>

--- : relation non significative au seuil de 5%.

Greqam, 1996

VRS : Voies Respiratoires Supérieures; VRI : Voies Respiratoires Inférieures.

L'indicateur PS<sub>13</sub> est à considérer avec précaution du fait d'un nombre important de données manquantes.

Avec ce type d'évaluation économique de la vie humaine, on trouve des coûts situés entre 250 et près de 700 millions de francs, soit de l'ordre du dixième de l'estimation précédente.

#### *Prise en compte des effets de long terme*

Si on attribue à la mortalité chronique la même sensibilité à la pollution que celle trouvée par [58], l'évaluation initiale ferait plus que tripler [72, p. 75]. La prise en compte des effets sanitaires aigus et chroniques rend l'évaluation économique plus robuste envers des variations de la «valeur du mort» qu'elle ne l'est pour les seuls effets aigus.

#### *Prise en compte d'autres coûts*

La prise en compte des pertes liées aux arrêts de travail, ainsi que le coût des maladies chroniques associées à la pollution contribuerait aussi de façon significative à l'augmentation du coût total.

### Comparaisons avec d'autres évaluations économiques

On trouve dans [72, p. 63] le rappel de quelques évaluations internationales du coût sanitaire de la pollution atmosphérique.

#### **Étude de la Commission européenne**

Pour permettre une comparaison avec leurs travaux, les auteurs du Greqam reprennent les résultats d'une étude de la Commission européenne [32], mais avec une valeur de la vie humaine de 5,5 millions

de francs (au lieu des 2,6 millions d'écus préconisés par la Commission, soit environ 17 millions de francs), tout en conservant les choix communautaires pour les variables de morbidité.

En Allemagne, le coût de la pollution par dioxyde de soufre, comprenant les décès et la morbidité chronique associée, est évalué à 29 milliards de francs.

Pour l'Italie, le coût total de la pollution (mortalité et morbidité aiguës et chroniques) est évalué à 403 milliards de francs, alors qu'il l'est à 181 milliards pour les Pays-Bas. La Commission européenne émet toutefois certaines réserves puisqu'elle considère ces deux résultats comme particulièrement élevés, et conseille qu'une plus grande attention soit portée, entre autres, aux niveaux de pollution choisis comme référence.

Pour le Royaume-Uni, le coût total de la pollution atmosphérique sur la santé est évalué à 208 milliards de francs.

### **Étude britannique (T. Crowards et D. Pearce)**

Dans un numéro spécial d'*Energy Policy* consacré aux coûts de la pollution de l'air, T. Crowards et D. Pearce étudient les coûts de morbidité et de mortalité (à court terme) attribuables aux émissions de particules de diamètre inférieur à 10  $\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>) d'origine anthropique (soit environ 70 % d'entre elles) [15].

Avec une valeur pour la vie humaine d'environ 12 millions de francs, tenant compte du fait que les personnes prématurément décédées sont en général plutôt âgées, les coûts se situent autour de 17 milliards de livres, soit environ 130 milliards de francs.

Plus précisément, les coûts de mortalité sont estimés entre 5,02 et 10,52 milliards de livres (estimation moyenne de 7,77 milliards de livres) et les coûts de morbidité entre 3,14 et 10,55 milliards de livres (estimation moyenne de 6,27 milliards de livres) : les coûts totaux sont donc évalués entre 10,34 et 25,65 milliards de livres.

Une allocation des coûts de mortalité est effectuée : elle révèle que les transports en seraient responsables à hauteur de 3,92 milliards de livres, soit environ 30 milliards de francs.

### **Étude du Beta**

L'étude [75], établie sur les données sanitaires de l'étude Erpurs, fait une évaluation en Île-de-France. Elle diffère de l'étude [72] par des calculs plus agrégés et par une valeur de la vie statistique fondée sur la méthode du capital humain et évaluée à 1,2 millions de francs. Ce dernier chiffre est justifié par le fait que la pollution atmosphérique est *a priori* plus dangereuse pour les individus de plus de soixante ans.

Elle aboutit à un coût de 3 milliards de francs pour l'Île de France, dont environ 80 % liés à la mortalité et donc au choix de la « valeur du mort ».

### **Étude de l'institut universitaire de santé publique de Grenoble**

L'étude [74], qui ne repose pas sur l'étude Erpurs, est menée sur les villes de Lyon et Grenoble principalement. Elle ne chiffre pas la mortalité, mais seulement la morbidité ambulatoire et ses coûts : automédication et achat de médicaments sans recours à une ordonnance ; consultations médicales, prescriptions secondaires et arrêts de travail ; consultations et hospitalisations en urgence pour des symptômes et maladies respiratoires et ORL aigus. Elle estime le coût médico-social annuel (mortalité exclue) attribuable à l'indicateur particulière entre 13 et 76 millions de francs pour la ville de Grenoble, et entre 27 et 128 millions de francs pour la ville de Lyon.

### **Étude pour le département fédéral des transports helvétique**

L'étude d'Ecoplan [73] a été effectuée sur mandat du service d'étude des transports du département fédéral des transports, des communications et de l'énergie helvétique. Elle évalue les coûts des répercussion sur la santé, à la fois les « pertes de production » (capacité de travail, invalidité, décès), les frais de traitement médicaux, mais aussi les « coûts immatériels » (souffrance physique et psychique, choc, peur, angoisse, perte de joie de vivre) évalués par le biais des prestations en dommages-intérêts accordées par les tribunaux en cas de décès ou de perte de l'intégrité corporelle.

Seuls sont pris en compte les coûts attribuables aux émissions de particules de diamètre inférieur à 10  $\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>) et imputables aux transports. Il est souligné que les effets globaux de la pollution atmosphérique sont sous-estimés pour différentes raisons :

- effets indirects de la pollution négligés ;
- maladies chroniques évaluées sous le seul angle de l'accroissement de leur fréquence ;
- minoration des effets sur les enfants ;
- effets moyen et long terme négligés pour certains indicateurs sanitaires ;
- pas d'évaluation des effets d'autres polluants (ozone...).

Comme le font remarquer les auteurs [73, p. 15 du résumé] : « Les premières estimations des préjudices causés à la santé par la pollution de l'air imputable aux transports en Suisse tablaient sur des coûts de moyenne importance. Les résultats obtenus ici obligent à les corriger. » En effet, les coûts globaux sont évalués à 1,632 milliard de francs suisses, soit environ 7 milliards de francs.

La majeure partie est représentée par les « pertes de production » (71,3 %), en raison de l'importance monétaire des décès, suivie des « coûts immatériels » (27,4 %). On rappelle que ces coûts reposent sur des évaluations monétaires prudentes et qu'ils constituent une limite inférieure. Ainsi, la « valeur du mort » retenue est de 740 000 francs suisses (3,2 MF), « ce qui est fort peu en regard d'autres études estimant que la population serait prête à payer entre 3 et 9 millions de francs [suisses] par décès évité », d'après [73, p. 16 du résumé].

## **Étude du ministère des Transports de Colombie britannique**

L'importance significative des particules fines (PM<sub>10</sub>) est encore soulignée dans [132]. Il est estimé que les particules attribuables aux sources mobiles causent un nombre de morts comparable à celui des accidents de la circulation. Les coûts varient de 250, 1 500 à 3 500 F/kg suivant les conditions atmosphériques (715 F/kg en moyenne en Suède, 5 à 15 fois plus que les autres polluants). L'impact de l'ozone troposphérique est lui estimé par [132] à la moitié du coût des PM<sub>10</sub>, dont un tiers en dommages sanitaires et deux tiers en dommages aux cultures.

## **Commentaires**

Les études précédentes permettent de souligner un certain nombre d'éléments récurrents insatisfaisants pour l'évaluation actuelle des impacts sanitaires de la pollution, dont les conséquences sont une sous-estimation générale de ceux-ci. Ils mettent également en lumière un coût social important, même sous des hypothèses minimales.

### **Des coûts qui reposent peu sur l'expression de préférences individuelles**

Dans le cas des effets sanitaires de la pollution atmosphérique, on observe sur l'étude du Greqam et sur les quelques autres brièvement analysées, que les coûts ne sont pas tous évalués du point de vue de l'individu (à qui on demanderait d'exprimer ses préférences), mais surtout du point de vue de la société, de l'État. Ne sont généralement pris en compte que les coûts sanitaires supportés par la société, à savoir certaines pertes (congé maladie, pertes de production par décès...) et certains coûts directs (hospitalisations, consultation ou visite à domicile du praticien, dépenses pharmaceutiques engagées, dépenses de protection...).

Le cas de la mortalité est problématique. En effet, certaines études l'évaluent sur la base de pertes de production, alors que d'autres le font par le biais de consentements à payer. La première optique est cohérente avec un calcul fait du point de vue de l'État « productiviste », mais n'est pas conforme avec les fondements individualistes de la théorie économique. La seconde optique y est plus conforme, mais elle conduit souvent à mélanger deux types de coûts (individus/société), notamment lorsqu'on somme des coûts de mortalité et des coûts de congé maladie, par exemple.

En tout état de cause, les évaluations sur la base de révélations de préférences individuelles ne devraient pas se limiter à la mortalité, mais s'étendre aux désagréments liés aux symptômes de morbidité, à la douleur (*pretium doloris*), à la souffrance, à la détresse, au stress, à la perte de temps de loisirs, à la gêne, aux odeurs, aux pertes de qualité de vie, etc. Elles seraient alors sans doute plus en phase avec la sensibilité de la population, et donc permettraient mieux d'anticiper ses réactions.

### **L'évaluation économique révèle les faiblesses en matière de veille sanitaire**

Les faiblesses d'évaluations économiques peuvent être propres à la discipline économique, mais aussi provenir d'autres origines. L'analyse pas à pas de la chaîne allant des émissions aux coûts est un révélateur des faiblesses en matière de veille sanitaire. C'est ainsi que de nombreux impacts ne sont pas pris en compte pour cause de doutes sur la qualité de données, sur leur validité (appareillage), voire d'absence de données.

Les études peuvent aussi souffrir d'un défaut de coordination : intégration inexistante ou tardive des préoccupations d'économie dans les études médicales, ou de médecins dans les travaux des économistes (mauvaise interprétation des données médicales).

### **Des incertitudes qui peuvent être déterminantes pour l'évaluation économique**

Les questions de l'*exposition des populations* et des *effets long terme* apparaissent comme des sources majeures d'incertitude qui peuvent bouleverser une évaluation économique.

### **Des hypothèses et des conventions sensibles pour l'évaluation économique**

Les montants des coûts reposent sur des hypothèses, des conventions de calcul et des simplifications. Destinées à réduire l'incertitude, elles peuvent avoir des conséquences importantes.

Ainsi, des hypothèses moyennes sont faites sur la population pour pouvoir agréger des résultats. Or, une division en sous-populations pourrait conduire à des évaluations sensiblement différentes. Par exemple, selon qu'une hospitalisation touche un actif ou un non-actif, ses conséquences sur l'activité productive ne sont pas comparables, etc.

Toutefois, s'il y a accord sur les conventions et les hypothèses, on observe que les évaluations monétaires sont relativement proches. Au sujet des conventions, nous approfondissons ici la question des critères de bien-être.

### **Le choix de la « valeur du mort » est déterminant**

Toutes les études citées soulignent le rôle-clef joué par la valeur économique associée à une vie statistique. Par exemple, dans [72, p. 66], on indique que le coût associé à la mortalité détermine à lui seul entre 86 % et 98 % du coût total attribuable à la pollution selon les indicateurs retenus. Sa prédominance impose d'examiner la sensibilité des résultats aux variations de cette valeur. Pour ce faire, les auteurs ont choisi de représenter le coût annuel de la pollution par indicateurs sanitaires agrégés (mortalité, hospitalisations, consultations et arrêts de travail), en choisissant quatre valeurs pour la vie humaine : deux issues de la théorie du capital humain (1,2 MF [75] et 3,3 MF [69]) et deux issues de méthodes d'évaluation contingente (5,5 MF [68] et 17 MF [valeur recommandée par l'Union européenne]).

### **Le choix de la « valeur du mort » éclipse une réflexion sur les critères de bien-être**

Cette importance de la « valeur du mort » dans les coûts totaux est troublante. Elle révèle en fait l'incapacité à apprécier les coûts associés aux désagréments liés aux symptômes de morbidité, à la douleur (*pretium doloris*), à la souffrance (migraines...), à la détresse, au stress, à la perte de temps de loisirs, à la gêne (picotements des yeux...), aux odeurs, aux pertes de qualité de vie, etc.

Si les politiques sanitaires reposaient exclusivement sur les évaluations telles que pratiquées aujourd'hui, elles négligeraient implicitement ces aspects « qualitatifs » des nuisances et pourraient se trouver en porte-à-faux avec les attentes de la population. Il faut donc s'interroger sur les options premières en matière de choix des critères d'évaluation : la mortalité doit-elle se voir attribuer à ce point plus de poids que la dégradation de la qualité de vie ? quelle importance attache-t-on à la souffrance, etc. ?

On rappelle que, selon la définition de l'OMS, bonne santé ne signifie pas seulement absence de maladie, mais « état complet de bien-être physique, mental et social ». En outre, il est fait référence dans [72, p. 55] à la définition de la morbidité à laquelle se réfère la législation américaine. La morbidité y est définie comme « une déviation d'un état physique ou mental sain, résultant d'une maladie ou d'un préjudice, dont la personne affectée a conscience ». Dans cet esprit, on trouve d'autres indicateurs : QALY (*quality-adjusted life-year*), HYE (*healthy-years equivalents*), DALE (*disability-adjusted-life-expectancy*), etc.

### **Des évaluations d'impacts sanitaires *a minima***

Les études citées soulignent la prudence de leurs évaluations et les nombreux effets non pris en compte (nous ne reviendrons pas sur l'absence quasi systématique des effets qualitatifs), ce qui contribue à sous-estimer l'impact de la pollution.

Les évaluations économiques, indicateur de pollution par indicateur, ne sont bien sûr pas ajoutées les unes aux autres puisque l'action des polluants est globale. Néanmoins, chacune d'entre elles donne un aperçu minimisé de l'impact général de la pollution.

Les incidences à moyen terme de l'augmentation de la fréquence des affections (rhumes, rhino-pharyngites, allergies...) sur l'état général de la population (fatigue, baisse de productivité...) ne sont pas appréciées en tant que telles.

Les effets chroniques concernent des symptômes résultant plutôt d'une exposition prolongée à la pollution (toux persistante, sifflements, essoufflements, bronchites chroniques...) et sont considérés comme des effets à long terme. Or, les effets en terme de mortalité et morbidité chronique sont rarement pris en compte dans les études épidémiologiques ; il se peut toutefois que la variation d'un indicateur sanitaire résulte d'une exposition prolongée – bronchite chronique, problèmes cardio-vasculaires,



etc. – mais c'est l'exacerbation du niveau de pollution qui va déclencher son observation.

Les effets à long terme qu'une exposition prolongée à la pollution entraîne sur une population fragile (les enfants, par exemple) demeurent encore largement méconnus puisqu'ils commencent à peine à être observés.

Toutefois, comme on observe des effets visibles sur la santé malgré une mauvaise mesure de l'exposition, il en résulte que les risques relatifs réels sont certainement très supérieurs aux risques observés. Il convient ainsi de considérer l'ensemble des résultats comme des ordres de grandeur plausibles fournissant une estimation basse des coûts de santé.

### **Des coûts plus liés à une exposition de fond qu'à des « pics de pollution »**

On constate que la plus grande partie des coûts sanitaires est liée à une exposition durable à des niveaux de pollution moyen (ce phénomène est lié à la forme des fonctions dose-réponse, logarithmique et linéaire).

### **Des coûts majoritairement imputables aux particules**

La revue des différentes études fait apparaître que, parmi les indicateurs de pollution, ce sont ceux associés aux particules en suspension et poussières (PM<sub>10</sub>, PS<sub>13</sub>, FN) qui sont à l'origine des coûts les plus élevés. Or, plus du tiers des émissions de poussières sont imputables au transport, ainsi que plus de la moitié des particules fines [106, p. 137]. Ainsi, la circulation routière est à l'origine d'une part essentielle dans les coûts. Ceci est accentué par le développement particulier du parc de véhicules diesel en France (sans oublier les particules émises par les véhicules à essence).

## **Discussion sur d'autres estimations envisageables**

Compte tenu des commentaires faits dans le paragraphe précédent, nous proposons ici quelques pistes pour d'autres types de coûts que ceux traditionnellement pris en compte.

### **Prendre en compte les risques importants de long terme reposant sur des hypothèses solides**

Nous avons souligné à plusieurs reprises en quoi seuls étaient généralement pris en compte les effets sanitaires de court terme. Pour les effets de long terme, on peut tenter d'évaluer certains coûts ou aussi recommander une approche de précaution dans la décision.

### Effets chroniques et de long terme : des suspicions fondées

Nous reproduisons ici le tableau XXII de [66, p. 145]. Ce tableau prend en compte des informations issues d'études expérimentales, d'études épidémiologiques en milieu professionnel ou général, ou d'études relatives à l'exposition. Il ne s'agit pas d'une mesure de l'importance du problème en terme de santé publique, mais d'un jugement d'experts porté sur l'existence et la fiabilité des données nécessaires à l'évaluation de l'impact de la pollution d'origine routière.

### Qualité de l'information disponible pour l'évaluation du risque sanitaire à long terme des polluants atmosphériques d'origine automobile

Polluant-indicateur	Particules	SO2	NO2	O3	Benzène	HAP	Aldéhyde	CO	Pb
	E2	E2	E2	E1	E?	E?	E?	E2	E2
	A1	A1	A1	A?	A1	A?	A1	A1	A1
Mortalité générale	+	?	?	?	?	?	?	?	?
Mortalité respiratoire	+	?	?	?	?	?	?	?	?
Mortalité par asthme	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Mortalité Cardio-vasculaire	+	?	?	?	?	?	?	?	?
Mortalité par cancer	+	?	?	?	?	?	?	?	?
Incidence cancers respiratoires	+	0	?	?	0	+	?	0	0
Incidence leucémies	?	0	?	?	++	?	+	0	0
Incidence autres cancers	?	0	?	?	?	+	+	0	0
Fonction respiratoire	++	+	?	+	?	?	?	0	?
Voies aériennes supérieures	+	+	?	?	?	?	?	0	?
Voies aériennes inférieures	++	++	+	?	?	?	?	0	?
Prévalence de l'asthme	?	+	+	+	?	?	?	0	?
Affections cardio-vasculaires	?	?	?	?	?	?	?	?	+
Troubles neuro-comportementaux	?	?	?	?	?	?	?	?	++

SFSP, 1996

Exposition de la population	E? E1 E2	inconnue connue ponctuellement peut être estimée
Part de la source automobile dans l'exposition	A? A1	inconnue peut être estimée

Qualité de l'information sur les effets sanitaires	0	absence d'effet
	?	pas d'effet établi
	+	effet connu mais non quantifié
	+	effet connu et quantifié

À l'examen de ce tableau, on constate que certains effets de long terme sont connus et quantifiés, notamment sur :

- la fonction respiratoire [particules] ;
- les voies aériennes inférieures (toux, gêne respiratoire, oppression thoracique, bronchite, crise d'asthme, etc.) [particules, SO<sub>2</sub>].

En outre, il existe des éléments de présomption assez forts (hypothèses et données solides) et des risques suffisamment importants pour discuter de l'application du principe de précaution pour les affections suivantes :

- augmentation de la prévalence de l'asthme [SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>] ;
- voies aériennes supérieures (irritation du nez, de la gorge, etc.) [SO<sub>2</sub>] ;
- fonction respiratoire [SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>] ;
- incidence sur les cancers respiratoires [particules] ;
- mortalité générale, respiratoire, cardio-vasculaire, par cancer [particules].

### Des coûts pouvant tripler

En évaluant des risques relatifs de mortalité chronique, de bronchites chroniques, d'arrêts de travail liées aux particules en suspension PM<sub>10</sub> à partir de différentes études étrangères (de telles études étant inexistantes en France), une évaluation des coûts « d'effets long terme » est tentée dans [72, p. 72-75].

Compte tenu de l'ensemble des hypothèses retenues, le coût sanitaire total associé à l'indicateur de pollution «fumées noires» est estimé pour l'Île-de-France à 21,7 milliards de francs, avec une fourchette réaliste variant de 18 à 27,6 milliards. Ainsi, la prise en compte des effets chroniques conduit à multiplier par trois environ le coût associé aux seuls effets aigus.

Si on n'impute pas la totalité du coût de la vie statistique à la pollution atmosphérique, comme l'ont fait les auteurs du Greqam dans un développement ultérieur de leur étude [72], on aboutit à une estimation de 9,4 milliards de francs.

### Calculs envisageables

L'accumulation de particules fines dans les alvéoles pulmonaires a un effet sur la fonction respiratoire et sur les voies aériennes (supérieures et inférieures). Or les enfants constituent une population sensible, notamment jusqu'à trois ans, car leur appareil respiratoire est en pleine maturation et développement (200 à 300 millions d'alvéoles sont créées de 0 à 3 ans) et que leur activité est importante à l'extérieur.

On pourrait tenter d'évaluer les coûts associés au type de scénario suivant : si x % (1 %, 5 %, 10 %, etc.) de jeunes enfants sont soumis aux effets des particules fines dans leur phase de développement

des alvéoles pulmonaires et deviennent insuffisants respiratoires, quels seront les coûts correspondants ?

Un calcul similaire pourrait être envisagé pour l'augmentation de la prévalence de l'asthme sous l'effet du dioxyde de soufre, du dioxyde d'azote, de l'ozone. Si un terrain de fragilisation se développe et que x % de jeune enfants contractent de l'asthme, quels seront les coûts correspondant ?

### **Estimer des coûts de crise provenant d'inquiétudes sanitaires sur les émissions de particules diesel**

On a déjà indiqué combien certains risques (transfusion sanguine, « vache folle »...) ont fait l'objet de sous-estimations lourdes. Les réactions de l'opinion, sur un sujet comme celui de la pollution atmosphérique, qu'elles soient justifiées ou non, peuvent être brusques et de grande ampleur : les conséquences sur l'industrie automobile et les circulations de marchandises, dans leur configuration actuelle, pourraient être importantes. Nous présentons ici un « scénario du pire » qui pourrait servir de support à une évaluation économique (ordres de grandeur).

#### **Les effets sanitaires des particules fines se manifestent pour des concentrations relativement faibles**

D'après [66, p. 58], un consensus se dégage pour considérer que l'essentiel des effets associés aux particules est le fait des particules les plus fines (< 2 à 3 µm de diamètre aérodynamique). Or, les particules issues des pots d'échappement des véhicules se caractérisent précisément par leur très petite taille (pics à 0,1 et 0,3 µm, [106]), qui leur confère une aptitude particulière à pénétrer très profondément dans les voies aériennes d'où elles mettront beaucoup de temps à être éliminées. De plus, les véhicules à essence émettent des particules encore plus fines, soit directement, soit par formation secondaire à partir d'aérosols, qui ne sont actuellement pas mesurées. Dans la gamme des tailles de ces particules ultra-fines, de l'ordre de 20 à 40 % pourront se déposer au niveau alvéolo-interstitiel [66, p. 59].

D'un point de vue biologique et sanitaire, ces particules ultra-fines sont donc sans doute les plus préoccupantes. Les effets mis en évidence concernent principalement la mortalité cardio-vasculaire et respiratoire à court terme, les atteintes fonctionnelles respiratoires, l'incidence d'épisodes asthmatiques, et divers indicateurs d'activité sanitaire (consultations ambulatoires, entrées aux urgences hospitalières...). Ces effets se manifestent pour des concentrations relativement faibles (< 50 µg/m<sup>3</sup>), inférieures aux valeurs de référence actuelles de la qualité de l'air [66, p. 60].

À plus long terme, la responsabilité des particules, à fortes concentrations, dans la genèse et le développement de la bronchite chronique est établie depuis longtemps. Deux études récentes sur des cohortes américaines constituées d'adultes «tout-venant» suggèrent aussi que l'exposition sur 10 à 15 ans à des teneurs relativement modérées de

particules serait associée à une réduction de la survie. La mortalité en cause est encore de type cardio-respiratoire, mais comporte également des décès par cancer pulmonaire, le meilleur indicateur prédictif de ce risque étant les particules fines ( $< 2,5 \mu\text{m}$ ), avec des risques accrus de 5 à 35 % selon le degré de pollution des zones comparées [66, p. 61-63].

### **Les émissions diesel sont probablement cancérigènes**

On souligne dans [66, p. 66] qu'il est « couramment admis par la communauté scientifique que les particules diesel sont responsables de la cancérogénicité expérimentale des émissions diesel. »

En outre, le CIRC (Centre international de recherche sur le cancer) et l'Agence américaine de l'environnement ont classé les émissions diesel comme étant *probablement cancérigènes* (classe 2a du CIRC) chez l'homme [66, p. 69]. Ceci a été réaffirmé par le Comité de prévention et de précaution en 1997.

### **Les particules diesel de très petite taille constituent la plus grande part des poussières en suspension en milieu urbain**

D'après [66, p. 59], « selon une étude réalisée par l'industrie automobile, en considérant la composition du parc automobile en 1995, 87 % des particules émises à l'échappement des voitures proviendraient des véhicules diesel, 12 % des voitures essence sans catalyseur et 1 % des voitures essence avec catalyseur » (en masse). Il faut y inclure les particules provenant des véhicules utilitaires qui représentent 60 % des particules émises en ville d'après [106, p. 108].

Et, d'après [66, p. 64], les particules diesel (diamètre aérodynamique moyen de  $0,5 \mu\text{m}$ ) constituent aujourd'hui la plus grande part des poussières en suspension en milieu urbain. C'est à dire que, par delà la diminution qui a pu être observée, depuis 20 ans, des valeurs d'immission (teneurs atmosphériques) des particules (mesurées alors par la technique des fumées noires), la nature des particules a aussi évolué. Tout laisse à penser que les particules présentes aujourd'hui dans l'air urbain montrent, par leur taille et leur composition chimique (et peut-être les polluants associés), une nocivité plus marquée que celles qui étaient historiquement associées aux processus de combustion industriels et du chauffage résidentiel traditionnel.

### **Quelles seraient les conséquences si les particules d'échappement suscitaient une inquiétude accrue ?**

Imaginons que les émissions du gazole s'avèrent cancérigènes. Ou encore que, suite à l'installation de capteurs de pollution atmosphérique, on s'aperçoive que les enfants sont particulièrement exposés aux particules diesel et que des effets long terme se révèlent chez des adultes exposés dans leur enfance. On peut alors craindre réactions et mesures prises dans la précipitation («scénario vache folle»), ou une nouvelle décrédibilisation des pouvoirs publics en matière de santé (on a déjà rappelé que le rapport [64] affirmait, en 1983, que « l'accroissement du parc automobile équipé en moteurs Diesel, principaux responsables de

l'émission des fumées, n'est pas souhaitable jusqu'aux conclusions définitives des expérimentations en cours »).

Sur la base de simples craintes, pas forcément étayées, des pays où le diesel n'existe pratiquement pas pour les véhicules légers (USA), ou est bien moins développé que chez nous (Europe du Nord), n'hésiteraient pas à prendre des mesures de prévention brutales, ce qui déstabiliserait l'industrie automobile nationale.

Quels seraient les coûts d'une telle crise ?

### **Effets de synergie, valeurs d'altruisme, pertes de qualité de vie**

Dans ce dernier paragraphe, nous indiquons brièvement quelques autres pistes.

#### **Prendre en compte de possibles effets de synergie**

Les impacts de la pollution atmosphérique peuvent dépendre d'autres facteurs, comme la présence d'allergènes ou d'agents infectieux, les antécédents médicaux (notamment l'asthme), etc. Ainsi, on notera qu'en France les allergies affectent 30 % à 40 % de la population et qu'on compte 3 millions d'asthmatiques (dont 1 million d'enfants).

Le *sick building syndrom* (« syndrome du bâtiment malade ») illustrerait selon certains l'existence de synergies toxiques entre polluants, bien que chacun d'entre eux soit situé en dessous de la norme.

#### **Intégrer des valeurs d'altruisme**

Comme seuls les coûts individuels sont évalués, on néglige d'éventuels coûts d'altruisme, par exemple ce que des parents seraient prêts à payer pour réduire les nuisances auxquelles leurs enfants sont exposés

#### **Évaluer des pertes de qualité de vie**

L'étude des effets de la pollution atmosphérique sur la fréquentation de certains lieux (rues commerçantes, parcs et jardins, etc.) pourrait permettre d'estimer ses impacts sur certains aspects de qualité de vie.

Des évaluations contingentes de perte de bien-être consécutives à des crises d'asthme, à des oppressions thoraciques pourraient alimenter une estimation plus complète des coûts de la pollution atmosphérique que celle fondée uniquement sur l'augmentation des visites et des frais médicaux.

---

## **La prévention des changements climatiques**

Réunies à Rome en décembre 1995, le bureau du GIEC (dont les membres sont proposés par les gouvernements) et ses assemblées plénières (constituées de membres désignés par les gouvernements et d'experts les assistant) approuvent son deuxième rapport d'évaluation. Ce rapport est le fruit de la collaboration internationale de plus de deux mille chercheurs et spécialistes qui ont fait une revue, avec procédures d'expertise et de contre-expertise, de l'état de la littérature scientifique sur l'évolution du climat, sur les incidences de cette évolution, incluant ses aspects socio-économiques.

*La version définitive du document de synthèse [50] a été approuvée mot à mot lors de cette onzième session à laquelle ont assisté des représentants de 116 gouvernements, de 13 organisations intergouvernementales et de 25 organisations non gouvernementales. Ce document énonce notamment que « le faisceau d'éléments disponibles suggère qu'il y a une influence perceptible de l'homme sur le climat global ». En voici quelques autres extraits. « En moyenne globale, la température de surface a augmenté de 0,3 à 0,6 °C environ depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle ». « La concentration de gaz à effet de serre continue d'augmenter ». « De nombreux gaz à effet de serre restent très longtemps dans l'atmosphère (de plusieurs dizaines d'années à plusieurs siècles pour le CO<sub>2</sub> et le N<sub>2</sub>O) ». « On s'attend à ce que le climat continue d'évoluer ». « La future évolution du climat risque [...] de nous réserver des "surprises", dues notamment au caractère non linéaire du système climatique ». « Des modifications potentiellement graves ont été identifiées, y compris, dans diverses régions, une multiplication des phénomènes extrêmes liés à des températures élevées, des inondations et des sécheresses, entraînant des incendies, une augmentation de parasites et certaines conséquences pour la composition, la structure et le fonctionnement des écosystèmes, notamment leur productivité primaire ».*

Ici, nous nous attacherons plus particulièrement aux contributions du GIEC sur les aspects socio-économiques de l'évolution du climat. Compte tenu de la qualité de l'expertise du GIEC (tant par les contributeurs, que par les procédures d'expertise et de contre-expertise), les comptes rendus de ses travaux sont une référence.

### **Un témoignage sur le groupe III du GIEC vu de l'intérieur... ou la nature de l'expertise économique**

Jean-Charles Hourcade, qui a participé au groupe III du GIEC consacré aux aspects socio-économiques de l'évolution du climat, décrit dans [28] son fonctionnement. Ce témoignage met en lumière les qualités et les limites de l'évaluation économique comme mode de coordination

sur un dossier difficile comme celui du changement climatique. Nous en reproduisons ici de larges extraits.

« Le mandat du Groupe III était paradoxal puisqu'il était demandé à une discipline qui se définit comme la science du choix rationnel de ne formuler aucune conclusion opérationnelle, de s'en tenir à une posture strictement analytique et de conserver cette posture de scientificité pure en éclairant trois questions clefs au caractère politiquement très sensible : faut-il agir ou pas ? comment partager équitablement les charges de l'action ? quels instruments économiques sont susceptibles de coordonner des actions préventives ?

« Il fallait donc travailler sans jamais franchir la ligne rouge qui sépare l'affirmation scientifique et la recommandation, ligne dont le tracé se détermine en pratique par une série de tensions entre scientifiques et représentants politiques autour de ce qui est acceptable et de ce qui ne l'est pas. Mais il fallait aussi travailler sous le regard des collègues de "sciences dures" c'est-à-dire avec leur méthode de validation des énoncés scientifiques. Cette double contrainte va produire des effets qui sont loin d'être négatifs.

« Praticant, comme les autres disciplines, l'évaluation par les pairs via des publications et colloques, les économistes n'ont pas à leur disposition l'outil de l'expérimentation en laboratoire pour tester des résultats et ils organisent des colloques ou revues où s'échangent les idées entre partisans de telle ou telle approche et hors de la présence des contradicteurs. Cette structuration en "tribus" a une conséquence pratique immédiate sur le mode de validation des connaissances : l'économiste se comporte souvent, volens nolens, comme "conseiller du prince" ou de l'opposition au prince et chaque administration peut alors passer une étude, chaque journal demander un article, à la tribu qui lui donnera la réponse qu'il attend (une non-réponse s'il s'agit de montrer que tout est très compliqué !). Il y a donc tendance à la reproduction à l'infini de discours confortablement parallèles qui ne se réfutent jamais, chacun protégeant ainsi sa niche symbolique et son marché.

« Or les règles du GIEC vont contraindre ces tribus à se comporter en communauté scientifique, c'est-à-dire à se confronter dans des lieux précis, dans une période de temps limitée, pour rédiger un document commun rendant compte de leurs acquis et de leurs désaccords. Cette contrainte d'unité de temps, de lieu et d'action, sous les regards d'autrui produira des effets immédiats avec une marginalisation de ceux qui refuseront en fait la confrontation, mais surtout se révélera très efficace pour produire du consensus.

« Certes, ce consensus résulte en partie, on le verra, sur des subtilités rhétoriques et l'utilisation de la polysémie des concepts. D'une part, il fallait jouer le jeu sous peine de disqualification du travail des économistes, soupçonnés avec quelque raison de produire des résultats numériques inexploitablement parce que totalement divergents. D'autre part, il fallait produire un texte acceptable non seulement par les signataires, mais aussi par les représentants des gouvernements à l'assemblée générale



du GIEC. Ici, la contrainte politique interviendra très directement. Les règles du jeu sont en effet les suivantes :

- le rapport lui-même doit être *accepté* par l'assemblée générale ; les gouvernements et les ONG ont fait parvenir des contre-propositions (du type : "in ligne n° XX changer par YYY") au bureau du GIEC qui les a réparties entre les coordinateurs des chapitres. Pour donner un ordre de grandeur, j'ai reçu, pour les deux chapitres dont j'avais la charge, de l'ordre de deux fois 50 pages de textes, souvent contradictoires d'ailleurs. L'équipe de rédaction devait répondre brièvement par écrit à chaque proposition et, en assemblée générale, le coordinateur devait expliquer les raisons de l'intégration ou du rejet de chaque remarque. Sur cette base, l'assemblée générale pouvait encore demander des corrections partielles et, en cas de désaccord profond avec certaines délégations, exiger d'enlever des paragraphes, des sections du texte, voire [...] un chapitre entier ;
- le "summary for policy-maker", vite perçu comme le seul document vraiment important car "lu par les journalistes", doit être **approuvé** ligne à ligne par l'assemblée générale ;
- le "synthesis report", qui dégage les éléments importants pour l'application de la convention-climat, n'engage que le bureau du GIEC et l'équipe de rédaction mais doit être **accepté** par l'assemblée générale. [...]

«On pouvait donc craindre que seul un consensus mou ne sorte de ce jeu entre scientifiques, puis entre scientifiques et politiques. La lecture de certains passages pourrait le laisser penser tant ils fleurent bon l'artefact rhétorique ; en fait, au delà des apparences, il y a bien eu production de consensus vrai, même si ce consensus porte moins sur le contenu des réponses que sur la reformulation des questions initiales ou plutôt de la question initiale. »

## **Une contribution économique construite a priori autour de l'analyse coûts-bénéfices**

Nous poursuivons avec le témoignage de Jean-Charles Hourcade.

« Tout s'ordonne en fait autour de la question "faut-il agir ou pas ?" qui seule, en définitive, intéresse les politiques. On peut même aller plus loin et dire que, malgré les milliers de pages écrites contre le caractère réducteur des approches coûts-bénéfices, la forme de la réponse attendue par ces politiques était bien en terme de bilan monétaire des coûts et gains de l'action. C'est donc autour du schéma coût-bénéfice que sera construit le rapport avec [...] des conséquences inattendues sinon surprenantes. Après deux chapitres cadrant la discussion, le rapport expose les concepts clefs de l'analyse coûts-bénéfices (dont la question de l'actualisation) puis la question de l'équité. Le chapitre n° 6 évalue alors le coût des dommages, avant que les chapitres n° 8 et 9 n'abordent les coûts des politiques visant à réduire les émissions. Les chapitres 6-8-9 fournissant les ingrédients de l'analyse coût-bénéfice, il restait au chapitre n° 11 à traiter des instruments d'incitation.

« Cette structure du rapport posera des problèmes de cohérence interne révélatrice des impasses intrinsèques de l'analyse coût-bénéfice en ce domaine. Mais rien ne pouvait résister, au départ, aux pressions pour poser les problèmes en ces termes, toute réserve étant assimilée à une diversion, à une posture de verbiage inefficace. Il importe ici de souligner à quel point il y avait convergence entre les réflexes des politiques qui veulent des réponses simples leur simplifiant la tâche, et les scientifiques "durs" qui comprennent mal la réticence à s'appuyer sur des chiffres même s'ils sont convaincus des difficultés de l'exercice (mieux vaut un chiffre faux mais rationnellement réfutable qu'une suite d'arguments littéraires). Il sera d'autant plus difficile de résister à cette pression que l'approche coût-bénéfice constitue la méthode de référence des économistes professionnels, certains même assimilant le refus d'utiliser de telles méthodes à une rupture par rapport à la discipline.

« L'intérêt du rapport du GIEC est de montrer comment, en jouant sérieusement ce jeu là, les équipes mobilisées vont en définitive opérer un intéressant changement des perspectives, et, peut-être aider à "déplacer les regards" sur un problème de forme inédite. »

À présent, nous allons utiliser le document de synthèse du deuxième rapport d'évaluation du GIEC [50] pour mettre en lumière la fragilité de l'analyse coûts-avantages en situation d'incertitude.

## **Coûts des dommages : l'impasse**

Dans [50], les considérations sur le coût social du changement climatique résultant des activités humaines (dommages imputables à l'augmentation des gaz à effet de serre) indiquent combien les évaluations possèdent un caractère spéculatif, à tel point qu'il est précisé que le « GIEC n'endosse aucune des fourchettes de valeurs publiées en ce qui concerne les dommages marginaux imputables aux émissions de CO<sub>2</sub> » [50, p. 51].

## **L'importance des conventions de calcul et l'instabilité des évaluations**

Le rapport du GIEC souligne également le rôle des conventions de calcul dans les incertitudes considérables observées dans la littérature sur les estimations. « Il est impossible de considérer la fourchette des estimations comme une barre d'erreur, étant donné les hypothèses et les méthodologies très diverses adoptées pour les différentes études. » [50, p. 15]. « La large gamme des dommages estimatifs reflète les différences des scénarios, des taux d'actualisation et d'autres hypothèses. Il faut souligner que les estimations concernant le coût social de l'évolution du climat sont caractérisées par un degré d'incertitude important en raison de notre connaissance limitée des incidences de cette évolution, à des incertitudes quant à l'avenir des développements technologiques et socio-économiques et à l'éventualité d'événements catastrophiques ou inattendus. » [50, p. 51].

De même, on note dans [50, p. 49] que la littérature concernant le coût social « se fonde essentiellement sur des recherches effectuées dans des pays développés, dont les résultats sont souvent extrapolés pour les pays en voie de développement. »

### **Divergences sur les incidences non liées au marché**

Ces conventions de calcul frappent bien sûr les évaluations hors marché (incidences telles que la dégradation de la santé humaine, le risque de mortalité et la détérioration des écosystèmes) qui représentent une part importante des estimations. « Les ouvrages sur l'évaluation financière de ces incidences reflètent des opinions et des approches divergentes. » [50, p. 50]. On observe que les estimations non marchandes des dommages « sont très incomplètes et possèdent un caractère hautement spéculatif », et qu'il n'existe pas de principes économiques largement admis pour l'évaluation de certaines catégories de répercussions sur l'environnement, la culture et la santé. Ceci n'implique pas que ces dommages en deviennent négligeables.

### **Absence de consensus sur la valeur de la vie humaine**

Parmi ces conventions, la valeur de la vie humaine est déterminante : « Il n'existe aucun consensus quant à la façon d'évaluer la valeur d'une vie statistique ou de regrouper les vies statistiques pour plusieurs pays. » [50, p. 49].

On note combien la valeur de la vie humaine, comme nombre de valeurs d'actifs non marchands, dépend de la « scène » (ici nationale ou internationale) sur laquelle elle est convoquée : « Si l'on donnait partout à la vie humaine la même valeur que celle qu'on lui attribue généralement dans les pays développés, la valeur des dommages exprimée en termes financiers serait multipliée par un facteur de plusieurs unités et la part des pays en voie de développement dans l'estimation du dommage total s'accroîtrait encore. » [50, p. 15].

### **Constat sur la grande variabilité des situations face aux dommages**

Les impacts de l'évolution du climat sur certaines populations sont soulignés : « Les petites îles et les zones côtières de faible altitude sont particulièrement vulnérables. » [50, p. 15]. Deux situations qui diffèrent par la distribution des impacts ne conduisent ni à la même perception socio-politique, ni aux mêmes conséquences en terme d'acceptabilité, et donc en terme d'évaluation des impacts. L'usage d'un indicateur moyen identique pour représenter des situations contrastées peut masquer des problèmes de répartition et d'éthique.

## **Pas d'évaluations des coûts d'éventuelles surprises climatiques**

Les possibilités de surprises ne sont pas prises en compte dans les coûts : « Ces estimations ne tiennent pas compte des dommages découlant d'éventuelles catastrophes à grande échelle telles que des changements de la circulation océanique. » [50, p. 15].

## **Des effets non monétarisables**

On note dans [50, p. 50] la différence de point de vue entre certains « qui considèrent l'évaluation monétaire des répercussions de l'évolution mondiale du climat sur le bien-être humain comme essentielle pour prendre des décisions avisées » et d'autres qui, pour des raisons éthiques, « rejettent la valorisation monétaire de certaines de ces répercussions, telles que le risque de mortalité humaine ». Il est en outre estimé que le risque de disparition de civilisations entières ne peut être considéré en termes financiers, car il « implique une perte de diversité humaine, dont nous ne possédons aucun indicateur capable de mesurer la valeur économique ».

## **L'impraticable analyse traditionnelle coûts-bénéfices**

Ainsi, on relève avec [50, p. 49] combien « les coûts et les bénéfices peuvent être difficiles et parfois impossibles à évaluer, en raison de l'ampleur des incertitudes, de la possibilité de catastrophes ayant de très faibles probabilités d'occurrence ou simplement du fait qu'il n'existe pas de méthode homogène pour en exprimer les effets en termes monétaires ». Il faut aussi compter avec l'aspect mondial, régional et intergénérationnel de la question, qui complexifie encore la tâche.

Tout ceci rend délicate l'application pratique de l'analyse traditionnelle coûts-bénéfices qui repose sur le principe selon lequel, à tout moment, le degré de réduction des émissions est déterminé de façon que les coûts marginaux soient égaux aux bénéfices marginaux.

## **Vers la décision séquentielle**

Ainsi, appliquée à l'effet de serre, une analyse coût-bénéfice repose sur trop de paramètres non prévisibles ou non directement observables pour aider à la coordination des anticipations et à l'émergence d'un consensus. Le contexte d'incertitude exige d'autres approches, comme l'affirme [50, p. 17] : « Le problème n'est pas de définir aujourd'hui la meilleure politique pour les cent ans à venir, mais de choisir une stratégie prudente et de l'adapter ultérieurement en fonction des nouvelles informations disponibles. »

Ce cadre séquentiel revient à renoncer à l'idée d'optimiser une fois pour toutes les trajectoires de long terme, au profit de l'identification du noyau de décisions à prendre à court et moyen terme, en sachant que ces décisions devront être complétées, ou révisées à différents horizons. L'attention est centrée sur le choix du meilleur moment d'engagement de l'action (agir aujourd'hui, demain, après-demain) en tenant compte à la fois des constantes de temps respectives des phénomènes physiques, écologiques, économiques et politiques, des perspectives d'apprentissage et d'amélioration des connaissances scientifiques, mais aussi des possibilités attachées au progrès technique. La dimension de la réversibilité des engagements permettant de se mettre en position de bénéficier des améliorations futures de l'information devient un élément important de jugement sur les options d'action.

### **Un cas type où la norme ne peut être édictée qu'en dehors de la théorie économique**

Du fait du constat précédent, la détermination d'un niveau de concentration pour les gaz à effet de serre échappe en partie à l'évaluation économique, en raison de la trop grande fragilité des évaluations de coûts et bénéfiques marginaux susceptibles de déterminer le degré « optimum » de réduction des émissions. Elle relève d'une autre forme de coordination collective, qui inclut d'ailleurs des aspects socio-économiques.

À ce sujet, on peut rappeler que la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques reconnaît la menace planétaire et fixe comme objectif ultime « la stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique ». Elle est entrée en vigueur en 1994 et les plus de 150 États (dont la France) qui, à ce jour, l'ont ratifiée se sont engagés à un retour en l'an 2000 des émissions anthropiques de gaz à effet de serre au niveau de 1990. La troisième conférence des parties à Kyoto en décembre 1997 vient de fixer pour les pays développés des objectifs quantifiés : de -6 % à -8 % en 2008-2012, même si la question des outils reste à débattre en 1998.

S'agissant de définir les conditions de détermination d'un seuil de dommage acceptable (puisque la référence à un dommage zéro représente une impossibilité comme norme générale), cette question ne relève pas seulement d'une expertise technique et économique, mais d'une « négociation » avec la société. Ceci n'empêche pas que des études économiques sur les consentements individuels à payer le prix de la précaution envers des types de risques définis peuvent fournir des informations utiles et des points de comparaison.

Les pourcentages actuels de réduction d'émissions par pays (ou groupes de pays) résultent de compromis entre des objectifs économiques, sociaux, écologiques, politiques, diplomatiques, au sein desquels les calculs économiques n'ont représenté qu'un argument parmi beaucoup d'autres.

## **Une issue par le biais de « coûts d'évitement collectif » et d'évaluation de « risques externes »**

L'analyse traditionnelle coûts-bénéfices ne pouvant déterminer le degré de réduction des émissions, celui-ci proviendra en fait d'un consensus « politico-économico-scientifique ». L'évaluation économique se verra alors mobilisée pour évaluer les moyens d'atteindre un tel objectif.

Parmi ces instruments, on trouve une taxe sur le contenu en carbone, dont le niveau dépendrait de la cible fixée. Le niveau d'une telle taxe mesure en quelque sorte un coût d'évitement collectif d'un risque environnemental global. Ainsi, par exemple, le groupe de travail finlandais sur la monétarisation (1993) propose que, pour la planification routière, les coûts du changement climatique soient évalués en termes monétaires à partir du budget nécessaire à l'arrêt de la croissance des émissions de CO<sub>2</sub> [135, p. 59]. C'est, dans l'esprit, ce qui est fait pour le CO<sub>2</sub> lorsqu'on lui attribue le montant du projet européen d'écotaxe comme coût par tonne émise.

D'un point de vue théorique, pour l'analyse économique, un effet externe est une interdépendance non marchande et involontaire, au moins de la part de l'une des deux parties, entre deux agents, telle qu'elle affecte leurs fonctions d'utilité ou d'objectifs. Pour un enjeu comme le renforcement de l'effet de serre, les relations simples de causalité entre phénomènes sont rares. Il est donc trop difficile d'identifier des chaînes évènementielles allant d'un agent A à un agent B, ce qui serait le propre d'un calcul d'effet externe.

Une autre approche est nécessaire. Pour des risques potentiellement graves et irréversibles, dont il été collectivement décidé qu'ils ne seraient pas courus, la notion d'effet externe peut être étendue à celle de « coût d'évitement collectif » comme suit :

- l'effet externe est perçu comme un risque ;
- des cibles et des seuils sont définis par le biais d'une appréciation politique du risque ;
- les moyens pour atteindre ces cibles mesurent un « effet externe étendu ».

Olivier Godard retient le statut de « risque externe », plutôt que celui d'effet externe, pour les dommages redoutés. Ce concept de « risque externe » débouche sur la détermination du *consentement à payer collectif pour la prévention d'un tel risque*, très incertain puisque les surprises ne sont pas exclues, potentiellement catastrophique localement ou régionalement, largement non réparable, dont les conséquences peuvent être à la fois majeures et éloignées dans le temps. Un tel concept décrit une attitude normative adaptée à un contexte incertain, non réductible aux types de risques probabilisables sur la base d'un grand nombre d'évènements identiques, fondement de l'assurance ; il relève d'une culture de la précaution.

Du point de vue de la théorie économique, des valeurs d'option (en statique), et des quasi-valeurs d'option (en contexte d'incertitude avec irréversibilité et perspective d'amélioration de l'information) doivent alors se surajouter à l'espérance mathématique de la valeur des dommages attendus.

Une telle approche permettrait de fixer des indicateurs monétaires qui pourront servir de repères de coordination pour les décisions individuelles prises par différents acteurs (entreprises, collectivités locales, administrations, etc.) : il pourrait en aller ainsi de la valeur maximale accordée à la tonne d'équivalent-carbone évitée. Elle représenterait alors ce qu'on pourrait appeler le *consentement collectif à payer le prix de la précaution* envers le risque climatique. Compte tenu des limites des évaluations économiques des dommages, déjà évoquées, une telle valeur ne peut être déterminée que de deux manières :

- comme le niveau du signal-prix qu'il faut donner aux acteurs décentralisés pour que leurs nouveaux comportements permettent collectivement de réaliser un objectif donné de réduction des émissions de gaz à effet de serre, s'il a été possible de s'accorder, dans chaque pays et à l'échelon international, sur de tels objectifs ;
- comme valeur *a priori* du consentement à payer maximal pour la prévention d'un risque climatique qualifié de manière minimale comme incertain dans ses conséquences, mais potentiellement très dommageable et engageant une responsabilité intergénérationnelle.

## **Exemples d'évaluations de « risques externes »**

### Une estimation du « prix de la précaution »

Olivier Godard propose une estimation du « prix de la précaution » entre 50 et 100 \$ la tonne de carbone, c'est à dire environ entre 300 et 600 F, sur la base du raisonnement suivant.

On rappelle que 1 tonne de carbone (1 tC) représente 3,66 tonnes de CO<sub>2</sub>, ou encore 7,7 barils de pétrole. Une taxe de 100 \$ par tC représente ainsi 27 \$ par tCO<sub>2</sub>, ou encore 13 \$ par baril.

Traduits en terme de coûts à la tonne marginale de carbone, l'approche de Nordhaus, qui ignore la dimension d'incertitude attachée au problème et donc la question des attitudes à son endroit, conduit à une valeur d'environ 7 \$ la tonne [33], généralement considérée comme une évaluation plancher. Hope et Maul montrent dans [25] comment une évaluation de cet ordre, par une approche comparable à celle adoptée dans d'autres domaines de risques technologiques (notamment en prenant une valeur unique pour la vie humaine statistique, quelle que soit la région de résidence), conduit à une valeur moyenne de 24 \$ la tonne (modèle Page). Le plafond de la fourchette obtenue avec ce modèle se situe à 50 \$, valeur que les auteurs proposent d'adopter comme valeur de référence de la précaution.

Sur une période d'un siècle ou plus, toute évaluation est très sensible à la valeur adoptée pour le taux d'actualisation. Par exemple, selon que l'on retienne 2 % ou 5 % sur cent ans, la valeur actuelle des dommages obtenue se situe déjà dans un rapport de 1 à 20. Sur deux cent ans, le rapport est de 1 à 400 ; et si au lieu de prendre 2 % on prenait 1 %, le ratio serait de 1 pour 2 400. Les simulations réalisées par Manne et Richels dans [31] montrent que le choix de se caler sur un scénario mondial dans lequel les concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub> ne dépasseraient pas 550 ppm représente une « meilleure » option, robuste face aux incertitudes sur le choix du taux d'actualisation entre 2 et 5 %. Or, d'après le GIEC, pour parvenir à ce résultat, la moyenne annuelle globale des émissions ne devra pas dépasser la moyenne actuelle au cours du siècle prochain et devra même devenir nettement inférieure avant la fin et au-delà du XXI<sup>e</sup> siècle [50, p. 9] : tout dépassement du niveau actuel d'émissions devrait donc être compensé par une baisse des émissions futures en dessous du niveau actuel, en moyenne mondiale.

Les mêmes auteurs donnent une fourchette de valeurs pour la tonne de carbone évitée selon les scénarios. Dans le scénario central, sans surprise, cette valeur commence à 6 \$ en 2000 pour parvenir à 10 \$ en 2020. Dans un scénario combinant un changement climatique drastique (élévation de la température moyenne de 5°C pour un doublement de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre) et un consentement à payer élevé (calibrage à 2 % du revenu pour une augmentation de température de 1° C), la valeur de la tonne de carbone évitée est de 114 \$ en 2000, pour dépasser les 200 \$ avant 2020. La valeur de précaution se situe pour Manne et Richels dans cette fourchette, selon les probabilités subjectives accordées par les décideurs aux différents scénarios. L'objectif de stabilisation durable des émissions mondiales à leur niveau de 1990, sans dépassement aucun, ne peut se justifier aux yeux de ces auteurs que dans une logique d'évitement du scénario le moins favorable pris en compte, qui est aussi un scénario qui leur paraît avoir une faible probabilité. Il est cependant noté dans [50, p. 16] que dans « le cas précis d'une stabilisation des émissions au niveau de 1990, la plupart des études aboutissent à une estimation du coût annuel comprise entre -0,5 % du PIB (ce qui équivaldrait à un gain total d'environ 60 milliards de dollars pour les pays de l'OCDE, au niveau actuel du PIB) et +2 % du PIB (ce qui équivaldrait à une perte d'environ 240 milliards de dollars) pendant les prochaines décennies ».

Sur la base de ces évaluations, on peut raisonnablement défendre que le prix de la précaution se situe aujourd'hui à l'échelle mondiale entre 50 et 100 \$ la tonne de carbone, c'est à dire entre 300 et 600 F. Une telle évaluation ne prend en compte que les risques climatiques et ignore les avantages secondaires qui pourraient résulter d'une réduction des émissions des gaz à effet de serre. Compte tenu des responsabilités propres qui incombent aux pays industriels (la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques fait état de « responsabilités communes mais différenciées » et souligne la responsabilité première des pays industriels) et de leurs revenus par tête plus élevés



que la moyenne mondiale, le prix de la précaution à payer dans ces pays aurait *a priori* à être plus élevé que le prix mondial.

On notera que le projet européen d'écotaxe fournit un coût de 490 F par tonne de carbone émise, et que la mission interministérielle de l'effet de serre retient un montant de 1 000 à 2 000 F.

Des coûts d'inertie et une valeur attachée à l'information sont évalués dans [27] à près de 18 \$/tC.

### Une estimation du rythme d'évolution du signal-prix

D'après [110], une augmentation du prix du carburant de l'ordre de 7 % par an en termes réels sur deux ou trois décennies serait nécessaire pour ramener les émissions de CO<sub>2</sub> aux niveaux considérés comme indispensables par le GIEC. Ici, l'important est la progressivité de la croissance du prix sur longue durée.

On notera que ce type de mesure a été pris au Royaume-Uni depuis 1993, avec une hausse de 5 % par an en termes réels, et de 6 % depuis 1997.



---

# Annexes



---

# **Instructions du ministère des Transports**

pour la prise en compte  
de l'environnement dans l'étude  
d'un projet de liaison routière

---

## **Instruction relative aux méthodes d'évaluation des investissements routiers en rase campagne**

(direction des routes/SETRA, mars 1986)

### **Type d'évaluation**

L'évaluation se fait à partir d'un tableau multicritères comportant les points suivants :

- développement économique et aménagement du territoire ;
- sécurité ;
- avantages pour l'utilisateur (temps, confort...) ;
- environnement ;
- situation initiale exceptionnellement défavorable ;
- incidences sur autres modes ;
- emploi ;
- énergie ;
- bilan financier pour la puissance publique ;
- bilan coûts-avantages monétarisables.

À partir de ce tableau (renseigné qualitativement ou quantitativement selon les critères), le chef de projet effectue une synthèse. Aucune indication de méthode n'est précisée pour faire cette synthèse.

### **Prise en compte de l'environnement**

Pour chaque critère, on indique si possible des objectifs explicites (bruit, parc naturel...) et on évalue l'effet en le qualifiant de neutre, favorable ou défavorable. Le critère «environnement» (point 4)

est formé à partir d'un ensemble de critères regroupés en trois grands domaines :

- ressources naturelles et écosystèmes : sol, air, eau, faune, flore ;
- activités humaines : aménagement urbain, agriculture, sylviculture ;
- cadre et qualité de vie : bruit, pollution, paysage, patrimoine.

Le critère « énergie » (point 8) renseigne sur les dépenses énergétiques et le critère « sécurité » (point 2) sur les morts, les blessés, les dégâts matériels.

---

## **Instruction cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructure de transport**

(secrétariat d'État aux transports, 3 octobre 1995)

Les faiblesses et les problèmes soulevés par l'instruction précédente ont été discutés dans le rapport [133] du Commissariat général du Plan, *Transports : pour un meilleur choix des investissements*. Suite à ses recommandations, le secrétariat d'État aux transports a présenté une instruction cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructure de transport [134].

### **Type d'évaluation**

À présent, l'évaluation est de type socio-économique (bilan coûts-avantages), pouvant être complétée par d'autres critères (rentabilité financière, répartition des avantages...). Il est précisé que l'évaluation économique des projets ne se substitue pas à la décision politique.

### **Prise en compte de l'environnement**

Compte tenu du choix de l'évaluation socio-économique sur la base d'un bilan coûts-avantages, la prise en compte de l'environnement se fait par le biais de monétarisations. Ces dernières sont issues du groupe de travail présidé par Marcel Boiteux à partir de calculs annexés dans [133] sur la base de résultats d'études collectés dans [137]. Seuls le bruit et la pollution atmosphérique font l'objet de monétarisations.

### **Bruit**

Les recommandations de [133] et leur transcription dans [134] conduisent à valoriser les coûts du bruit de la manière suivante.

On estime le nombre de personnes soumises à plus de 65 dB(A) (resp. entre 60 et 65 dB(A), entre 55 et 60 dB(A)) qu'on pondère par 0,75 (resp. 0,20, resp. 0,05), pondération correspondant à la proportion moyenne de personnes se déclarant gênées par un tel niveau de bruit dans une population qui y est soumise. On multiplie la somme pondérée (correspondant au nombre moyen de personnes gênées) par 963 F (1994) (qui est une évaluation moyenne du coût annuel ressenti par une personne gênée par le bruit). Enfin, l'évolution de la perception du dommage sera supposée évoluer dans le temps comme la consommation finale des ménages par tête augmentée de 1 %.

## Sécurité et accidents

Une revalorisation des valeurs antérieurement utilisées conduit aux évaluations suivantes :

- 3,7 millions de francs (1994) pour le « coût du mort » ;
- 381 000 F (1994) pour le coût du blessé grave ;
- 81 000 F (1994) pour le coût du blessé léger.

À titre expérimental, pour l'étude de sensibilité, ces valeurs seront multipliées par 15 lorsqu'il y a plus de 9 personnes transportées : ceci « traduit la nécessité pour les transports collectifs d'être plus sûrs que les transports individuels ».

## Pollution locale et régionale

Les recommandations de [133] et leur transcription dans [134] conduisent à valoriser les coûts de la pollution locale et régionale par le biais d'un barème, selon les modes et selon le milieu (rase campagne ou urbain), ramenés en équivalent CO aux centimes par tonne-kilomètre ou centimes par voyageur-kilomètre. Enfin, les émissions devraient baisser de 4,5 % par an (durcissement des normes) et l'évolution de la perception du dommage sera supposée évoluer dans le temps comme la consommation finale des ménages par tête augmentée de 1 %.

La valorisation par le coût des dommages (sur la santé, les bâtiments, la végétation) repose sur un panel d'études étrangères, et elle est complétée par une valorisation par le coût d'évitement (technologies...). Il est malaisé de suivre les hypothèses et les calculs, mais il apparaît toutefois que les particules fines et l'ozone n'apparaissent pas comme tels dans les évaluations.

## Effet de serre

Le coût des émissions de CO<sub>2</sub> est évalué sur la base du projet européen d'écotaxe de 490 F par tonne de carbone émise, avec un barème en centimes par t-km ou centimes par voy.-km, selon les modes et selon le milieu (rase campagne ou urbain).

## Effets de coupure et autres nuisances

De tels effets sont simplement décrits qualitativement.

## Autres

L'énergie n'est pas intégrée *en soi* ; elle apparaît de fait dans les variations des impôts et taxes (TVA, TIPP) de sorte qu'une consommation énergétique accrue se traduit par un avantage pour l'État.



# **Évaluation de projet d'infrastructure routière : liste-guide d'impacts**

Nous avons tenté de recenser les charges et les avantages induits par le passage d'une infrastructure routière ou autoroutière, afin d'en recommander la prise en compte par les évaluations. La liste ci-dessous doit donc être vue comme une grille d'analyse, et pas comme l'affirmation que tous ces impacts sont observés à chaque réalisation. D'autre part, les effets directs de l'infrastructure nouvelle relevés ici ne sont souvent pas spécifique au mode routier. Lorsque des effets ont été monétarisés, on l'indique en citant des sources. Certains effets particuliers (santé, valeur du temps, effet de serre, etc.) sont traités dans le corps du rapport.

L'exercice se veut ouvert ; c'est pourquoi les impacts recensés sont de toutes natures (impacts du chantier, impacts directs, impacts dérivés, impacts irréversibles/réversibles) et de toutes échelles (échelle locale, sub-régionale, régionale, nationale, globale). Toutefois, l'intégration de certains effets dérivés est délicate au niveau d'une infrastructure : la diffusion mondiale du mode de transport par la route, par effet d'exemple, a des impacts très importants en terme de consommation d'énergie et d'effet de serre, mais ceux-ci sont plus appréciables au niveau de l'ensemble des investissements de transport qu'au niveau d'une infrastructure isolée, alors même que celle-ci est la concrétisation locale de l'orientation politique générale.

Pour établir cette liste, on a utilisé :

- les contributions du groupe de travail ;
- la circulaire 93-73 du 27 septembre 1993 du ministère de l'Environnement (non publiée au journal officiel), pour l'application du décret 93-245 du 25 février 1993 relatif aux études d'impact et au champ d'application des enquêtes publiques, établit une liste des impacts potentiels (impacts directes et impacts dérivés) ;
- l'étude [78], déjà exploitée partiellement dans le rapport [106] ;
- le rapport [106].

---

## **Eau : ressource et usages**

### **Impacts négatifs**

#### **Régime des cours d'eau**

Les constructions routières peuvent modifier le régime des cours d'eau en ralentissant ou en accélérant l'écoulement, et en réduisant les possibilités d'expansion des crues.

Une route transversale à un cours d'eau peut faire obstacle à l'écoulement si ses ponts sont insuffisamment dimensionnés, voire favoriser la formation d'embâcles.

Une infrastructure longitudinale à un cours d'eau peut former une digue et consommer une partie du champ d'expansion des crues (cumul de remblais, endiguements, empiètements). L'écoulement rapide d'eau de crues peut entraîner des dégâts plus loin en aval, nécessitant la construction de barrages réservoirs. Comme pour la RN6 dans la vallée de l'Arc, la forte proximité de la rivière impose des travaux pour protéger de l'érosion les berges supportant l'ouvrage.

Certains travaux routiers en vallées étroites peuvent conduire à des rescindements de méandres. En plus d'effets hydrobiologiques, ceci peut augmenter la vitesse d'écoulement et entraîner soit l'érosion du fond de la rivière au droit des rescindements, soit le rehaussement des crues en aval.

Les emprunts, dans le lit majeur des cours d'eau, de matériaux destinés aux constructions d'ouvrages peuvent perturber les régimes des eaux. C'est le cas de l'extraction de sables dans la Loire. Ces opérations peuvent faire disparaître une nappe après l'emprunt de matériaux, ou faire capturer le cours d'eau par la gravière.

L'exigence d'un exhaussement maximal peut conduire à passer en viaduc avec un différentiel de coût important par rapport au remblai : de 3 à 15 millions de francs du km (remblais) jusqu'à 100 à 200 millions de francs du km (viaduc). Si la possibilité de tels coûts n'est pas intégrée assez tôt au calcul économique, ils apparaîtront après comme des surcoûts au risque d'être refusés. Par comparaison, le coût de construction d'une autoroute de rase campagne se situe entre 30 et 50 millions de francs du km (hors taxes).

À titre d'exemples, le tracé par Langeais passe dans le lit mineur de la Loire et on envisage de faire l'autoroute dans un caisson ; le tracé du TGV sud-est dans la Durance a considérablement multiplié les ouvrages nécessaires et accru les coûts.

### **Nappes phréatiques**

Les constructions routières peuvent perturber, qualitativement et quantitativement, le régime des nappes superficielles d'eaux souterraines. Soit la fondation de la chaussée obstrue les écoulements, soit les

déblais/remblais et les emprunts de matériaux (carrières, etc.) mettent à nu la nappe phréatique (risques de pollution). L'imperméabilisation des zones de réalimentation (bas-fonds...) peut aussi jouer un rôle.

En présence de champs captants, par exemple pour les eaux minérales, les risques de pollution accidentelle de la ressource doivent être examinés. Ainsi, dans le cas du projet autoroutier Annemasse-Thonon (A400), un accident touchant les champs d'Évian aurait induit un manque à gagner de 5 milliards de francs, soit deux fois le coût de l'ouvrage qui est de 2,5 milliards de francs (source Danone). Pour éviter ce type d'accident, l'autoroute Beaune-Mulhouse a demandé 400 millions de francs de travaux d'étanchéification. Les coûts supplémentaires éventuels pour diversifier l'alimentation en eau, du fait du passage d'un projet sur des champs captants, devraient aussi être envisagés, ainsi que les installations de traitement supplémentaires en cas de reprise de captage. On notera que les assureurs refusent d'assurer les champs captants d'eaux minérales.

## Ruissellement

L'imperméabilisation supplémentaire des sols conduit à une augmentation du ruissellement pouvant accentuer les crues (rus, ruisseaux en cas d'orage), ou à des apports d'eaux polluées par le lessivage des chaussées, jusqu'aux dispositifs de traitement.

Nous citons ici [106]. Lorsque l'eau de pluie lessive des surfaces asphaltées en zones urbaines (rues, routes, pistes d'aéroport...), elle entraîne dans les réseaux d'assainissement de forts débits d'eau chargée d'une pollution diffuse (métaux, hydrocarbures...) qui peut perturber le traitement dans les stations d'épuration. En zone non imperméabilisée ou rurale, cette pollution atteint les sols, les nappes phréatiques ou cours d'eau présents. On a estimé cet impact à 230 à 400 kg de DCO (demande chimique en oxygène), 1,5 à 2,5 kg de zinc, 1 kg de nickel et 50 g de cadmium par an et par km de route à deux voies pour 12 000 véhicules/jour. De plus, par effet de synergie, la dose létale pour ces métaux présents simultanément peut être divisée par dix. L'intense circulation de camions en Autriche a entraîné une pollution grave des sols de la vallée de l'Inn par le plomb, au-delà des valeurs-limites européennes. Le salage des voies chaque hiver fait lessiver entre un demi-million et un million de tonnes de sel. Le sablage apporte aussi une quantité importante de sédiments supplémentaires dans les cours d'eau.

Des pollutions peuvent provenir de l'utilisation de matériaux polluants en sous-couche (mâchefers insuffisamment stabilisés, cendres, etc.) [82]. Des dispositifs d'atténuation existent (bassins de collecte, de rétention...).

En zone urbaine, les coûts induits devraient pouvoir être appréciés par exemple par la différence de coût entre chaussées poreuses et non-poreuses, ou par les évaluations de modifications de redevances faites par les agences de l'eau.

Les coûts de la pollution des eaux et des impacts hydrologiques sont estimés par [132] de 0,05 à 0,1 F par véhicule-km.

## **Impacts positifs**

Un obstacle à l'écoulement par un pont peut être recherché pour freiner une crue et protéger des zones en aval. Une route digue peut servir de protection d'une partie du lit majeur contre une inondation. Dans les deux cas, le report de l'impact de la crue sur d'autres zones doit être pris en compte dans l'évaluation.

---

## **Qualité de l'air, émissions atmosphériques, émissions lumineuses**

### **Impacts négatifs**

#### Micro-climats

Des modifications micro-climatiques consécutives à la percée de l'infrastructure peuvent introduire des gelées suffisantes, par exemple, pour perturber un vignoble [106].

#### Pollution atmosphérique

Les effets sur la santé ont été examinés dans le chapitre « Coûts des effets sur la santé de la pollution atmosphérique ».

L'ozone et les dioxydes de soufre ou d'azote ont un effet nocif sur la végétation (perturbation des fonctions de photosynthèses et de respiration des feuilles, pertes de rendement agricole...) [106], et les poussières et le plomb sur les cultures maraîchères. Les coûts des atteintes à la végétation sont estimés être comparables à ceux des atteintes sanitaires dues à la pollution atmosphérique dans [137, p. 48]. Les effets de l'ozone sur les cultures dans la région de la *Lower Fraser Valley* (Colombie britannique) sont estimés être deux fois plus coûteux que les impacts sanitaires [132, p. 195].

Les façades de bâtiments souffrent de salissures, voire de dégradations («maladie de la pierre»). en terme de coûts, les dégâts aux bâtiments sont estimés à la moitié de ceux des atteintes sanitaires dues à la pollution atmosphérique dans [73]. On retrouve cet ordre de grandeur dans [137, p. 48].

## **Impacts positifs**

Pour dégager les centre-villes ou fluidifier le trafic dans une agglomération, la construction de rocade est destinée à reporter plus loin le trafic de transit (elles peuvent également permettre de redistribuer les surfaces de voirie urbaine entre modes et usages). Lors de l'épisode de pollution de février 1997 à Lyon, le préfet avait ainsi détourné les poids lourds vers la périphérie de l'agglomération pour soulager le centre urbain.

Il faut cependant rappeler trois points :

- si certains polluants sont très locaux, comme les hydrocarbures volatils, d'autres se déplacent sur des dizaines, voire des centaines ou milliers de kilomètres (particules fines, ozone troposphérique surtout), contribuant à une pollution de fond que n'atténue pas l'éloignement des sources ;
- la fluidification locale du trafic par une infrastructure supplémentaire créée à assez court terme, surtout en zone urbaine, un appel pour d'autres véhicules, soit au détriment des transports en commun par augmentation de l'attractivité de l'automobile, soit par détournement de trafics situés plus loin et attirés par la facilité nouvelle, soit par urbanisation autour du nouvel axe (voir plus loin), jusqu'à nouvel engorgement ;
- les habitants des banlieues lyonnaises ont protesté contre le report de la pollution locale et du bruit chez eux...

---

## **Sols : qualité et déchets**

### **Impacts négatifs**

#### Qualité des sols

Les retombées de poussières plombées ou hydrocarbonées, les fuites de lubrifiant ou de carburant, etc. contribuent à la pollution chimique des sols de chaque côté d'une route. Par accumulation, ceci peut aboutir à une diminution de la productivité végétale. Toutefois, de tels effets n'ont jamais été observés en France à des niveaux significatifs.

Les polluants soufrés contribuent à la stérilisation des sols par acidification. Le plomb de la circulation des camions au Brenner a pollué les sols de la vallée de l'Inn [106].

Il y a risque de pollution par métaux lourds, par déversement de produits toxiques, en cas d'accident.

Le prélèvement de surfaces agricoles productives par les infrastructures – directement (emprises) ou indirectement (urbanisation ou zones d'activités d'accompagnement) – est un impact sur plusieurs générations en raison de la longue durée de vie des ouvrages. Actuellement, cet impact est monétairement minimisé par le bas prix des terres agricoles au regard du terrain viabilisé constructible. Mais cet écart est-il représentatif de la valeur de ces terres au regard des divers besoins des générations futures ?

L'érosion des terres pendant les chantiers constitue aussi un impact important. Une pollution des sols peut aussi avoir lieu lors du chantier de l'infrastructure (érosion, produits divers employés); l'érosion atteint 100 000 tonnes de matériaux au km<sup>2</sup> de chantier, avec une surface d'emprise directe de 7 à 8 ha par km, échangeurs, stations-service et parkings inclus [106].

Une étude pour la Deutsches Bundesbahn (*Coûts externes du transport*, Essen, 1990) évalue à 2,5 milliards de DM (1985) la contribution du trafic terrestre à la pollution du sol et des eaux (appréciée par les coûts d'évitement) en ex-Allemagne de l'Ouest.

## Déchets (dépôts de terre, de matériaux)

On trouve dans [77, p. 29] et dans [78] une analyse des mouvements de terre liés à la réalisation d'infrastructures (carrières, lieux de dépôt).

Les dépôts de matériaux en zone inondable peuvent poser des difficultés hydrologiques (perturbation des écoulements) ou biochimiques (pollutions). La gestion des déchets de chantier fait partie des engagements de la convention signée entre la Fédération nationale du bâtiment et le ministère de l'Environnement [82]. Enfin, l'emploi de matériaux divers (mâchefers, cendres stabilisées...) pour les chaussées doit être évalué du point de vue de ses conséquences en terme de pollutions.

## Impacts positifs

La construction d'une infrastructure peut être une opportunité de valorisation de mâchefers ou d'autres résidus, comme l'indique la circulaire du 9 mai 1994 du ministère de l'Environnement. D'anciennes carrières peuvent être comblées, et d'anciennes décharges réhabilitées.

---

## Espaces naturels et écosystèmes

### Impacts négatifs

#### Faune

Malgré les «passages de faune» pratiqués, les infrastructures linéaires forment toujours un obstacle aux déplacements des animaux, d'où des morts par collision ou écrasement plus ou moins nombreuses (batraciens, etc.), mais surtout une perturbation importante de leur comportement et parfois une éviction des lieux [78]. On sait aussi que le bruit de la circulation perturbe les comportements reproducteurs d'un certain nombre d'oiseaux.

Les projets d'infrastructures touchant directement un cours d'eau peuvent avoir des effets sur les écosystèmes aquatiques et la faune associée : destruction pendant les travaux en rivière, modification de l'habitat dû au changement de dynamique fluviale, etc. [106].

## Flore

Les travaux de construction peuvent entraîner la dévégétalisation de surfaces étendues.

## Écosystèmes

La luminosité et la ventilation introduites au passage d'une infrastructure dans une forêt induisent une nécrose végétale pour les espèces adaptées à la demi-lumière, qui peut gangréner peu à peu toute la lisière du massif [78]. De plus, les bruits et lumières diurnes et nocturnes poussent la faune à abandonner toute la zone où ces phénomènes sont sensibles : des études existent depuis plus de vingt ans à ce sujet [106]. Si la réglementation européenne attendue sur les feux obligatoirement allumés pour tout véhicule en mouvement, de jour comme de nuit, prend effet, cet impact lumineux sera accentué pour la faune.

Le morcellement des écosystèmes contribue, par effet de coupure, à une réduction de la diversité biologique. Pour donner un ordre de grandeur, un territoire morcelé en dix parties voit sa diversité biologique divisée par deux d'après [146]. En mettant l'accessibilité routière au cœur des politiques de transport des pays développés, on contribue à répandre un modèle de morcellement de l'espace auprès de pays qui détiennent une part importante de la diversité biologique de la planète (que les États se sont engagés à préserver au sommet de Rio).

## Zones humides

Certaines constructions peuvent entraîner l'assèchement de marais (coupure des circulations hydrauliques superficielles), avec des effets sur la conservation des ressources en eau ou sur la survie de certaines espèces par réduction des aires de répartition (migrations d'oiseaux).

La réglementation française impose néanmoins des mesures compensatoires en cas d'atteinte à une zone humide : acquisition d'autres zones humides et remise, «après réparation», à un conservatoire.

Le cas des zones humides est traité de façon plus appropriée dans le chapitre « Valeurs des zones humides ».

## Forêts

Certaines constructions peuvent entraîner une réduction des surfaces boisées (emprise du corridor). L'évaluation de l'impact doit prendre en compte la cohérence des actions publiques ; ainsi, pour

l'autoroute Langeais-Tours, les coupes décidées dans les forêts n'ont pas pris en compte le fait que l'ONF en avait valorisé la plantation.

Elle doit aussi prendre garde aux effets de seuil. Ainsi, la forêt de Saint-Amand près de Lille était la dernière grande forêt à être entaillée par une infrastructure.

## **Impacts positifs**

On peut trouver des biotopes diversifiés sur les talus le long des autoroutes, ou dans l'emprise d'emprunts de matériaux (source ASFA).

---

## **Territoires**

### **Impacts négatifs**

#### Occupation du territoire

Il ne s'agit pas seulement des impacts de la chaussée, mais aussi des autres emprises (postes EDF, aires de service sur les autoroutes, échangeurs, etc.) et des surfaces altérées ou modifiées par le passage de l'infrastructure. D'après [106], l'emprise au sol des infrastructures représente, pour les autoroutes, une largeur moyenne de 23,50 mètres hors talus (soit environ 33 mètres avec talus) et, pour les voies ferrées TGV, 13,90 mètres hors talus (soit environ 24 mètres avec talus) : on observe ainsi un rapport de 2/3 entre surfaces immobilisées. L'Allemagne fournit pour cette comparaison un rapport de 3 entre les surfaces. Les jumelages autoroute-TGV occupent 60 mètres hors talus (soit environ 70 mètres avec talus). Ces linéaires doivent être complétés par les surfaces d'emprises de chantiers et d'aménagements (parkings...) et de remembrement. L'étude [78] évoque un impact direct de 7 à 8 hectares au kilomètre linéaire, mais de 250 hectares altérés au kilomètre linéaire en incluant les surfaces remembrées à l'occasion du passage de l'ouvrage.

En zone urbaine, l'espace urbain consommé ou altéré devrait aussi être valorisé.

D'après [132], le coût des dommages aux espaces se situe vraisemblablement au dessus de celui du bruit et en dessous de celui de la pollution de l'air. D'après l'étude Planco, citée dans [131], le coût de l'altération des espaces (pollution des eaux et des sols, effet de coupure, étanchéification de surfaces) est évalué à 0,30 F (1993) par véhicule-kilomètre.

En périphérie d'agglomération, les effets urbanisants des rocades de contournement destinées initialement à détourner le trafic de transit doivent être estimés. On passe généralement d'une fonction d'évitement à une nouvelle fonction de desserte, ce qui renforce les



problèmes ailleurs. À titre d'exemple, une évolution de la vocation initiale de l'autoroute A86 est évoquée dans [103, p. 43] : la fonction d'évitement pour la circulation de transit s'est progressivement transformée, sous l'effet du développement urbain, en une mission de desserte de la région (accès aux pôles de développement économique de Rungis, Marne la Vallée et La Défense et déplacements domicile-travail).

Le chapitre «Urbanisme et habitat», p. 245 (voir aussi l'annexe concernant les facteurs de l'étalement urbain, p. 351) évoque les effets de l'étalement urbain avec ses conséquences environnementales : accroissement des surfaces de contact avec le milieu naturel, surconsommation énergétique, effets sur la santé d'un moindre exercice physique, etc.

## Les effets de barrière et de coupure

En milieu urbain, il s'agit de l'accroissement du temps de traversée, de l'inconfort et du danger imposés aux piétons et aux cyclistes. Les conséquences sont variées : nécessité de conduire les enfants à l'école en voiture, crainte, stress, perte de qualité de vie dus à l'insécurité, perte de temps, effort supplémentaire, renoncement au vélo, effets sur la santé d'un moindre exercice physique, etc.

En milieu rural, les coupures des chemins, les modifications des cultures et le changement des pratiques sociales peuvent avoir des effets mineurs ou au contraire être fortement déstabilisants. Cet aspect de l'évaluation doit faire appel à la sociologie ([106], [3]).

D'après des études norvégiennes en milieu urbain, les coûts des effets de barrière sont estimés du même ordre de grandeur que ceux dus au bruit, qui correspondent à environ 15 % du total des coûts connus [132, p. 223].

## Paysages

Sur le plan purement paysager, les ouvrages peuvent représenter des intrusions visuelles importantes, en milieu rural (viaducs par exemple) ou urbain (instaurant par exemple une coupure entre la ville et son fleuve, comme à Avignon, Valence, Lyon). L'urbanisation industrielle et commerciale autour des axes routiers des entrées de villes a sur ce plan suscité une réaction sous la forme de l'article 52 de la loi du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement.

En zone rurale, les remembrements qui accompagnent souvent les ouvrages principaux, ainsi que les travaux connexes (accès, ronds-points), produisent un effet similaire de banalisation du paysage. Cet effet doit être évalué, notamment dans des zones touristiques ou en présence de sites naturels ou culturels inscrits ou classés ; en effet, la banalisation d'un paysage, outre la perte de beauté ou de spécificité qu'elle représente, peut aussi signifier une diminution de l'attractivité de la zone, défavorable pour le tourisme.

Aux Pays-Bas, le besoin de zones d'aspect moins artificiel a conduit le gouvernement, sous la pression publique, à engager des opérations de «renaturation» à hauteur de 300 millions de florins.

## **Impacts positifs**

### Occupation du territoire

Les réalisations routières nouvelles peuvent améliorer l'accès à des sites récréatifs, touristiques, culturels. Encore faut-il que ces sites ne soient pas défigurés ou altérés dans leurs caractéristiques attractives : c'est le cas des dégâts causés par le bruit dans de nombreuses parties de la forêt de Fontainebleau, ou du projet (repoussé) de parking au pied du Pont du Gard par exemple.

Si la réalisation d'une infrastructure est accompagnée par une politique urbaine maîtrisant les effets décrits ci-dessus, elle peut contribuer à la structuration du développement urbain.

### Paysages

Le principal atout présenté pour les infrastructures autoroutières nouvelles est l'amélioration des vues sur le paysage depuis le véhicule. On trouve aussi la création de nouveaux paysages (aires de service, grands ouvrages d'art, etc.). Effectivement, c'est en ce sens qu'est conçu le fonds 1 % «paysage et développement».

---

## **Socio-économie**

### **Impacts négatifs**

#### Services

D'après [76], [80], [106], il n'est pas prouvé que la traversée d'un territoire par des services, *a fortiori* par des infrastructures, de transport soit garante de son développement, et des contre-exemples existent.

#### Transports

Une offre routière accrue détourne davantage de trafic depuis des modes moins agressifs pour l'environnement vers le mode routier. Doit donc être évalué aussi l'impact économique de la nouvelle réalisation sur les réseaux existants et sur les autres projets (par exemple, impact de la réalisation de nouvelles autoroutes transalpines sur la rentabilité de la liaison ferroviaire Lyon-Turin).

## Tourisme

Les nuisances apportées par une intensification du trafic routier peuvent être défavorables au tourisme local. Ainsi, le maire de Chamonix a constaté en février 1997 que la qualité de l'air dans sa ville n'était pas meilleure que celle de Grenoble du fait de la circulation importante de poids lourds dans la vallée de la Maurienne, ce qui porte atteinte à l'un des atouts majeurs de l'image de la station, l'air pur.

L'impact du tracé nouveau sur les autres activités locales, appuyées sur la qualité du paysage, du calme, etc., doit aussi entrer dans l'évaluation. Par exemple, le tracé de l'A51 remet en cause le plan départemental d'itinéraires de randonnée (PDIR), l'activité des gîtes et centres équestres, etc. Le bilan en emplois et en création de richesses pérennes devrait être établi pour chaque projet.

Le tourisme peut être modifié dans sa nature en devenant un tourisme de masse. L'évolution de la Côte d'Azur en est un exemple connu.

## Industries

Selon leur état de préparation et l'accompagnement du projet, les industries et services locaux peuvent soit gagner des clients en devenant plus rapidement accessibles, soit en perdre du fait de la mise en concurrence brutale avec des pôles économiquement plus forts [76].

## Agriculture (et forêts)

L'emprise de l'infrastructure représente toujours une perte de surface cultivée ou cultivable, mais peut aussi diminuer la qualité de certaines productions : effets météorologiques sur des vignobles, effets de pollutions des eaux et sols sur des cultures à label biologique, diminution des rendements céréaliers par augmentation de la concentration locale en ozone troposphérique, etc. [106]. L'effet de l'emprise ne doit pas se mesurer seulement en fonction de la surface directement occupée, mais aussi de celle des surfaces affectées alentour par le morcellement, l'effet sur le chevelu hydraulique, etc. Il existe des effets de seuil : affecter 1 hectare sur 10 hectares disponibles ne représente pas la même intrusion qu'affecter 1 hectare sur 1 000.

Des membres du groupe de travail ont évoqué les possibles effets pervers des fortes indemnités d'agriculteurs, qui auraient provoqué leur retraite anticipée, et des conséquences en chaîne allant vers une désertification accélérée (manque de repreneurs à ce rythme, disparition plus rapide de coopératives, etc.) Enfin, le gel de terrains non bâtis et la spéculation foncière ont aussi été mentionnés parmi les effets évaluables d'un projet.

## Habitat, population

La perte d'aménités ou l'apport de nuisances peuvent faire fuir les résidents (vallée de la Maurienne). Les équipements (routes nationales moins bien entretenues après installation de l'autoroute) et services (ramassage scolaire par exemple) préexistants peuvent aussi être mis à mal. En zone urbaine, de nouvelles dessertes routières favorisent l'étalement urbain, l'urbanisation dispersée et l'accroissement des populations strictement dépendantes du mode automobile (ce qui suppose un budget moyen de 24 000 F par voiture et par an, d'après [130]).

## Pertes financières et dépenses locales

Dans ce sujet complexe à étudier au cas par cas suivant les contextes, le document [138] évoque :

- la perte fiscale sur impôt foncier non bâti suite au désenclavement des parcelles dans le périmètre d'emprise (chemins d'exploitation de desserte) ;
- la perte fiscale sur impôt foncier non bâti suite à des effets induits dans le périmètre d'emprise (carrières ou zones d'emprunt de matériaux, zones de dépôt, baisse de productivité des parcelles riveraines du fait de ruptures de cycles écologiques) ;
- la perte de valeur du bâti (valeur vénale ou locative) : taxe immobilière, impôt foncier ;
- les coûts de travaux connexes hors du périmètre d'emprise : réparations, restructuration, équipements, aménagements ;
- les coûts de réorganisation de la vie sociale suite aux effets de coupure et de déstructuration : chasse, ramassage scolaire ;
- les coûts d'élargissement et d'entretien des voies communales suite à une densité plus forte de trafic au voisinage d'un échangeur autoroutier.

## Impacts positifs

### Gains de temps

Ce sujet est discuté dans le paragraphe « Que représente (et comment est fixée) la "valeur du temps" ? », p. 204.

## Services et entreprises

L'objectif premier d'une infrastructure de transport est de faciliter les échanges de personnes et de biens, pour, en première analyse, faciliter l'activité économique en général. La demande reste donc souvent forte, malgré des inconvénients ou des aléas de mieux en mieux identifiés.

Les effets de relance et d'entraînement sur les industries et services locaux d'une nouvelle infrastructure routière ou autoroutière sont souvent évoqués ; on a vu plus haut que le sujet était controversé, hormis pour les emplois de BTP le temps du chantier. Le manque de points zéro et de suivis réels des conséquences des ouvrages est sans doute en bonne

partie responsable de ces controverses. En tout état de cause, un accompagnement structuré et une préparation du tissu économique local sont indispensables pour résister à la concurrence accrue favorisée par l'infrastructure nouvelle.

## Transports

Une nouvelle infrastructure fait souvent gagner en rapidité et en sécurité sur le parcours à condition que les débouchés de l'infrastructure permettent effectivement l'écoulement prévu. Elle permet de détourner le trafic de transit hors d'une agglomération (si elle reste voie de contournement et ne se transforme pas en voie de desserte).

## Tourisme

Du fait d'une infrastructure d'accès nouvelle, le tourisme local peut bénéficier d'un effet d'entraînement, en tous cas pour les destinations finales de l'infrastructure. Ce point est controversé pour les destinations intermédiaires, malgré la politique de communication faite sur les aires de repos autoroutières ou sur la voie pour les sites traversés ou proches.

## Ressources locales, équipements et réseaux

Outre les ressources tirées du péage, des travaux annexes sont financés par les opérateurs à titre de compensation (il peut s'agir aussi bien de ronds-points que d'itinéraires de randonnée ou de sentiers anciens), ou réglementairement (remembrements).

Les activités liées au fonctionnement d'une autoroute apportent à la fois des taxes professionnelles et des populations.

---

## **Patrimoine bâti**

### **Impacts négatifs**

#### **Patrimoine bâti rural, urbain**

Certaines infrastructures peuvent provoquer la destruction ou la dégradation d'éléments du patrimoine bâti national (premier projet, repoussé, d'autoroute A14 dans le parc du château de Saint-Germain-en-Laye, etc.).

Par les nuisances locales qu'elle apporte, une route peut contribuer à diminuer la valeur d'habitations exposées ou de terrains.

## Patrimoine archéologique

Les archéologues s'inquiètent des dégâts commis par les travaux d'infrastructures et les remembrements associés [79, p. 67].

### **Impacts positifs**

Des constructions routières et autoroutières ont permis de mettre à jour et d'inventorier un grand nombre de sites archéologiques correspondant le plus souvent en France aux époques gauloises et franques.

La circulaire du 7 novembre 1995 du ministère de la Culture codifie les mesures de sauvegarde rendues obligatoires par la loi du 15 juillet 1990. Les fouilles sont à la charge du maître d'ouvrage.

---

## **Risques et santé**

### **Impacts négatifs**

#### Traumatismes

L'insécurité routière reste un facteur majeur de blessures et de décès en France. En 1995, on dénombrait, d'après la direction de la sécurité et de la circulation routières du ministère des Transports, 8 891 tués à 30 jours, 38 778 blessés graves, 142 146 blessés légers. Le coût des accidents corporels est estimé à 58 milliards de francs (avec le coût des accidents matériels non corporels, le coût de l'insécurité routière est évalué à 118 milliards de francs) en 1996.

#### Risques naturels

Les infrastructures routières peuvent aggraver les impacts d'une inondation, et donc les coûts des dommages aux habitations. Elles peuvent favoriser des glissements de terrain ou des éboulements (premiers projets de contournement de Poitiers). Une accessibilité trop massive de certains espaces naturels fragiles peut en accroître les risques de dégradation (incendies, érosion, piétinement, pollution par les déchets, etc.) si la régulation, l'information et le contrôle sont insuffisants.

#### Santé : bruit, polluants, odeurs

Les éléments de bruit et de pollution atmosphérique sont traités dans le rapport. Ajoutons que certaines odeurs apportées par la circulation peuvent être inoffensives au plan médical, mais néanmoins créer une gêne importante.

## **Impacts positifs**

Le principal effet positif des nouvelles infrastructures routières évoqué est une meilleure sécurité. Effectivement, en moyenne nationale en 1996, on trouve les résultats suivants en nombre de tués par 100 millions de km parcourus (source Observatoire de la sécurité routière (OSR)) :

- rase campagne et agglomérations de moins de 5000 habitants : 2,28;
- autoroutes urbaines : 0,41;
- autoroutes interurbaines : 0,53;
- total général : 1,36.

---

## **Énergie et effet de serre**

### **Impacts négatifs**

#### **Ressources fossiles et vulnérabilité**

Une discussion sur les coûts stratégiques associés au fait que la circulation routière dépende crucialement du pétrole (non renouvelable et massivement situé en zone géopolitiquement sensible) figure dans différents paragraphes du rapport (« Urbanisme et transports », p. 245, « Ces coûts cachés des décisions publiques », p.88).

#### **Accroissement de l'effet de serre**

Ce sujet est aussi abordé dans le chapitre « Prévention des changements climatiques ».

### **Impacts positifs**

En zone urbaine, une nouvelle infrastructure est souvent réputée désengorger le trafic, permettant donc aux moteurs de fonctionner mieux et de consommer moins. Il faut néanmoins tenir compte, outre la consommation d'énergie induite par la construction de l'infrastructure elle-même (analyse de cycle de vie), du fait qu'une offre routière supplémentaire accroît l'attractivité et donc la part modale de l'automobile, alors que ses performances énergétiques et environnementales sont de 5 à 10 fois moins bonnes que celles des transports collectifs. De plus, en zone rurale, la vitesse autorisée par les voies autoroutières fait croître sensiblement la consommation unitaire, et donc l'émission de gaz carbonique. L'évaluation des effets énergétiques des nouvelles infrastructures doit donc être faite avec minutie, dans un périmètre pertinent (pas trop étroit dans le temps et l'espace).





## **Compléments sur la « valeur du temps » et sur la tarification des infrastructures routières**

Nous reprenons ici une analyse de la valeur du temps exposée dans [117].

### **Le consentement des ménages à payer pour gagner du temps (temps personnel)**

Le consentement à payer des ménages dépend principalement de la richesse du ménage, de la part d'argent non affectée à des dépenses obligatoires telles que logement, nourriture, transport, etc., du temps libre total (hors sommeil, repas, travail, transport...).

Une valeur du temps peut être estimée en divisant le revenu des ménages non affecté à des dépenses indispensables (loyer, nourriture, habillement...) par le temps non affecté à des tâches incompressibles (sommeil, travail, repos...). Les études faites sur Paris, Lyon, Marseille montrent bien la croissance de la valeur du temps moyenne par commune en fonction du revenu moyen par commune, et une variation très grande selon la richesse moyenne des communes. En Île-de-France, les sept plus riches communes (200 000 ménages concernés) ont des valeurs de temps moyenne supérieures à 100 F/heure, mais les deux millions de ménages les plus pauvres ont une valeur du temps s'étageant entre 33 F et 0 F. Et encore, il ne s'agit que de moyenne par commune, ce qui écrase les valeurs extrêmes.

Pour contrôler le résultat obtenu, on peut chercher une fonction reliant la valeur des appartements (en F/m<sup>2</sup> telle que donnée par les statistiques notariales) aux paramètres de valeur du temps calculée comme indiquée ci-dessus, de distance au centre de Paris, de revenu disponible des ménages. Les calculs indiquent que la relation est meilleure avec le paramètre valeur du temps qu'avec le revenu disponible des ménages.

Mais d'autres paramètres sont essentiels : la répétitivité de la dépense, c'est-à-dire son poids dans le budget des ménages ; sa comparaison avec le budget qui engendre le déplacement.

a) Payer 12 F tous les matins et tous les soirs pour gagner 20 minutes à chaque trajet représente 480 F par mois pour aller travailler en se levant plus tard, et en rentrant plus tôt. Le budget du ménage le supporte-t-il, sachant qu'une voiture coûte déjà 1 000 F à 1 500 F par mois au minimum (amortissement + usage) ?

b) Payer 12 F le samedi matin pour aller au supermarché dépenser 1 000 F n'a pas grande importance par rapport au budget général de l'opération.

c) Payer même 200 F d'autoroute lorsqu'on part en vacances une ou deux fois par an n'est pas un grand problème : le gain de temps par rapport à la solution alternative gratuite (routes nationales) est tel qu'il engendre des économies par ailleurs (une nuit d'hôtel en moins par exemple) et la somme dépensée s'impute sur le budget vacances, bien souvent supérieur à 10 000 F pour le ménage. C'est ce qui explique que la valeur du temps est d'autant plus forte que le trajet est plus long, pour une même catégorie socioprofessionnelle : la raison n'en est pas la longueur du trajet, mais sa fréquence et le budget associé à l'action qui le motive.

### **Le consentement des entreprises à payer pour gagner du temps (temps facturable)**

Il dépend principalement de la richesse de l'entreprise et de sa politique en la matière (certaines sociétés ont tardé à payer l'avion pour les déplacements longs en France de leurs agents), de la fonction de l'agent qui se déplace, du coût de l'agent qui se déplace. La question principale consiste à savoir si le temps gagné entraîne directement un accroissement du chiffre d'affaires (temps facturable). C'est le cas pour un artisan plombier, pour un médecin, pour un commercial, pour certain personnel de bureaux d'études... C'est moins immédiat pour le personnel ayant des rôles fonctionnels dans l'entreprise, mais la logique reste la même.

Pour estimer le consentement à payer d'une entreprise, il faut additionner le coût du véhicule, le coût de l'agent conduisant le véhicule, le coût des agents transportés dans le véhicule, le coût d'immobilisation de la marchandise transportée dans le véhicule. Ce dernier coût est évidemment très variable suivant la nature de la cargaison (périssable ou non...) le mode d'exploitation du client destinataire (fonctionnement en flux tendus ou non), l'importance de l'heure d'arrivée (distribution de journaux, informations importantes...).

### **Remarques complémentaires**

D'autres phénomènes viennent encore compliquer les études sur les valeurs révélées, notamment pour les ménages.

## Les captifs de l'horaire

De même qu'il y a des captifs du mode de transport, il y a des captifs de l'horaire, notamment tous les parents qui déposent ou reprennent des enfants à l'école ou à la crèche. La souplesse d'horaire est nulle et la valeur du temps est relativement forte, même si le budget des ménages est faible.

## Le temps de transport n'est pas toujours du temps perdu

Il y a une évolution très rapide dans ce domaine. Les pays nordiques (Norvège, Suède) différencient bien pour un même motif et une même personne des valeurs du temps selon la phase du trajet (attente, temps en véhicule, changement, marche à pied...). De même, le temps n'aura pas la même valeur suivant la qualité d'équipement de la voiture, du train ou de l'avion. Le degré de fatigue du voyageur est un élément d'appréciation essentiel.

Il existe une valeur d'usage du temps de transport, qui n'est pas prise en compte aujourd'hui. Un train confortable offre à ses utilisateurs une période possible de travail ou de repos ; une voiture confortable offre silence, température régulée, musique ou informations... Si ces services ne se trouvent pas à destination, faut-il à tout prix réduire la durée du trajet ? Le temps de transport, considéré à tort comme « perdu », n'aurait-il pas alors une valeur réelle, de signe contraire à celle que l'on utilise dans les modèles ? C'est là que la notion de « confort » prend tout son sens.

## Conséquences pour les ouvrages à péage

Les usagers d'ouvrages à péage ont donc des valeurs de temps très diverses, correspondant à la segmentation du marché et aux algorithmes internes des modèles de trafic : la notion de valeur du temps absolue n'existe pas.

Les études les plus récentes sur l'exemple de Marseille (tunnel Prado Carénage) montrent que les valeurs révélées sont très dispersées, s'étalant de 50 F à 250 F selon une courbe d'allure log-normale, avec une moyenne très supérieure à la médiane. Des calculs ([116], [119]) indiquent que le temps facturable varie entre 150 F et 250 F/h et que la moyenne barycentrique, avec 70 % de déplacements personnels (budgets des ménages) et 30 % de déplacements facturables (budgets des entreprises), présente une valeur de l'ordre de 85 F/h (pour utilisation avec le modèle Davis).

Quelques orientations se dégagent donc concernant les consentements à payer pour l'usage d'infrastructures ou de services de transport :  
– ne pas utiliser de valeur moyenne, car on masque complètement les véritables phénomènes : la segmentation du marché est l'acte fondamental ;

- raisonner en terme de services proposés et non uniquement d'ouvrages à amortir ;
- se concentrer sur l'évaluation des services rendus par les transports (ceux pour lesquels un client accepte de payer) ;
- évaluer correctement les coûts de maintenance et d'exploitation de services, coûts aujourd'hui dont la définition reste encore floue, notamment dans le domaine ferroviaire.

## Facteurs de l'étalement urbain

Nous reproduisons ici une contribution de Florence Toilier, extraite de sa thèse en cours [100] sur l'évaluation des coûts et avantages sociaux de l'étalement urbain (Laboratoire d'économie des transports, École nationale des travaux publics de l'État).

Si le mouvement d'étalement urbain n'a été clairement identifié à travers les résultats du recensement qu'à partir de 1982, il a débuté bien plus tôt, dès la fin des années soixante. L'étalement ne résulte pas d'un simple hasard mais de la mise en adéquation d'une offre, rendant possible une croissance excentrée, et d'une demande pour ce type de développement. L'ampleur en a été accrue par la mise en œuvre de mesures incitatives de la part des autorités locales ou nationales.

### **Les facteurs permissifs de l'étalement : l'existence d'une offre**

#### Offre de communications

La croissance excentrée a demandé certaines conditions, d'abord techniques : c'est parce que l'offre en moyens de communication et de télécommunication se développait que les espaces éloignés du centre devenaient accessibles et que le besoin de centralité était moins vif. Ce développement du réseau a permis à l'accessibilité de s'améliorer, c'est-à-dire que la durée des trajets a pu se réduire sous l'effet d'une augmentation des vitesses de circulation. Cette plus grande facilité d'accès a rendu possible des implantations loin du centre. Il en est de même de l'offre en transports collectifs, de type RER, associée ou non à la création de villes nouvelles.

#### Offre automobile

Le développement de l'offre routière accompagnait à l'époque la montée de l'équipement en automobiles. En effet, si en 1953 seulement 21 % des ménages étaient équipés d'une voiture particulière, cette proportion a connu une rapide progression jusqu'en 1975 pour représenter 65 % des ménages. La croissance s'est poursuivie jusqu'à aujourd'hui mais à un rythme plus lent puisque 77 % des ménages étaient équipés en

1990. Cette croissance de l'accès à l'automobile s'est accompagnée, avec un léger décalage, d'une augmentation de la motorisation (c'est-à-dire du nombre de véhicules possédés) et plus particulièrement de la multimotorisation. Ainsi, la proportion de ménages disposant de deux véhicules ou plus a atteint 25 % des ménages en 1990 contre 11 % en 1975 (Thierry Lambert et Jean-Loup Madre, *Prévisions à long terme du trafic automobile*, Credoc, collection des rapports, n° 60, mai 1989 ; Caroline Gallez, *Modèles de projection à long terme de la structure du parc et du marché automobile*, 1994). La multimotorisation a donc pris le relais quand le développement de l'équipement s'essouffait.

## Effet de la croissance

Les conditions économiques favorables ont non seulement impulsé les conditions techniques mais les ont aussi renforcées. Sous l'effet de la croissance, les niveaux de vie se sont élevés, rendant possible la motorisation. Une fois motorisés les individus ont pu bénéficier d'une plus grande liberté de déplacement les autorisant à s'éloigner du centre et à s'installer dans des zones moins bien desservies par les modes de transport collectifs.

## Production immobilière de masse

Enfin, il convient de souligner le rôle des promoteurs-construc-teurs qui ont appliqué à la production immobilière les principes de la production de masse. Ceci leur a permis de réduire les prix de vente des maisons individuelles du fait d'économies d'échelle sur un nombre de modèles limité. L'accès à la propriété de maisons individuelles est devenue possible car l'offre était abondante et s'affichait par le biais de catalogues, d'expositions (les « villagexpo ») et de publicité. On a donc appliqué à la maison individuelle les mêmes stratégies de commercialisation que celles employées pour les autres produits de consommation courante afin de susciter un désir, une demande et permettre de la satisfaire.

## Motivations à l'origine de l'étalement

Pendant, la simple existence d'une offre (de transport et de logements individuels) n'est pas suffisante pour expliquer le développement périurbain. Celui-ci résulte en effet de l'adéquation de cette offre à une demande. Les motivations à l'origine de l'implantation périurbaine sont nombreuses mais la plus importante d'entre elles consiste en la volonté d'accéder à la propriété et en particulier d'accéder à une maison individuelle. En 1966, date qui correspond à peu près au tout début de ce mouvement, N. Haumont, A. Haumont, H. Raymond et M-G. Raymond indiquaient dans leur ouvrage *L'habitat pavillonnaire* que 82 % des ménages aspiraient à la propriété (Institut de sociologie urbaine, centre de recherche et d'urbanisme).

L'élévation des niveaux de vie a également joué sur le désir d'accession à la propriété. L'investissement logement est un placement à long terme qui permet en outre de détenir un capital qui pourra être transmis ou bien revendu en cas de besoin. C'est enfin un élément de prestige social.

Un autre facteur à prendre en considération est le désir d'acquérir un logement plus grand, en réponse aux problèmes de pénuries de logements qui ont caractérisé l'après-guerre. Les grands ensembles, souvent éloignés de la ville (car situés en banlieue), mal isolés au niveau phonique, mal desservis par les équipements collectifs, ont été fuis par les ménages de catégorie moyenne ou supérieure dès que cela leur a été possible. Mais les ménages capables d'assumer la charge que représente l'acquisition d'un logement sont tout de même minoritaires. À côté des moyens techniques, des facteurs économiques et de l'évolution des aspirations des ménages, c'est essentiellement l'existence d'incitations à l'étalement urbain qui permet de comprendre l'importance de ce phénomène.

## **L'ampleur du mouvement : une demande stimulée par des incitations financières**

### **Le rôle de l'État**

#### **Incitation sociale**

L'État a joué un rôle moteur dans ce mouvement. Il a impulsé la mise en œuvre de nouvelles méthodes de production dans le secteur de la maison individuelle. Il a également stimulé la promotion publicitaire de ces maisons en créant en 1966 les « villagexpo », une exposition permanente de maisons individuelles aux portes des agglomérations. En 1969 il a lancé le concours de la maison ainsi que les « chalandonnettes » (constructions répétitives à bas coût).

### **Réglementation dans l'urbanisme**

Toutes ces interventions vont donner un coup d'envoi au développement de l'habitat individuel d'autant plus que, parallèlement à cette politique promotionnelle, il fournissait les moyens techniques de son développement en favorisant l'ouverture à l'urbanisation de nouveaux terrains par le biais des ZAD (zones d'aménagement différé, créées en 1962 afin de maîtriser l'usage des sols et de lutter contre la pression foncière pour préparer l'urbanisation future) et des ZAC (zones d'aménagement concerté, créées par la loi d'orientation foncière en 1967, permettant aux collectivités de répartir les coûts d'équipement des grands projets d'aménagement entre elles et l'aménageur, et de reporter sur les promoteurs une partie des charges d'urbanisation).

### **Construction d'infrastructures**

À la même période, l'État développait le réseau routier et autoroutier pour permettre ce mouvement.

## **Incitations financières**

L'État encourageait également nettement l'étalement urbain en fournissant les subventions portant à la fois sur l'usage de l'automobile (sous-tarification de l'usage des infrastructures : autoroutes urbaines gratuites) et sur la construction de maisons individuelles par la création des prêts PAP (prêts d'accèsion à la propriété) et conventionnés qui permettaient de solvabiliser la demande. De ce fait, l'accèsion à la propriété a pu se banaliser et concerner des ménages jeunes alors qu'auparavant il était nécessaire d'avoir accumulé une épargne pour pouvoir acheter son logement. Au contraire, les prêts PAP s'adressent plutôt à des ménages modestes avec des enfants à charge, c'est-à-dire à des ménages jeunes, qui n'auraient sans doute pas pu accéder à la propriété en d'autres circonstances. Les PAP, aujourd'hui disparus, ne pouvaient être attribués que pour des opérations de construction ou d'amélioration des logements servant de résidence principale. Il fallait donc que des travaux soient entrepris, ce qui résultait de l'objectif de soutien de l'activité du bâtiment. Ces prêts n'étaient accordés qu'à des ménages ayant des revenus inférieurs à un plafond fixé par arrêté ministériel. Pour les ménages qui ne satisfaisaient pas à ces conditions restrictives sur les revenus et les charges familiales, des prêts conventionnés étaient mis en place. En leur proposant des prêts à taux faibles et une aide au remboursement (APL, aide personnalisée au logement), c'est une aide à la personne qui est donc attribuée aux ménages (locataires ou propriétaires) en fonction de leurs caractéristiques (revenu et charge familiale). D'après la loi de 1977 qui l'institue, elle doit permettre « de faciliter l'accèsion à la propriété et d'adapter les dépenses de logement à la situation familiale et aux ressources des occupants ».

### **L'objectif de l'État : stimuler la construction de maisons individuelles**

L'État a stimulé la construction de maisons individuelles pour soutenir l'activité du bâtiment à une époque où la production de logements en collectif s'essouffait. En effet, la construction de logements en immeubles a tendance à stagner, voire à chuter en 1966, pour s'effondrer après 1974 (voir la figure sur les chiffres des mises en chantier de logements). En 1980, seulement 150 000 logements de ce type sont construits contre un peu moins de 300 000 en 1974. À l'inverse, les constructions de logements individuels connaissent un formidable essor à partir de 1967 passant de 139 000 logements en 1967 à 278 000 en 1978, période où les constructions atteignent leur maximum pour ensuite se stabiliser progressivement à un peu moins de 200 000 (chiffres extraits de l'ouvrage de J-F. Goux, *Crise économique et formes d'urbanisation*, 1979, d'après des données issues du ministère de l'Équipement). Le maintien de cette activité avait pour objectif d'entraîner les autres secteurs de l'économie et de soutenir la croissance menacée par le choc pétrolier.



## **Évolution des mises en chantier de logements, par type**

(source : ministère de l'Équipement)

### **Des choix individuels fortement suscités, mais peu éclairés et informés**

Comme les aides ne pouvaient concerner que des ménages modestes, c'est-à-dire ayant très peu voire pas du tout d'apport personnel, il fallait qu'ils s'éloignent du centre pour trouver en périphérie des terrains plus abordables. On retrouve ici la théorie de la localisation d'Alonso, pour qui les ménages doivent arbitrer entre des coûts de transport croissants avec l'éloignement et des coûts fonciers au contraire décroissants avec la distance. Comme la valeur du temps n'est qu'une valeur d'usage que l'on a du mal à apprécier car elle ne fait pas l'objet de transactions sur un marché, on a donc tendance à la sous-estimer par rapport à la valeur du sol, qui est elle bien réelle car affichée par le marché. De ce fait, on privilégie l'éloignement au centre pour limiter ce coût du foncier, même si parallèlement le coût généralisé de transport (qui intègre outre le coût monétaire du déplacement, des considérations de durée, de pénibilité...) s'accroît. Il s'accroît d'autant plus qu'il est souvent sous-estimé par les ménages par rapport à d'autres dépenses (logement) et aux coûts induits pour la collectivité. À mesure que l'accession à la propriété se développait, les limites de l'urbanisation ont dû être repoussées de plus en plus loin pour pallier la rareté de terrains qui allait résulter de l'abondance de la demande. En fin de compte, on s'aperçoit que cette localisation excentrée est plus souvent subie que choisie.

### **Le rôle des communes**

#### **Urbanisation**

L'État n'a pas été le seul à intervenir dans ce mouvement. Les communes y ont également été partie prenante car ce sont elles qui ont ouvert leurs terres à l'urbanisation. En effet, depuis la décentralisation, les communes ont la compétence en matière d'urbanisme à la condition qu'elles disposent d'un POS (plan d'occupation des sols) approuvé.

#### **Recettes financières : le rôle de la fiscalité**

La périurbanisation a des justifications économiques et financières. En rendant constructibles leurs terrains, les communes pouvaient récupérer des recettes de plusieurs natures.

– Au niveau fiscal : élargissement de l'assiette de certaines taxes :

- taxes sur les mutations : lors de la cession de terres les communes perçoivent une rémunération ;

- les « quatre vieilles » (taxe professionnelle, taxe d'habitation, foncier bâti et foncier non bâti) : la population nouvelle va fournir des recettes fiscales à la commune.

– Subventions et dotations sont souvent fonction de la population, et les communes ont ainsi tout intérêt à accepter de nouvelles populations. Compte tenu des seuils d'attribution de ces aides, il peut être intéressant pour une commune de voir sa population s'accroître légèrement pour pouvoir passer dans une classe de communes bénéficiant de subventions plus importantes.

En outre, l'arrivée de « sang neuf » dans la commune peut y développer ou y maintenir l'activité, d'où des recettes fiscales (taxe professionnelle, sur les débits de boisson, sur les spectacles...) plus importantes.

## Effets de seuils de population

Ces considérations de recettes ne sont cependant pas les seules à avoir joué : la population est également un atout en soi. Une commune plus peuplée pourra plus facilement qu'une autre accéder à des services, à des équipements commerciaux ou administratifs qui augmenteront le confort des résidents. Ainsi, une pharmacie ne peut s'installer dans une commune que sous condition de population minimale ; il en va de même pour certains équipements intercommunaux (gendarmerie, bureau de poste, collège...). La commune qui reçoit ces équipements permet à ses habitants de réduire leurs contraintes de déplacements.

## Des choix de localisation d'entreprises

Un autre élément d'explication de cet éloignement au centre est que les entreprises elles-mêmes se sont délocalisées vers la périphérie, attirées par les communes rurales qui ont créé des parcs d'activités et des facilités fiscales. Les communes ont besoin d'entreprises sur leur territoire, pour fournir des emplois à leur population et plus spécifiquement aux nouveaux arrivants. Ceci leur permet également de récupérer des ressources fiscales et des participations aux équipements, tout en desservant leur population notamment en équipements commerciaux (dans le cas des supermarchés et des galeries marchandes). Du côté des entreprises, une telle localisation leur permet d'échapper à des coûts fonciers élevés, à des locaux trop petits, à des problèmes d'encombrements et de desserte par les camions de livraison. Le mouvement concerne donc aussi bien les entreprises industrielles que tertiaires. Pour les grandes surfaces commerciales, cette localisation en périurbain vient de ce qu'y existe un marché important. Pour le tertiaire d'encadrement, ce sont plutôt des raisons liées au besoin d'avoir un espace de qualité qui sont à l'origine de l'éloignement. Le tertiaire de décision ainsi que les petits commerces restent quant à eux dans le centre, pour des raisons de prestige et de proximité à la demande.

### **Un mouvement auto-entretenu**

La diffusion spatiale des emplois et de l'habitat prend donc la forme d'un mouvement auto-entretenu. Comme les entreprises partent vers la périphérie, les ménages ont un besoin de centralité moins important et *vice versa*. Cette implantation des ménages et des entreprises à la périphérie des villes n'est pas sans conséquences, notamment au niveau des déplacements.



# Évaluation de projet bâti urbain : liste-guide d'impacts

Nous tentons ici de dresser une liste de différents types d'impacts à faire entrer l'évaluation d'un projet bâti urbain. Beaucoup d'entre eux ont été étudiés par les professions concernées, en particulier les consommations énergétiques des logements ou les questions d'isolation. D'autres le sont moins ou pas du tout, comme les aménités urbaines, les impacts polluants des ruissellements ou les implications économiques des choix pour les ménages visés. Une revue des divers aspects à examiner montre qu'une vision globale des incidences des projets est nécessaire pour en estimer le bien-fondé et l'efficacité. L'étude poussée de ces questions demanderait beaucoup plus de temps et de recherche que ne l'autorisait le sujet ciblé de ce rapport. Nous établissons donc ici une simple liste-guide indicative avec quelques éléments de réflexion, dont beaucoup de sujets pourraient alimenter soit des programmes de recherche urbaine, soit, en aval de ceux déjà réalisés, leurs modalités d'application.

## **Impacts des modes de construction (bâti, réseaux)**

### Conduite du chantier

Un protocole d'accord entre la Fédération nationale du bâtiment et le ministère de l'Environnement, signé en 1996, comporte un chapitre sur les réductions des nuisances dues aux chantiers. (Voir aussi le chapitre « Urbanisation et habitat » et [82])

### Activités économiques et emplois induits

– Coûts comparés de la réhabilitation en zone déjà urbanisée et du logement neuf en zone non urbaine.

La réhabilitation nécessite *a priori* moins de nouveaux équipements «périphériques» (écoles, commerces, etc.) que le neuf, hors questions démographiques.

Le contournement des villes par des rocades (qui, d'une fonction d'évitement passent à une fonction de desserte) contribue à l'installation de magasins et de services le long de ces voies, au détriment des activités commerciales des centres plus densément habités et des zones commerciales récentes (ce qui peut favoriser les friches de centre-ville).

– Les emplois et activités économiques induits ou maintenus par la construction neuve ou par la réhabilitation, tous effets confondus, n'ont pas été à notre connaissance examinés séparément, car les catégories Insee traitant du bâtiment et des travaux publics n'isolent pas les deux secteurs. On peut constater à ce stade que l'amélioration du parc de logements représente plus de la moitié du chiffre d'affaire du secteur du bâtiment. De plus, la construction et surtout l'aménagement et la réhabilitation des bâtiments non industriels (maçonnerie, menuiserie, aménagements et finitions, plomberie, etc.), représentent près de 49 000 entreprises sur les 57 500 environ du BTP, dont 47 000 PME de moins de 50 salariés (soit 86 % des PME du BTP). Ces emplois sont surtout des services de relative proximité, donc peu soumis à une concurrence internationale. À titre de comparaison, la construction de chaussées ne correspond qu'à environ 400 entreprises dont 320 PME (source Insee).

L'étude britannique [5, p. 44] fournit les chiffres suivants :

Domaine de création d'infrastructure	Efficacité énergétique dans l'habitat	100 000 nouveaux logements	Pont routier	Autoroute East Coast (GB)
Coût par emploi créé	8 750-17 500 £	20 000 à 40 000 £	65 000 £	66 000 £

## **Impacts directs des logements**

### **Consommation d'énergie**

Les différences de consommation proviennent pour beaucoup des modes de chauffage et de l'isolation des logements.

### **Comparaison entre logement neuf et logement ancien réhabilité**

Il existe des études comparant les moyennes des logements neufs et des logements anciens. Mais, lorsqu'on réhabilite de l'ancien, ce dernier devient différent de la moyenne de l'ancien. Sans autres données disponibles, on considère donc en général que la consommation dans le logement ancien est la consommation moyenne nationale. Les éléments d'analyse suggérés par le groupe de travail sont :

- impact du choix du chauffage électrique dans les coûts et consommations ;
- coûts et gains des choix de bâtiments bioclimatiques ;
- impact de la réhabilitation sur les économies d'énergie ;
- coûts et gains de la climatisation.

### **Comparaison entre logements individuels et collectifs**

Le choix des équipements doit bien entendu se faire en fonction du bilan global des coûts d'installation et de fonctionnement. En raison des coûts de chauffage, les consommations en habitat individuel sont supérieures aux consommations en habitat collectif. Là non plus, les données ne semblent pas permettre de répondre assez finement à la question posée. On considère en général que la consommation dans l'individuel est la consommation moyenne nationale.

## Émissions atmosphériques

### Atmosphère extérieure

- Source d'énergie utilisée et traitement des émissions.
- Bilan global depuis la source d'énergie primaire pour les pollutions régionales et globales.

### Atmosphère intérieure

- Mode de ventilation.
- Matériaux, équipements et revêtements employés (radon, fibres, peintures, textiles, équipement ménager).

## Impacts des modes d'occupation du sol

Il faut distinguer les risques préexistants à l'implantation envisagée (risques naturels et technologiques) et ceux induits par elle (dont une possible aggravation des risques naturels, mais aussi les occupations d'espace et les pollutions). Les plans d'exposition aux risques (PER) sont imposés par la loi française. Chaque commune et département doit publier l'état de risques auxquels sont exposées les populations résidentes, qu'il s'agisse de risques naturels (loi de 1982) ou technologiques (loi de 1987).

## Risques naturels

### Inondations

Les coûts des mesures de protection des habitats en zone inondable doivent entrer en ligne de compte dans les décisions d'affectation des sols : coûts directs de réalisation, d'assurance et d'entretien, coûts de leurs effets sur les milieux naturels (suppression de champs d'expansion de crues, remblais des infrastructures de desserte). L'impact psychologique de la menace n'est pas à négliger.

– Coûts des dégâts du fait de l'implantation en zone inondable suite à des choix d'urbanisation (notamment dus à un développement hors des limites administratives, ce qui pose le problème des limites communales) : dommages corporels, morts, dommages matériels, expropriations suite à des inondations résultant de choix d'aménagement du territoire.

- Coûts des assurances.
- Coût des secours, des réseaux de mesure et d'alerte.
- Coûts de construction de réseaux avant de constater l'impossibilité de construire pour inondabilité.
- Coûts d'expropriation pour risques naturels majeurs.
- Perte de valeur des constructions après affichage tardif du risque.

Les inondations en vallée de Loire de 1996 ont permis de constater que les zones dans lesquelles la protection avait été faite par

entretien de champs d'expansion des crues avaient été plus efficaces pour limiter la crue, pour un coût global d'installation et de fonctionnement moins élevé, que le classique blocage par des digues qui renforcent l'impact des inondations en aval et dont certaines ont cédé. L'évaluation économique globale des coûts des solutions alternatives doit avoir toute sa place dans l'élaboration de la décision.

### **Incendies, avalanches, glissements de terrain**

– Coûts des mesures de protection et d'alerte efficaces en cas de construction en zone dangereuse, toutes origines de dépenses confondues.

### **Risques technologiques**

– Coûts du manque à gagner urbanistique : la loi de 1987 prévoit des zones d'urbanisation restreinte autour des sites industriels à risques; s'y ajoute le coût d'une prévention efficace des risques et celui de l'accident possible.

### **Espace et territoires**

– Valeur de l'espace consommé (artificialisé) au détriment d'autres activités, actuelles (terres fertiles, champ d'expansion des crues, zones de surstockage, zones humides à rôle de régulateur hydrologique et biologique) ou futures (protection de ressources épuisables, réserves « vertes », etc.).

– Coût de déstabilisation de l'agriculture en zone péri-urbaine, dont le rôle socio-économique des « jardins d'ouvrier » (vergers-potagers). La capacité actualisée de production agricole n'est pas prise en compte par le code de l'urbanisme.

– Consommation d'espace souterrain.

### **Faune et flore**

Les zones naturelles strictement protégées et interdites représentent moins de 1 % du territoire. D'après la directive *Habitats*, 1 600 sites répartis sur 8 millions d'hectares, soit 15 % du territoire, pourraient, sur des critères strictement naturalistes, être classés « zones spéciales de conservation », avec de grands contrastes régionaux. La moitié des surfaces consommées en Île-de-France était inscrite en sites naturels en 1976.

– Consommation d'espaces naturels : la dispersion de l'habitat contribue à accroître les surfaces de contact avec les zones naturelles et favorise le morcellement progressif des espaces. Cette forme d'accessibilité peut se justifier en partie pour des objectifs récréatifs (forêts, etc.), si elle est contenue dans des proportions ne menaçant pas l'attractivité et le fonctionnement des écosystèmes eux-mêmes. Sinon, ses conséquences (déchets, pollutions, dispersion des nuisances, etc.) vont à l'encontre du maintien de ces zones à l'abri de telles atteintes, c'est-à-dire d'une trop forte pression d'usage humaine.



- Coût de perte d'espèces spécifiques par invasion par les espèces adaptées aux milieux anthropisés.

- Coûts de maintien ou de création de milieux favorables à la faune en zone urbaine (toits et parois des immeubles et nichage des oiseaux notamment), comparés aux coûts d'emplois d'insecticides pour les espaces verts et jardins (sans compter l'attrait d'une ville où les oiseaux chantent !).

## Micro-climats

- Création de micro-climats urbains du fait des circulations d'air entre les bâtiments : effet Venturi, urbanisme de dalle, etc. Les coûts énergétiques, voire sanitaires, de ces choix devraient être inclus dans l'évaluation économique.

## Réseaux d'eau : consommations et rejets

### Consommation d'eau

La consommation d'eau dépend du niveau de vie, mais aussi de l'équipement des bâtiments (réutilisation d'eaux usées par exemple).

- Coûts de raccordement au réseau d'adduction d'eau potable. Effets de la longueur du réseau (investissement, entretien), c'est-à-dire aussi de la dispersion de l'habitat.

- Coûts de recherche de nappes et de cours d'eau autour de l'agglomération.

- Coûts des ruptures d'approvisionnement.

- Consommation d'eau par les espaces verts (arrosage).

### Rejets dans l'eau

- Coûts comparés des modes d'assainissement : autonome/collectif, en fonction des densités, des sols, etc.

- Coûts de raccordement au réseau d'assainissement collectif. Effets de la longueur du réseau (investissement, entretien), c'est-à-dire aussi de la dispersion de l'habitat.

## Eaux de ruissellement

- Traitement des eaux pluviales : imperméabiliser totalement ou laisser des zones d'infiltration diminuant le ruissellement.

- Perte de couvert forestier régulant le ruissellement.

- Coût d'une prévention des pollutions diffuses (métaux lourds notamment) d'une part, et d'une gestion de boues d'épuration polluées ou de rivières dégradées en aval.

## Gestion des déchets

– Coûts des collectes et traitements en fonction des densités et formes d’habitats retenus.

## Pollution des sols

– Coûts de dépollution pour réutilisation de sols pollués, comparés aux gains réalisés en épargnant aux acteurs en cause le traitement de leurs polluants.

## **Impacts de l’organisation des déplacements**

Il s’agit de regarder l’ensemble des modes de transport possibles et l’impact du mode d’urbanisation choisi sur les possibilités de déplacement des populations. En particulier, l’accès aux services (emplois, commerces, groupes scolaires [ramassage], santé, etc.) à un coût non discriminant est une condition indispensable pour éviter la ghettoïsation.

## Budgets énergie-pollution

– Consommation énergétique et pollutions émises par les déplacements (enquêtes-ménages) des habitants suivant la forme urbaine (voir le chapitre « Urbanisation et transports »). La loi sur l’air et l’utilisation rationnelle de l’énergie prévoit que l’étude d’impact en urbanisme intègre ces effets induits.

– Consommation d’énergie et pollutions induites par les implantations d’équipements drainant du public (cinémas, zones commerciales) ou du personnel (zones d’activités)

## Entretien de voirie

Un COS ne suffit pas pour apprécier la forme urbaine obtenue, ni par conséquent les modes de déplacement économiquement possibles. En Île-de-France, le linéaire de voirie est corrélé négativement à la densité [127].

– Coûts de réalisation et d’entretien de la voirie nécessitée par la forme urbaine envisagée.

## Budget des ménages

– Revenu minimal d’un ménage nécessaire pour vivre dans la zone du projet, compte tenu des coûts d’accès liés aux modes de déplacements effectivement disponibles ; recherche des effets d’exclusion. Le coût moyen d’une automobile serait de 20 000 F par an (27 000 F par an en Île-de-France, 18 000 F par an en province), en tenant compte de l’achat de voitures d’occasion [130]. En Île-de-France, la motorisation est

corrélée négativement avec la densité, pouvant représenter une dépense obligée importante pour des populations aux revenus faibles [127].

## **Qualité de vie**

On constate que les nuisances sont souvent corrélées entre elles : les zones bruyantes sont aussi celles où la pollution atmosphérique est importante, les dessertes moyennes, le cadre de vie largement améliorable et les revenus des résidents faibles.

### **Bruits**

– Coûts des dégâts sanitaires et psychologiques des bruits, comparés aux coûts de traitement préventif ou curatif des nuisances.

– Les bruits d'intérieur du logement (qualité du bâti) et les bruits d'ambiance extérieure (fonctionnement et conception de l'urbanisation locale et des voiries) sont à distinguer dans l'analyse. Dans le neuf, la sévèrisation des normes phoniques se traduit par une hausse de 5 % des coûts. Quelles sont les possibilités d'isolation phonique en réhabilitation ? L'isolation thermique traitée sans considérer le bruit a eu des effets pervers : bruits piégés.

– Les perturbations sonores externes ne sont que partiellement compensables par une meilleure isolation du bâtiment.

– Les formes urbaines, denses ou non, doivent intégrer le paramètre de bruit dans leur conception.

### **Air**

Les pollutions à considérer sont locales (COV), mais aussi régionales (particules fines, ozone troposphérique) et globales (CO<sub>2</sub>).

### **Espace intérieur**

– Espace de vie disponible par habitant rapporté à l'espace consommé par le projet. La croissance du logement individuel s'est accompagnée d'une augmentation forte du volume et du nombre de pièces disponibles par habitant. Les architectes et urbanistes scandinaves et allemands conçoivent des zones d'habitation denses à partir de logements individuels avec jardins privatifs ou collectifs.

### **Temps et mode de déplacement**

– Temps et mode de déplacement nécessaires pour atteindre au quotidien, depuis la résidence, les commerces, espaces récréatifs, lieux de loisir, de travail... Incidence des modes d'accès (autoroute, chemin, transport collectif...) et de la conception urbaine (grands ensembles) sur les modes de déplacements contraints.

## Aménités urbaines

- Cadre de vie, esthétique.
- Fonctionnalité, appropriation possible.
- Chants d'oiseaux.

## **L'économie informelle dans les coûts des projets urbains**

La formation des villes répond à de nombreux déterminants : données géographiques, jeux d'acteurs institutionnels, processus économiques plus ou moins formels, impacts environnementaux, phénomènes sociologiques et culturels. Pour évaluer les coûts collectifs du choix d'une forme urbaine, la question du périmètre d'observation est donc particulièrement délicate. Pour illustrer ce point, nous reproduisons ici une contribution de Jean-Claude Lévy sur le cas des flux financiers provoqués par les équipements et le fonctionnement urbains.

### **Flux financiers dans la ville**

La ville a un coût. Quel est ce coût ? Qui finance l'urbanisation ? La ville précède-t-elle ou accompagne-t-elle seulement le développement économique ?

Vitruve, architecte romain s'interrogeant sur le coût des réseaux d'assainissement au I<sup>er</sup> siècle av. J.C. se posait déjà ces questions. Lorsque Deng Tsiao Ping assignait aux métropoles chinoises bordières du Pacifique la fonction de développer, à terme, toute la République populaire de Chine, il y répondait de façon optimiste ; les États, les hommes politiques et les historiens se sont interrogés sur les villes, le coût et le financement de leur construction, l'amortissement des investissements consentis, leur place dans l'essor socio-économique des États, leur fonction dans l'accumulation du capital, leur rôle d'organisation, au cours des trois phases, parfois superposées, de l'évolution économique au fil du temps : troc et économie matérielle, économie de marché et plus tard capitalisme.

Un détour par Fernand Braudel s'impose pour apprécier ces phases qu'il appelle aussi des « strates » ; pour lui, il existe une différence politique entre économie de marché et capitalismes. « Keynes, pour son compte, parlait de concurrence imparfaite ; les économistes contemporains vont plus loin : pour eux, il y a les prix du marché et les prix des monopoles, c'est à dire un secteur monopoliste et un "secteur concurrentiel", soit deux étages. La double image est aussi bien chez J. O'Connor

que chez Galbraith. Alors est-ce un abus d'appeler économie de marché ce que certains dénomment aujourd'hui secteur concurrentiel ? Au sommet ce sont les monopoles, au dessous la concurrence réservée aux petites et médiocres entreprises. [...] Mais mon propos n'est pas de multiplier les exemples. Il est seulement de signaler qu'il y a une marge inférieure, plus ou moins épaisse, de l'économie – appelez-la comme vous voulez, mais elle existe, et elle est faite d'unités indépendantes. Alors ne dites pas trop que le capitalisme est l'ensemble du social, qu'il enveloppe nos sociétés entières. [...] Enfin, il faut ajouter que le secteur concurrentiel ne saisit pas, quant à lui, tout ce que le capitalisme des hauteurs a laissé de côté, ou même abandonné. Il y a aujourd'hui encore, comme au XVIII<sup>e</sup> siècle, un large rez-de-chaussée qui, à dire d'économistes, représente jusqu'à 30 et 40 % des activités, dans les pays industrialisés du monde actuel. Ce volume, récemment estimé et qui surprend par son ampleur, est l'addition, hors des marchés et des contrôles de l'Etat, de la fraude, du troc des biens et des services, du "travail au noir", de l'activité des ménages, cette économie de la maison qui, pour Saint-Thomas d'Aquin, était l'*economia pura* et qui subsiste de nos jours. » (Fernand Braudel, *Civilisation matérielle, économie et capitalisme*, Armand Colin, 1979).

C'est dire que les villes fonctionnent selon plusieurs strates économiques qui interviennent dans la formation des coûts collectifs de l'urbanisation, suivant le périmètre auquel on s'attache. Fernand Braudel expliquait déjà en 1979 que « nos statistiques qui ne tiennent pas compte, dans leurs chiffres, de ce rez-de-chaussée de nos sociétés, sont une analyse incomplète. »

## Sources et ressources

Il existe des sources écrites, comptables, iconographiques, qui permettent d'apprécier à partir de monographies les coûts et avantages socio-économiques, y compris les consommations de ressources, engendrés par les grandes politiques urbaines de certaines époques. D'Amsterdam à Venise en passant par Florence, Lyon ou Bordeaux, il n'est pas impossible de se faire une idée après coup des enjeux financiers et sociaux mis en œuvre, qu'il s'agisse de la morphologie, des rénovations entreprises dans ces villes, ou de l'évolution de leur positionnement géo-économique. Les villes du capitalisme marchand des grandes foires de Champagne ou de la Hanse, les villes toujours marchandes du *quattrocento* italien, les villes ultérieures du capitalisme industriel, jusqu'à Haussmann, peuvent être relativement bien connues.

En revanche, nous ne disposons en France d'aucun appareil statistique approprié à l'étude micro-économique des villes. Concernant les infrastructures urbaines (transports énergie, réseaux divers), et surtout les plus récentes qui concernent l'environnement (eau potable, assainissement...), la comptabilité administrative des collectivités locales ne permet pas d'obtenir des résultats satisfaisants sans opérer des approximations quelquefois hasardeuses. En outre, la crise des finances locales et les difficultés engendrées par diverses formes de spéculation favorisent

des investissements de très court terme. « L'urbanisme d'État » (Jean-Paul Lacaze) qui se substituait aux collectivités locales pour l'étude, l'ingénierie et le financement des grands projets d'infrastructures, n'a plus une position souveraine (c'est vrai aussi dans d'autres États, pensons à Brasilia) ; de plus, les finances locales supportent aujourd'hui des charges considérables en termes sociaux, ou même en gestion environnementale (extension des espaces verts, travaux de propreté non assurés par les habitants, déchets, eaux surtout).

## **Le rez de chaussée et l'autonomie sociale**

Par la formule de « rez-de-chaussée », qui désigne aussi les économies informelles, Fernand Braudel désigne des phénomènes prestigieux comme la *Silicon valley*, ou d'autres moins connus comme la substitution progressive des casinos et restaurants traditionnels par des restaurants chinois, qui répondent à la crise de l'épicerie ou de la restauration en apportant de la valeur ajoutée grâce à des cycles de production ou de *management* hors des normes de temps, de travail et d'espace relationnel de ces activités « classiques ». Il s'agit d'activités différentes *dans le temps et l'espace de leur déroulement*, qui se développent dans les interstices des marchés financiers classiques. C'est ce qu'Yves Barel appelait en 1982-83 le « *retour du troc* » (USS Grenoble, Centre d'étude des dynamiques sociales). « Il y a troc dans la mesure où deux ou plusieurs partenaires sociaux négocient pour parvenir à un échange équilibré d'éléments dont certains sont monétaires ou quantifiables, mais dont les autres ne peuvent pas recevoir une expression économique parce qu'ils sont directement politiques, culturels, psychologiques, affectifs, etc. Ce troc moderne, par rapport à l'échange marchand, auquel il est évidemment associé de manière intime, présente les caractéristiques suivantes : il porte sur des éléments nombreux et divers au lieu d'un échange simple d'un bien ou d'un service contre de l'argent ; certains de ces éléments sont inévitablement de nature politique ; lui-même prend la forme d'une négociation politique, échappant aux critères de la négociation économique ; il comporte souvent la prise en considération du temps. Ce nouveau troc se développe aux deux extrémités du "spectre social" : aux micro-niveaux, il accompagne les modestes efforts observables en matière "d'auto-production", de mini-réseaux économiques affinitaires, mettant en jeu la famille, les voisins, des individus ou des groupes choisis pour ce qu'ils sont, etc. Mais ce troc est aussi présent dans les stratégies des grands acteurs politiques et économiques. A partir de 1973, par exemple, on voit surgir et se généraliser la technique qui consiste à lier les contrats d'armement et contrats pétroliers. »

Cette analyse tend à montrer que, d'une part, la place de la négociation sociale est essentielle à déterminer pour gérer symboliquement l'environnement quotidien et planétaire (les démolitions spectaculaires de « barres » des grands ensembles constituent des coûts collectifs originaux, en raison des coûts des opérations elles-mêmes, mais aussi pour

leurs habitants parce qu'elles annulent la valeur sociale de leur habitat initial) et, d'autre part, ce « rez-de-chaussée » constitue un ensemble de ressources physiques, humaines et économiques mobilisables directement pour la gestion pratique de cet environnement.

Nous sommes dans le « rez-de-chaussée » de Fernand Braudel, au plan de l'injonction symbolique, lorsque les citoyens sont invités à trier eux-mêmes leurs déchets, ou à déneiger par temps d'hiver. Il est alors fait appel aux ressources de conscience, de liberté de mobilisation, d'*autonomie* de chaque collectivité. L'effort de travail gratuit est demandé au nom du développement durable, des générations futures, et pour une activité dont la réalisation et le coût collectif ne sont pas à la portée financière de la collectivité. Le symbolique, le politique et l'économique sont donc profondément imbriqués ; par exemple, le tri sélectif à la source tend à être accepté à la suite d'un long processus de négociation.

L'exemple des platanes de la Place de la Canourgue à Montpellier permet d'imaginer les mécanismes qui agissent souvent de façon imprévisible sous la pression sociale. Le maire de la ville a renoncé devant la réprobation de ses concitoyens à effacer un patrimoine architectural et végétal relativement ancien. Mais cette affaire, dont le coût financier était relativement modeste, a eu une telle intensité médiatique et symbolique que toute la politique environnementale de la municipalité en a été modifiée. La stratégie d'urbanisme de la ville de Montpellier, qui a signé depuis une « charte d'écologie urbaine », qui fait de l'écologie un outil de « marchandisation » (J.P. Volle, Sretie, ministère de l'Environnement, 1992) pour attirer investissements et activités, qui prévoit un tramway durant le prochain mandat municipal, etc., a été rénovée par une question de platanes : un réaménagement urbain relativement modique contribua sans doute fortement à la décision d'une dépense environnementale de plusieurs milliards de francs.

Sur le versant non plus du symbolique, mais de la gestion matérielle de l'environnement urbain, la prise en considération du « rez-de-chaussée » et des autonomies s'avère importante pour apprécier les coûts collectifs, les réduire ou les augmenter. Par exemple, dans certains pays en développement, de nombreux enfants et adolescents vivent de récupération sur des décharges d'ordures. Bien que nous ne sachions pas bien monétariser ce service, il y a là production d'une valeur ajoutée monétaire essentielle aux familles par cette activité. Mais quel est le coût collectif en retour de cette activité sur le plan de la santé ? Ou le bénéfice de les faire ainsi mieux échapper aux circuits de la prostitution ou de la drogue ?

## **Modifier l'offre pour maîtriser les coûts**

En matière de coûts collectifs urbains, le calcul se heurte donc à des contradictions difficiles à résoudre, en dehors de la difficulté propre aux enjeux environnementaux eux-mêmes. L'hygiénisme haussmannien se trouve aujourd'hui aux limites de ses possibilités, les sociétés contemporaines sont placées devant des investissements énormes de traitement de



l'environnement, les collecteurs d'épargne ont tendance à se tourner vers la spéculation sur le marché des valeurs. L'offre de la strate financière et technologique la plus moderne de l'économie contemporaine répond mal à la demande écologique des villes. Les issues envisagées dans les années soixante, du type *small is beautiful*, près du terrain, ne constituent pas une alternative généralisable. Il n'est pas impossible en revanche que certaines formules telles que chartes ou Agendas 21 locaux, ne puissent réduire les coûts collectifs de gestion de l'environnement, notamment en utilisant les réseaux d'information nouveaux, supports de nouvelles possibilités de régulation.

On voit apparaître de nombreux réseaux « duals, c'est à dire des réseaux d'informations sur les flux physiques écoulés par les réseaux et permettant leur régulation en temps réel. [...] A cette fin, il faut maintenant réarticuler dans une démarche stratégique différentes approches et tout particulièrement celles relatives au développement économique et social, à l'aménagement urbain, aux réseaux d'infrastructures et à la gestion des différents flux correspondants : tout ceci pour aboutir à une vision renouvelée et enrichie d'une approche urbanistique intégrant mieux les unes et les autres. » (Claude Martinand, *Recherche Études Environnement Développement*, SRETIE, décembre 1992). Claude Martinand préconise, concernant l'eau, les déchets, les transports, l'énergie, un développement durable par plus de régulation systémique. « Faire émerger des coopérations et des compromis entre ces acteurs dépassant ainsi les conflits ou les contradictions, qui sont dans la nature même de toute société humaine, telle est l'ambition de la régulation », selon trois dimensions majeures « temporelle pour arbitrer entre le court terme, le moyen et le long terme (différents horizons temporels), spatiale pour mettre en cohérence les différents niveaux territoriaux (différentes échelles), sociale pour arbitrer entre les aspirations individuelles et celles de la collectivité ou de la société ».

La forte culture scientifique et technique, pratique et informative, nécessaire pour opérer les nouveaux réseaux, les importantes sources de financement qui doivent être mobilisées pour les réaliser, rencontrent aujourd'hui des limites. Les gestionnaires de l'environnement se demandent si les économies d'échelle favorisées par la réalisation et la mise en connexion en temps réel de réseaux de plus en plus vastes, ne se traduisent pas par des rendements décroissants, auxquels il conviendrait de remédier par des politiques de subsidiarité. C'est l'optique de l'offre éco-industrielle qui est interrogée.



---

# Groupes de travail Comité de pilotage

---

## Groupes de travail

### Économie

**Cointe Raymond** (mission interministérielle de l'effet de serre)

**Foray Jean-Pierre** (ministère de l'Environnement, direction de la prévention des pollutions et des risques)

**Gastaldo Sylviane** (École nationale de la statistique et de l'administration économique, directrice des études)

**Glachant Matthieu** (Cerna, École nationale supérieure des mines de Paris)

**Godard Olivier** (CIRED, Centre international de recherches sur l'environnement et le développement, École des hautes études en sciences sociales)

**Hourcade Jean-Charles** (CIRED, Centre international de recherches sur l'environnement et le développement, École des hautes études en sciences sociales)

**Lagadec Patrick** (laboratoire d'économétrie, École polytechnique)

**Legrand Henri** (ministère de l'Industrie, conseil général des Mines)

**Lezon Catherine** (ministère de l'Économie et des Finances, Commission de contrôle des assurances)

**Litvan David** (ministère de l'Économie et des Finances, direction de la prévision)

**Moisan François** (Ademe, directeur de la programmation)

**Morcheoine Alain** (Ademe, directeur des transports)

**Orfeuil Jean-Pierre** (Inrets)

**Pagès Jean-Pierre** (Commissariat à l'énergie atomique, direction de la communication)

## **Santé**

**Chanel Olivier** (GREQAM, Groupement de recherche en économie quantitative d'Aix-Marseille, École des hautes études en sciences sociales – universités d'Aix-Marseille II et III)

**Courvalin Catherine** (ministère de l'Environnement, service de la recherche et des affaires économiques)

**Dor Frédéric** (Ademe)

**Festy Bernard** (laboratoire d'hygiène et de santé publique, faculté de pharmacie, Paris)

**Giroult Éric** (ministère de l'Équipement, du Logement et du Tourisme, conseil général des ponts et chaussées)

**Gremion Catherine** (centre de sociologie des organisations, École des mines de Paris)

**Grimfeld Alain** (pédiatre, Hôpital Trousseau / chargé de mission auprès du ministre de l'Environnement)

**Kamami Yves-Victor** (hôpital de Saint-Cloud)

**Landrieu Guy** (Ineris)

**Médina Sylvia** (observatoire régional de la santé d'Île-de-France)

**Rychen Frédéric** (GREQAM, Groupement de recherche en économie quantitative d'Aix-Marseille, École des hautes études en sciences sociales – universités d'Aix-Marseille II et III)

**Willinger Marc** (bureau d'économie théorique et appliquée, université de sciences économiques, Strasbourg)

**Zacklad Guy** (ministère de l'Industrie, direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement Île-de-France)

**Zmirou Denis** (laboratoire d'hygiène et de santé publique, université Joseph Fourier, Grenoble)

## **Infrastructures**

**Aubert Jean-Marc** (ministère de l'Économie et des Finances, direction de la prévision)

**Barrès Danielle** (INRA, délégation à l'environnement)

**Chassande Pierre** (ministère de l'Équipement, du Logement et du Tourisme, conseil général des ponts et chaussées)

**Cointe Raymond** (mission interministérielle de l'effet de serre)

**Delaunay Alexis** (ministère de l'Environnement, direction de l'eau)

**Garnier Christian** (France nature environnement)

**Guyot Patrice** (ministère de l'Environnement, direction de l'eau)

**Hussenot Vincent** (ministère de l'Environnement, direction de la nature et des paysages)

**Kovasachzy Marie-Christine** (ministère du Tourisme, observatoire national du tourisme)

**Lambert Jacques** (Inrets)

**Lamure Claude** (Inrets)

**Landrieu Guy** (Institut national de l'environnement industriel et des risques)

**Litvan David** (ministère de l'Économie et des Finances, direction de la prévision)

**Oesinger Jean-Claude** (Fédération nationale des usagers des transports)

**Orfeuil Jean-Pierre** (Inrets)

**Piron Vincent** (Société générale d'entreprises, département concessions)

**Senna Philippe** (ministère de l'Environnement, direction de la nature et des paysages)

**Tardif Delphine** (ministère de l'Environnement, direction de l'eau)

## **Bâti**

**Ader Gérard** (Insee)

**Bernard Henri** (confédération syndicale du cadre de vie)

**Bossebœuf Didier** (Ademe, direction de la programmation)

**Checaglini Paul** (ministère de l'Équipement, du Logement et du Tourisme, direction de l'architecture et de l'urbanisme)

**Chosson Alain** (confédération syndicale du cadre de vie)

**Coiffard Jean** (Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie)

**Cointe Raymond** (mission interministérielle de l'effet de serre)

**Comby Joseph** (Études foncières)

**Dresch Michel** (ministère de l'Équipement, du Logement et du Tourisme, conseil général des ponts et chaussées)

**Forestier Laurent** (CDC Consultants)

**Fouchier Vincent** (EPEVRY)

**Hertzog Robert** (centre de recherches administratives et financières, université Robert Schumann, Strasbourg)

**Hornung Pascal** (ministère de l'Économie et des Finances, direction de la prévision)

**Hussenot Vincent** (ministère de l'Environnement, direction de la nature et des paysages)

**Lacaze Jean-Paul**

**Legrand Henri** (ministère de l'Industrie, conseil général des Mines)

**Levy Jean-Claude** (ministère de l'Environnement, service de la recherche et des affaires économiques)

**Lezon Catherine** (ministère de l'Économie et des Finances, Commission de contrôle des assurances)

**Litvan David** (ministère de l'Économie et des Finances, direction de la prévision)

**Nicol Jean-Pierre** (association 4D)

**Orfeuil Jean-Pierre** (Inrets)

**Ossadzow Alexandre** (ministère de l'Équipement, du Logement et du Tourisme, conseil général des ponts et chaussées)

**Piron Vincent** (Société générale d'entreprises, département concessions)

**Poutrel Jean-Marie** (CDC Consultants)

**Renard Vincent** (laboratoire d'économétrie, École polytechnique)

**Roseau Nathalie** (Datar)

**Rumeau Geneviève** (AMF, association des maires de France)

**Toilier Florence** (laboratoire d'économie des transports, École nationale des travaux publics de l'État)

## **Eau**

**Aguilar Serge** (Cergrene, École nationale des ponts et chaussées)

**Barraqué Bernard** (Latts, École nationale des ponts et chaussées)

**Bebin Jean** (Lyonnaise des Eaux)

**Bédiot Guy** (agence de l'eau Seine-Normandie)

**Bonnefoi Serge** (chargé de cours à l'Institut d'études politiques de Toulouse)

**Deneuvy Jean-Philippe** (ministère de l'Environnement, direction de l'eau)

**Faudry Daniel** (Institut d'économie et de politique de l'énergie, CNRS, Grenoble)

**Herremans Louis** (Anjou Recherche)

**Lavoux Thierry** (Ifen)

**Legrand Henri** (ministère de l'Industrie, conseil général des Mines)

**Litvan David** (ministère de l'Économie et des Finances, direction de la prévision)

**Xambeu Philippe** (AMF, association des maires de France)

---

## **Comité de pilotage de la Cellule prospective et stratégie**

**Armand (Richard)**, comité exécutif Pechiney.

**Bureau (Dominique)**, ministère de l'Économie et des Finances, direction de la prévision.

**Gelly (Jean-Paul)**, compagnie Saint-Gobain, directeur des relations sociales et de l'environnement.

**Grossetête (Françoise)**, député européenne, conseillère régionale Rhône-Alpes.

**Legrand (Patrick)**, Institut national de la recherche agronomique, France - Nature - Environnement.

**Lequenne (Philippe)**, Les Amis de la Terre.

**Matheu (Michel)**, Commissariat général du Plan, chef du service de l'énergie et des activités tertiaires (secteur transports).

**Molle (Jean-François)**, Danone, directeur général réglementation-sécurité-environnement.

**Pélissard (Jacques)**, député-maire de Lons-le-Saunier (Jura).

**Philip (Patrick)**, Commissariat à l'énergie atomique, mission environnement.

**Rousselot (Michel)**, ingénieur général, Conseil général des ponts et chaussées.

**Salmon (Jean)**, vice-président de la FNSEA.

**Theys (Jacques)**, ministère de l'Équipement et des Transports, DRAST, Centre de prospective et de veille stratégique.

**Tramier (Bernard)**, ELF-Aquitaine, directeur de l'environnement.





---

# **Glossaire**

## **Abréviations**

ACV	analyse du cycle de vie
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AIRPARIF	réseau de mesure de la qualité de l'air de Paris et de la région Île-de-France
AOT	autorités organisatrices de transport
APHEA	<i>Air Pollution on Health a European Approach</i>
APHP	Assistance publique – hôpitaux de Paris
ASFA	Association des sociétés françaises d'autoroutes
BTP	bâtiments et travaux publics
CEMAGREF	Centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et forêts.
CERTU	Centre d'étude sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques
CFC	chlorofluorocarbones
CFDD	Commission française du développement durable
CGPC	Conseil général des ponts et chaussées (MELTT)
CITEPA	

	Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique
CO	monoxyde de carbone
CO <sub>2</sub>	dioxyde de carbone
COV	composés organiques volatils
DERU	directive sur les eaux résiduaires urbaines
DIREN	direction régionale de l'Environnement
DRAST	direction de la recherche et des affaires scientifiques et techniques (MELTT)
DREIF	direction régionale de l'Équipement d'Île-de-France
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPEVRY	Établissement public d'Évry
ERPURS	évaluation des risques de la pollution urbaine pour la santé
DERU	directive sur l'épuration des eaux résiduaires urbaines
FN	(indice de) fumées noires
FNAUT	Fédération nationale des usagers des transports
FNSEA	Fédération nationale des syndicats d'exploitants agricoles
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC)
GREQAM	Groupement de recherche en économie quantitative d'Aix-Marseille, École des hautes études en sciences sociales – universités d'Aix-Marseille II et III
HAP	hydrocarbures aromatiques polycycliques

HC	hydrocarbures
HCFC	hydrochlorofluorocarbone
IAURIF	Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région d'Île-de-France
IFEN	Institut français de l'environnement
IFP	Institut français du pétrole
INERIS	Institut national de l'environnement industriel et des risques
INESTENE	Institut d'évaluation des stratégies sur l'énergie et l'environnement en Europe
INRA	Institut national de la recherche agronomique
INRETS	Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
INSERM	Institut national de la santé et de la recherche médicale
IPCC	<i>International Panel on Climate Change</i> (GIEC)
LOTI	loi d'orientation des transports intérieurs (n° 82-1153 du 30 décembre 1982)
MELTT	ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et du Tourisme
MIES	mission interministérielle de l'effet de serre
NO	monoxyde d'azote
NO <sub>2</sub>	dioxyde d'azote
NO <sub>x</sub>	oxydes d'azote (NO, NO <sub>2</sub> )

N <sub>2</sub> O	protoxyde d'azote
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONF	Office national des forêts
O <sub>3</sub>	ozone
PIB	produit intérieur brut
PNB	produit national brut
PM <sub>10</sub>	<i>particulate matter 10</i> , fraction des particules de moins de 10 µm
PNUE	programme des Nations Unies pour l'environnement
POS	plan d'occupation des sols
PREDIT	programme pour la recherche, le développement et l'innovation dans les transports terrestres
PS	particules en suspension
PS <sub>13</sub>	particules en suspension d'un diamètre inférieur à 13 µm
RR	risque relatif
RA	risque attribuable
SETRA	service d'études techniques des routes et autoroutes
SNADT	schéma national d'aménagement du territoire
SO <sub>2</sub>	dioxyde de soufre
SO <sub>x</sub>	oxydes de soufre (SO <sub>2</sub> ...) SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>

	sulfates
TGV	train à grande vitesse
TIPP	taxe intérieure sur les produits pétroliers
ZNIEFF	zone naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique

## **Unités**

cm	centimètre
cts	centimes
dB	décibel
F	franc français
G [unité]	giga ou milliard
g	gramme
h	heure
ha	hectare
k [unité]	kilo ou millier
kep	kilo équivalent pétrole
kg	kilogramme
km	kilomètre
km <sup>2</sup>	kilomètre carré
kt	kilotonne
ktep	kilotonne équivalent pétrole

kW	kilowatt
l	litre
M [unité]	méga ou million
MF	million de francs
Mtep	million de tonnes équivalent pétrole
m	mètre
mg	milligramme
$\mu$ [unité]	micro
n [unité]	nano
ppm	partie pour million
t	tonne
tep	tonne équivalent pétrole
t-km	tonne-kilomètre
véh.-km	véhicule-kilomètre
voy.-km	voyageur-kilomètre

## Bibliographie

- 1 – L. Boltanski, L. Thévenot, *De la justification, Les économies de la grandeur*, NRF essais, Gallimard, Paris, 1991.  
Cf. p. 141.
- 2 – Commission française du développement durable, *Le développement durable. Contribution au débat national*, 1996.  
Cf. p. 51, 122.
- 3 – D. Dron, *Environnement et choix politiques*, «Dominos», Flammarion, 1995.  
Cf. p. 46, 170, 207, 299, 339.
- 4 – IFEN, *L'environnement en France*, Dunod, 1994.  
Cf. p. 112, 283.
- 5 – *Working future ? Jobs and the environment*, Friends of the Earth, november 1995.  
Cf. p. 360.
- 6 – Ministère de l'Environnement, *Données économiques de l'environnement*, Economica, Paris, 1996.  
Cf. p. 232.
- 7 – *Stratégie nationale du développement durable*, République française, 15 février 1997.  
Cf. p. 75, 103, 252.
- 8 – M. Angel, *Limites de l'évaluation économique et de l'analyse coûts-avantages*, Cerna, École nationale supérieure des mines de Paris, décembre 1995.  
Cf. p. 140, 157, 168, 169, 176, 177.
- 9 – K. J. Arrow, « Application de l'analyse économique de l'investissement à la lutte contre "l'effet de serre" », *Problèmes économiques*, n° 2456, 24 janvier 1996.  
Cf. p. 186, 187, 188, 189.
- 10 – J.-P. Barde, *Économie et politique de l'environnement*, 2<sup>e</sup> édition, PUF, Paris, 1992.  
Cf. p. 53, 147, 148, 149, 152, 170, 171, 175, 176, 178, 202, 207.

- 11 – G. Bertolini, « Économie de la collecte des résidus ménagers : les articulations entre récupération et élimination », *Revue d'économie politique*, 5, p. 631-648, 1987.  
Cf. p. 91.
- 12 – M. Boiteux, « À propos de la “Critique de la théorie de l'actualisation telle qu'employée en France” », *Revue d'économie politique*, n° 332, septembre-octobre 1976.  
Cf. p. 44, 105, 192, 192.
- 13 – F. Bonnieux, P. Rainelli, « Learning from Amoco Cadiz oil spill : damage valuation and court's ruling », *Industrial and Environmental Crisis Quarterly*, vol. 7, n° 3, 1993.  
Cf. p. 156, 174.
- 14 – Commissariat général du Plan, *L'économie face à l'écologie*, La Découverte/La Documentation française, Paris, 1993.  
Cf. p. 53, 108, 152, 153.
- 15 – T. Crowards, D. Pearce, *Energy Policy*, vol. 24, n° 7, 1996.  
Cf. p. 302.
- 16 – Direction de la prévision, ministère de l'Économie, « Croissance et Environnement », *Les Notes Bleues*, n° 603, Paris, juillet-août 1992.  
Cf. p. 191.
- 17 – S. Faucheux, J.-F. Noël, *Les menaces globales sur l'environnement*, La Découverte, 1990.  
Cf. p. 128.
- 18 – O. Godard, « Stratégies industrielles et convention d'environnement : de l'univers stabilisé aux univers controversés », dans *Environnement-économie*, Insee Méthodes n° 39-40, p. 145-174, décembre 1993.  
Cf. p. 26, 49, 153.
- 19 – O. Godard, « Le développement durable : paysage intellectuel », *Nature-Sciences-Sociétés*, 2 (4), p. 309-322, 1994.  
Cf. p. 108, 161, 166, 167, 185.
- 20 – O. Godard, « L'évaluation économique comme procédure de coordination dans la protection de l'environnement et de la santé », *Les Cahiers du Groupe épistémologie des cindyniques*, n° 3, décembre 1996.  
Cf. p. 20, 46, 116, 139, 162, 164, 166.
- 21 – O. Godard, « Les sciences économiques et les recherches sur l'environnement », rapport de conjoncture au programme interdisciplinaire de recherche « environnement, vie et société » du CNRS, décembre 1996.  
Cf. p. 145.
- 22 – B. Guerrien, *L'économie néo-classique*, La Découverte, Paris, 1989.  
Cf. p. 144.
- 23 – C. Henry, « La micro-économie comme enjeu et langage de négociations », *Revue économique*, 35 (1), janvier 1984.  
Cf. p. 116, 183, 200.



- 24 – C. Henry, « Efficacité économique et impératifs éthiques : l'environnement en copropriété », *Revue économique*, 41 (2), mars 1990.  
Cf. p. 161.
- 25 – C. Hope, P. Maul, « Valuing the impact of CO<sub>2</sub> emissions », *Energy Policy*, 24, (3), p. 211-219, 1996.  
Cf. p. 170, 321.
- 26 – J.-C. Hourcade, « Analyse économique et gestion des risques climatiques », *Nature-Sciences-Sociétés*, 2 (3), p. 202-211, 1994.  
Cf. p. 57, 104, 142, 157, 187.
- 27 – J.-C. Hourcade, T. Chapuis, « No-regret potentials and technical innovation. A viability approach to integrated assessment of climate policies », *Energy Policy*, vol. 23, n° 4/5, p. 433-445, 1995.  
Cf. p. 323.
- 28 – J.-C. Hourcade, « Consensus inespéré ou artefact théorique », *Les cahiers de Global Chance*, n° 7, juillet 1996.  
Cf. p. 26, 164, 213, 313.
- 29 – « Y a-t-il des éléments nouveaux dans le rapport rédigé par le Groupe I de l'IPCC ? », interview de J. Jouzel par P. Roqueplo, *Les cahiers de Global Chance*, n° 7, juillet 1996.  
Cf. p. 122.
- 30 – E. Malinvaud, « La science économique et les décisions d'économie globale », *Revue de l'énergie*, n° 390, février-mars 1987.  
Cf. p. 161, 163.
- 31 – A. Manne, R. Richels, « The Greenhouse Debate : Economic Efficiency, Burden Sharing and Hedging Strategies », *The Energy Journal*, 16, (4), p. 1-37, 1995.  
Cf. p. 322.
- 32 – A. Markandya et al., *Green Accounting in Europe. The role of damage estimation. Four case studies*, European Commission, DGXII, Bruxelles, 1996.  
Cf. p. 213, 302.
- 33 – W. Nordhaus, « To slow or not to slow : the economics of the greenhouse effect », *The Economic Journal*, Vol. 101, July, p. 920-937, 1991.  
Cf. p. 321.
- 34 – R. Passet, *L'économie et le vivant*, 2<sup>e</sup> édition, Economica, Paris, 1996.  
Cf. p. 145, 174.
- 35 – C. Philibert, « Changements climatiques : faut-il aller au-delà des actions "sans regrets" ? (dix remarques sur le taux d'actualisation) », dans *Écologie société économie : quels enjeux pour le développement durable ?*, 1996.  
Cf. p. 161, 185, 187, 190, 191, 193.

- 36 – P. Point, B. Desaignes, *Économie du patrimoine naturel*, Economica, Paris, 1992.  
Cf. p. 171, 176, 295.
- 37 – L. Puiseux, « Bifurcations et irréversibilités dans l'histoire économique de l'énergie depuis 1945 », dans Colloque EHESS *Irréversibilités dans les modes de croissance*, Paris, 21-23 juin 1989.  
Cf. p. 102.
- 38 – C. Riveline, *Évaluation des coûts, éléments d'une théorie de la gestion*, École des Mines de Paris, 1996.  
Cf. p. 46.
- 39 – M. Sagoff, *The economy of the Earth*, Cambridge studies in philosophy and public policy, Cambridge university press, 1988.  
Cf. p. 67, 138, 141, 194.
- 40 – SCE *Impact économique des pollutions agricoles sur la potabilisation de l'eau dans le bassin Loire-Atlantique*, mai 1995.  
Cf. p. 101.
- 41 – G. Scemini, « Environmental Politics and Anticipatory Strategies », dans Simonis U.E. (ed.), *Präventive Umweltpolitik*, Campus Verlag, Frankfurt/Main, Allemagne, p. 27-48, 1988.  
Cf. p. 158.
- 42 – R. Shackleton, M. Shelby, A. Cristofaro, R. Brinner, J. Yanchar, L. Goulder, D. Jorgenson, P. Wilcoxon, P. Pauly, *The Efficiency Value of Carbon Tax Revenues*, Washington DC, USEPA, March 1992.  
Cf. p. 170.
- 43 – B. Walliser, *Le calcul économique*, La Découverte, Paris, 1990.  
Cf. p. 178.
- 44 – R. Guesnerie, *L'économie de marché*, « Dominas », Flammarion, 1996  
Cf. p. 40.
- 45 – C. Lezon, « Assurance de risques industriels et protection de l'environnement », *La Jaune et la Rouge*, mars 1996.  
Cf. p. 174.
- 46 – N. Bouleau, « Splendeurs et misères des lois de valeurs extrêmes », *Risques*, n° 4, p. 85-92, janvier 1991.  
Cf. p. 128.
- 47 – V. Cohen, « Probabilité et statistique : du doute à l'action », *Annales des ponts et chaussées*, n° 72, p. 64-68, 1994.  
Cf. p. 108.
- 48 – V. Cohen, « Utiliser ou non une théorie ? l'exemple du risque » *Annales des ponts et chaussées*, n° 76, p. 4-10, 1995.  
Cf. p. 127.

49 – J.-P. Moatti, « La gestion des risques pour la santé : l'analyse économique à la poursuite du risque acceptable », *Annales des ponts et chaussées*, n° 76, 1995.

Cf. p. 126.

50 – *Deuxième Rapport d'évaluation du GIEC, Changements climatiques 1995*, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, résumés à l'intention des décideurs, OMM-PNUE, 1996.

Cf. p. 21, 26, 58, 88, 97, 103, 105, 106, 109, 113, 121, 130, 132, 143, 169, 185, 186, 188, 189, 197, 198, 199, 207, 208, 214, 313, 316, 317, 318, 322.

51 – *Le principe de précaution*, sous la direction d'Olivier Godard, éditions de la Maison des sciences de l'homme, INRA, Paris, 1997.

Cf. p. 156.

52 – O. Godard, « L'ambivalence de la précaution et la transformation des rapports entre science et décision », dans *Le principe de précaution*, sous la direction d'O. Godard, éditions de la Maison des sciences de l'homme, INRA, Paris, 1997.

Cf. p. 129, 130.

53 – G. Megie, « Incertitude scientifique et décision politique : le cas "historique" de l'ozone stratosphérique », dans *Le principe de précaution*, sous la direction d'O. Godard, éditions de la Maison des sciences de l'homme, INRA, Paris, 1997.

Cf. p. 97, 121.

54 – P. Roqueplo, *Climats sous surveillance. Limites et conditions de l'expertise scientifique*, Economica, Paris, 1993.

Cf. p. 121, 125.

55 – P. Lagadec, « Au service du public, jusque dans les crises », *Management et conjoncture sociale*, n° 481, 2 avril 1996.

Cf. p. 196.

56 – Actualité et dossiers en santé publique, *Santé et environnement*, n° 13, décembre 1995.

Cf. p. 277.

57 – Airparif, *Surveillance de la qualité de l'air en Île-de-France*, rapport d'activité 1995.

Cf. p. 111.

58 – D.W. Dockery et al., « An association between air pollution and mortality in six U.S. cities », *New England Journal of Medicine*, vol. 329, n° 24, p. 1753-1759, December 9, 1993.

Cf. p. 294, 301.

59 – D.W. Dockery, C.A. Pope III, « Acute respiratory effects of particulate air pollution », *Annu. Rev. Public Health*, 15, p. 107-132, 1994.

Cf. p. 294.

60 – S. Médina, A. Le Tertre et al., *Évaluation de l'impact de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé en Île-de-France*, rapport ORSIF, 1994.

Cf. p. 132, 269, 277, 279, 282, 297.

61 – GERPA, *Contribution au rapport au Parlement concernant l'application de l'article 15 de la loi du 31 décembre 1992*, ministère de l'Environnement (mission bruit), 28 octobre 1994.

Cf. p. 112, 124, 172, 175.

62 – C.A. Pope III et al., « Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of U.S. Adults », *Am. J. Respir. Care Med.*, vol. 151, p. 669-674, 1995.

Cf. p. 294.

63 – H. Pujol, « Environnement et cancer : point de vue d'un oncologue », dans *Nature de la santé, santé de la nature*, Coll. J.-P. Guérin et J.-C. Lévy, *Revue de Géographie Alpine*, n° spécial, 1992.

Cf. p. 91, 107.

64 – *Impact médical des pollutions d'origine automobile*, rapport présenté par le professeur A. Roussel, supplément au n° 99 de la revue *Pollution Atmosphérique*, juillet-septembre 1983.

Cf. p. 32, 113, 158, 269, 287, 289, 312.

65 – J. Schwartz, « Air Pollution and Daily Mortality : A Review and Meta Analysis », *Environmental Research*, 64, p. 36-52, 1994.

Cf. p. 294.

66 – Société française de santé publique, *La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique, Bilan de 15 ans de recherche internationale*, Collection santé et société n° 4, mai 1996.

Cf. p. 82, 105, 113, 123, 124, 131, 269, 271, 273, 274, 275, 276, 279, 280, 281, 282, 283, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 308, 310, 311.

67 – G. Zacklad, « Pollution de l'air : l'état des incertitudes... », *Annales des Mines, Responsabilité et environnement*, janvier 1996.

Cf. p. 271.

68 – B. Desaignes, A. Rabl, « Reference values for human life », dans N. Schwab et N. Soguel (Eds), *Contingent valuation, transport safety and value of life*, Kluwer, 1995.

Cf. p. 212, 213, 306.

69 – M. Le Net, *Le prix de la vie humaine*, Commissariat Général du Plan, Paris, 1992.

Cf. p. 213, 306.

70 – M. Le Net, *Le prix de la vie humaine : calcul par la méthode des préférences individuelles*, Commissariat Général du Plan, Paris, 1994.

Cf. p. 212.

71 – W. Viscusi, *Fatal tradeoffs : Public and private responsibilities for risk*, Oxford University Press, New-York, 1992.

Cf. p. 213.

72 – O. Chanel, G. Geniaux, F. Rychen, C. Deniau, B. Ghattas, *Évaluation monétaire des effets à court terme de la pollution atmosphérique sur la santé. Application à l'Île-de-France*, groupement de recherche en économie quantitative d'Aix-Marseille, contrat pour le ministère de l'Environnement, octobre 1996.

Cf. p. 84, 177, 208, 270, 284, 294, 296, 298, 299, 301, 302, 303, 306, 309.

73 – Ecoplan, *Monétarisation des coûts externes de la santé imputables aux transports*, étude réalisée sur mandat du service d'étude des transports du département fédéral helvétique des transports, des communications et de l'énergie, Berne, mai 1996.

Cf. p. 123, 303, 304, 334.

74 – *Coût médico-social à court terme de la pollution atmosphérique en milieu urbain. Une étude dans la région Rhône-Alpes (Lyon, Grenoble, Chambéry)*, Institut universitaire de santé publique de Grenoble, novembre 1995.

Cf. p. 303.

75 – M. Willinger, S. Masson, *Évaluation des coûts de la pollution atmosphérique sur la santé en Île-de-France*, étude réalisée pour l'Ademe, septembre 1996.

Cf. p. 303, 306.

76 – J. Brua, *Accessibilité des zones de faible densité de population*, Conseil général des ponts et chaussées et Conseil général du génie rural, des eaux et des forêts, 1993.

Cf. p. 93, 340, 341.

77 – C. Lamure, *Infrastructures de transport et environnement*, Conseil général des ponts et chaussées, 1991.

Cf. p. 336.

78 – Société Eco-Projet®, *Autoroutes et environnement*, étude réalisée pour le ministère de la Qualité de la Vie, 1976.

Cf. p. 331, 336, 337, 338.

79 – P. Legrand, «Le casse des siècles», *Métropolis*, 56, 1983.

Cf. p. 344.

80 – J.-M. Offner, «Les “effets structurants” du transport : mythe politique, mystification scientifique», *L'Espace géographique*, n° 3, p. 233-242, 1993.

Cf. p. 93, 340.

81 – Contribution du ministère de l'Équipement, du Logement et du Transport à un plan national de développement durable, février 1997.

Cf. p. 246.

82 – D. Dron, *Déchets municipaux : coopérer pour prévenir*, rapport au Ministre de l'Environnement, Cellule de prospective et stratégie, ministère

de l'environnement, La Documentation française, rapports officiels, mai 1997.

Cf. p. 90 91, 127, 246, 252, 333, 336, 359.

83 – J.-P. Lacaze, *Le logement au péril du territoire*, éditions de l'Aube, Datar, à paraître en 1997.

Cf. p. 247.

84 – M. Wiel, « La dimension institutionnelle dans les problèmes d'évaluation des politiques de déplacement », intervention au séminaire Predit du 25 février 1997.

Cf. p. 247, 251, 253, 263.

85 – « “Bâtiment-parking-pelouse”, le visage contemporain de l'urbanisation », *Les données de l'environnement*, Ifen, n° 4, avril 1994.

Cf. p. 248, 250.

86 – V. Fouchier, « La densification : une comparaison internationale entre politiques contrastées, éclairage du schéma directeur francilien par des exemples étrangers », *Les Annales de la recherche urbaine*, n° 67, p. 94-108, 1995.

Cf. p. 248, 260, 267.

87 – V. Fouchier, « Les paradoxes écologiques de la dialectique densité-nature : le cas de l'Île-de-France », actes de la Biennale des villes et des urbanistes d'Europe, fédération des agences d'urbanisme, Lyon, 4-6 décembre 1995.

Cf. p. 246, 248, 249, 264, 266.

88 – A. Chanard, « Le dialogue ville-campagne au cœur du développement de l'agriculture périurbaine », dans *Agriculture et forêt périurbaine sortent de l'ombre*, numéro hors série, septembre 1996.

Cf. p. 250.

89 – *Atelier sur les morphologies urbaines et le développement durable*, Nations unies, Conseil économique et social, CEE, rapport HBP/R 301 pour le Plan urbain, 15 juillet 1993.

Cf. p. 240.

90 – *Étude microéconomique des services environnementaux dans deux agglomérations : Nantes et Amiens*, étude pour le ministère de l'Environnement, BIPE et CDC Consultants, 1996

Cf. p. 229, 236.

91 – *La gestion de l'environnement à Poitiers et Lyon*, Barthélémy/Faudry, étude pour la DAEI (ministère de l'Équipement), 1996.

Cf. p. 230, 238, 239, 240.

92 – *Services urbains et gestion locale : enjeux et perspectives de recherche – Dynamiques urbaines et finances locales*, Alain Guengant, Crefaur, université de Rennes I, étude pour le Plan urbain, Ministère de l'Équipement, 1995.

Cf. p. 228.

93 – *Attention mitage !*, ministère de l'Équipement, direction de l'aménagement foncier et de l'urbanisme, service de l'urbanisme, février 1977.

Cf. p. 248, 262.

94 – J.-C. Fanouillet, C. Madinier, « L'extension des villes de 1936 à 1990 », *Insee Première*, n° 451, mai 1996.

Cf. p. 249.

95 – « Gestion des eaux usées et des déchets : près de 100 milliards en 1995 », *Les données de l'Environnement*, Ifen, n° 27, janvier 1997.

Cf. p. 252.

96 – T. Prost, E. Alakih, P. Le Gauffre, A. Cabanes, P. Radanne, *Le génie urbain entre subsidiarité et économie d'échelle*, Convention n° 94 31 088 00 223 75 01, Institut national du génie urbain, pour le Plan urbain, MELTT, août 1996.

Cf. p. 240, 241, 242, 244.

97 – B.H. Nicot, « Une mesure de l'étalement urbain en France, 1982-1990 », *Revue d'Économie Régionale et Urbaine* n° 1, p. 71-98, 1996.

Cf. p. 249.

98 – *Qui doit payer la ville ?*, collectif, direction de l'architecture et de l'urbanisme (ministère de l'Équipement), ADEF, 1996.

100 – F. Toilier, *Évaluation des coûts et avantages sociaux de l'étalement urbain*, thèse en cours de rédaction, Laboratoire d'économie des transports, École nationale des travaux publics de l'État, 1997.

Cf. p. 351.

101 – *Futures Environmental Forum*, actes, Washington, avril 1997.

Cf. p. 250, 253, 262, 263.

102 – *Autoroutes 2020*, n° 37, janvier 1996.

Cf. p. 98.

103 – Cour des comptes, *La politique routière et autoroutière : évaluation de la gestion du réseau national*, rapport au Président de la République, mai 1992.

Cf. p. 98, 339.

104 – Commissariat général du Plan, *Transports 2010*, La Documentation française, juin 1992.

Cf. p. 28, 107.

105 – Commissariat général du Plan, *Transports : le prix d'une stratégie*, La Documentation française, 1996.

Cf. p. 98.

106 – D. Dron, M. Cohen de Lara, *Pour une politique soutenable des transports*, rapport au ministre de l'Environnement, Cellule de prospective et stratégie, ministère de l'Environnement, La Documentation française, rapports officiels, septembre 1995

Cf. p. 22, 36, 37, 73, 83, 89, 92, 97, 100, 112, 117, 135, 136, 187, 250, 254, 255, 260, 262, 263, 265, 266, 287, 307, 310, 311, 331, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341.

108 – A. Reocreux, D. Dron, *Débat public et infrastructures de transports*, rapport au ministre de l'Environnement, Cellule de prospective et stratégie, ministère de l'Environnement, La Documentation Française, rapports officiels, septembre 1996.

Cf. p. 22, 24, 71, 74, 200.

109 – Y. Durand-Raucher, « Variabilité comportementale en matière de pratique des déplacements : l'exemple de l'information routière en région Île-de-France », *La Jaune et la Rouge*, n° 516, juin-juillet 1996.

Cf. p. 111.

110 – OCDE, *Transports urbains et développement durable*, 1995.

Cf. p. 182, 323.

111 – P. Newman, « Reducing Automobile Dependence », dans *Vers des transports durables*, conférence internationale de l'OCDE, Vancouver, Canada, 24-27 mars 1996.

Cf. p. 268.

113 – J.-P. Orfeuill, *Énergie, environnement, fiscalité, déplacements quotidiens*, Inrets, décembre 1993.

Cf. p. 103, 203.

114 – J.-P. Orfeuill, *L'emploi et l'énergie mobilisés par le transport de voyageurs*, rapport de convention Mies, Dest-Inrets, avril 1996.

Cf. p. 107.

115 – J.-P. Orfeuill, « Qui paye quoi pour aller où ? La mobilité dans la ville éclatée », *La Jaune et la Rouge*, n° 523, mars 1997.

Cf. p. 112.

116 – V. Piron, « À propos du prix du temps dans le calcul des coûts de transport », *Études Foncières*, n° 69, p. 52-53, décembre 1995.

Cf. p. 204, 349.

117 – V. Piron, « Les valeurs du temps dans les infrastructures de transport », *Transports*, n° 377, mai-juin 1996.

Cf. 347.

118 – M.-P. Rousseau, « Paris surproductif et surencombré », *Études foncières*, n° 68, septembre 1995.

Cf. p. 247, 265, 267.

119 – V. Piron, « Moyens de transports et densité », *Études foncières*, n° 66, p. 17-23, mars 1995.

Cf. p. 252, 262, 263, 349.

120 – J.-Cl. Duplessy, P. Morel, *Quand l'océan se fâche*, éditions Odile Jacob, Paris, 1996.

Cf. p. 113, 122.



121 – S. Rahmsdorf, « Bifurcations of the Atlantic thermohaline circulation in response to changes in the hydrological cycle », Institut für Meereskunde, Kiel, *Nature*, vol. 378, p. 145-9, 9 novembre 1995.

Cf. p. 113, 122.

122 – V. Piron, « Savoir choisir un mode de transport », *Études foncières*, n° 68, p. 7-12, septembre 1995.

Cf. p. 254.

123 – V. Piron, « Densités et coûts de transport dans quelques villes européennes, coûts de fonctionnement et d'investissement », *Urbanisme*, n° 289, juillet-août 1996.

Cf. p. 204.

124 – V. Piron, « Modèles de trafic en zone urbaine : une méthodologie qui reste à inventer », *Transports*, n° 379, septembre-octobre 1996.

Cf. p. 265.

125 – *Transports urbains et calcul économique*, rapport du groupe de recherche Équipement-Économie (CGPC, direction de la prévision), décembre 1996.

Cf. p. 264, 264.

126 – J. Vivier, *Coûts des déplacements en Île-de-France, éléments pour une politique d'investissement et de tarification*, RATP, janvier 1997.

Cf. p. 255.

127 – V. Fouchier, « Densité urbaine et mobilité : que sait-on, que peut-on faire ? Le cas de la région parisienne », actes du colloque international francophone A.T.E.C. *La mobilité dans un environnement durable*, Paris, Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, 28-30 janvier 1997.

Cf. p. 256, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 364, 365.

128 – V. Fouchier, « Penser la densité », *Études foncières*, n° 64, p. 7-12, septembre 1994.

Cf. p. 266.

129 – V. Fouchier, « Quel transport pour quelle ville ? », *Urbanisme*, n° 289, juillet-août 1996.

Cf. p. 263.

130 – V. Piron, « L'acceptabilité politique du péage routier », *Transport*, octobre 1997.

Cf. p. 263, 342, 364.

131 – Beauvais consultants, *Étude de la rentabilité financière, économique et environnementale du projet d'autoroute ferroviaire entre Gand et Orange*, octobre 1995.

Cf. p. 338.

132 – P. Bein, C.J. Johnson, T. Litman, *Monetization of Environmental Impacts of Roads*, Planning Services Branch, Ministry of Transportation and Highways, Victoria, British Columbia, July 1995.

Cf. p. 123, 201, 304, 334, 338, 339.

133 – Commissariat général du Plan, *Transports : pour un meilleur choix des investissements*, La Documentation française, Paris, 1994.

Cf. p. 28, 59, 114, 180, 181, 184, 192, 200, 201, 205, 256, 328.

134 – Secrétariat d'État aux Transports, *Instruction cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructure de transport*, jointe à la circulaire du 3 octobre 1995 du secrétaire d'État aux transports.

Cf. p. 28, 30, 114, 115, 184, 194, 200, 201, 205, 328, 329.

135 – J. Lambert, C. Lamure, *Évaluation monétaire des impacts des transports sur l'environnement*, Inrets-Setra, avril 1996.

Cf. p. 171, 176, 201, 320.

136 – J.-P. Orfeuill, *Les coûts externes de la circulation routière*, Inrets, janvier 1996.

Cf. p. 77, 103, 181, 182, 204.

137 – E. Quinet, *Les coûts sociaux des transports*, dans *Internaliser les coûts sociaux des transports*, CEMT-OCDE, Paris, 1994.

Cf. p. 28, 200, 201, 202, 328, 334.

138 – G. Ray, *Autoroute – indemnisation des communes*, allocution du 26 août 1990 à la Fnaut.

Cf. p. 342.

139 – G. Sainteny, *La fiscalité des espaces naturels*, éd. Victoires / La Découverte, 1993.

Cf. p. 134.

140 – J. J. Mackenzie, R. C. Dower, D. D.T. Chen, *The Going Rate : What it Really Costs to Drive*, World Resources Institute, juin 1992.

Cf. p. 203.

141 – *Vers une tarification équitable et efficace dans les transports. Options en matière d'internalisation des coûts externes des transports dans l'Union européenne*, Commission de l'Union européenne, janvier 1996.

Cf. p. 256.

142 – *Effets externes du transport*, Infras A. G. (Zürich) et IWW (Karlsruhe), étude pour l'Union internationale des chemins de fer, novembre 1994.

Cf. p. 256.

143 – J.-C. Hourcade, M. Kostopoulou, « Quelles politiques face aux chocs énergétiques », *Futuribles*, n° 189, p. 7-27, juillet-août 1994.

Cf. p. 46.

144 – P. Radanne, « Énergie : panorama avant un retour sur le devant de la scène », intervention devant la Commission française du développement durable, 7 décembre 1995.

Cf. p. 245.

145 – R. Costanza et al., « The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital », *Nature*, vol. 387, p. 253-260, 15 mai 1997.

*Cf.* p. 226.

146 – E. O. Wilson, *La diversité de la vie*, éd. Odile Jacob, Paris, 1992.

*Cf.* p. 124, 137, 337.

147 – *Entre terre et eau. Agir pour les zones humides.*, dossier d'information, ministère de l'Environnement, 1997.

*Cf.* p. 220.

148 – M. Amar, « Qui paye quoi dans les différents modes de transport ? », *Transports*, n° 382, p. 81-91, mars-avril 1997.

*Cf.* p. 103, 182.



# **Index**

## **A**

Analyse(s) coûts-avantages 28, 30, 40, 43-45, 50, 56-57, 60, 66, 68, 76, 78, 80, 87, 137, 143, 155, 158, 160-161, 169, 178, 180, 182-183, 195, 198, 215, 316, 383

Arrow-Debreu 40, 55, 144

## **B**

Biais 12-13, 20, 22-24, 35, 38, 43, 47, 52, 55, 61, 68, 76, 88, 94, 105, 117, 129, 132, 145-148, 151, 153, 157, 160-161, 163, 169, 176-178, 185, 188, 199, 201, 205-206, 212, 232, 252, 268, 292, 295, 298, 300, 303-304, 320, 328-329, 352-353

Biodiversité 7, 137, 153, 221

Bruit 4, 28-31, 74, 77, 92, 111-112, 114, 117, 124-125, 133-135, 146, 149-150, 167, 171-176, 184-185, 200-201, 203, 205, 230, 237, 248, 268, 327-329, 335-336, 338-340, 344, 365, 387

## **C**

Charte(s) 80, 89, 240, 243, 245, 370-371

CO<sub>2</sub> 26, 30, 60, 67-68, 75-76, 88, 104, 109, 132, 134, 136, 142, 154, 157, 164, 167, 182, 187, 194, 202, 245, 254, 256, 313, 316, 320-323, 329, 365, 379, 385

Coase 146-147

Compensable(s) 30, 53, 153, 365

Consentement(s) à payer 12, 29, 35, 46, 61, 83, 119, 141, 144, 149-150, 154-155, 160, 168-170, 176-178, 184, 200-202, 205-213, 227, 237, 254, 257, 265, 294-296, 298, 304, 320-322, 347-349

Consentement(s) à recevoir 29, 61, 83, 144, 168-170, 177, 202

Contingente 44, 149, 177-178, 181, 209, 212, 306

Convention(s) 11, 13, 20-21, 29-31, 35-36, 40, 59, 61-63, 74, 77, 83, 90, 103, 117-118, 131, 137-138, 144, 161-162, 164, 170-171, 200, 204-205, 222-223, 264, 267, 270, 296-297, 299, 305, 315-317, 319, 322, 336, 384, 392

Coordination(s) 11-12, 20-21, 24, 42, 47-50, 52, 55-57, 59, 64-66, 74, 78-79, 83, 116, 120, 138, 140, 144, 155-156, 163, 166-167, 177, 214, 240, 305, 313, 318-319, 321, 384

Coût(s) stratégique(s) 81, 267, 345

Crise(s) 8, 19, 25-26, 32, 45-46, 56, 65, 69, 75-76, 80-82, 84, 89, 100-104, 106, 144, 156, 158, 183, 186, 195-197, 219, 242, 247, 257, 262-263, 267-268, 279, 281, 292, 295, 309-310, 312, 368-369, 387

Critère(s) 12, 21, 27-28, 35, 39, 43, 45-46, 48, 55, 60, 68-69, 81, 84, 99, 115, 124, 129-130, 143, 156-157, 160-161, 166, 173, 176, 179, 183, 194, 196-197, 199, 214-215, 219, 252-253, 257, 267, 282, 297, 305-306, 327-328, 362, 369

## **D**

Décision(s) séquentielle(s) 56, 58, 65, 69, 82, 198-199, 267-268, 318

Densité 80, 92-93, 219, 228-229, 234, 236, 248-249, 255-257, 259, 261-263, 265-266, 342, 364-365, 389-390, 392-393

Dépendance 24, 26, 31, 37-38, 74, 80, 88, 97, 100, 104, 136-137, 166-167, 203-204, 207, 268

Déplacement(s) 24-25, 31, 33, 76, 80-81, 88, 112, 117, 181, 198, 204, 206, 228, 254-257, 260-261, 263, 265, 292, 336, 339, 348-349, 352, 355-357, 364-365, 390, 392-393

Dommage(s) 20, 29, 31, 34, 43, 45, 51-56, 62, 64, 68, 83, 104, 106, 114, 149, 151-153, 155-156, 159-160, 163, 168, 174-175, 178, 182-186, 189-190, 192-193, 198, 200-203, 214, 222, 224, 285, 303-304, 315-322, 329, 338, 344, 361

Droit(s) 13, 29, 54-56, 60-61, 77, 79, 83, 144-147, 151, 155, 159-161, 168-170, 174, 176-177, 186, 213, 264, 332

## **E**

Eau 7, 15, 19, 33-34, 47, 59, 71, 74, 78-79, 90-93, 96, 101, 108, 123, 132, 134-135, 146, 151, 153, 175, 180-181, 193, 219-222, 224-226, 228-234, 236-237, 239, 242, 244, 246, 248, 252-253, 328, 332-333, 337, 363, 368, 371, 374-376, 386, 394

Effet(s) redistributif(s) 36-38, 55, 71, 79, 84, 94, 111, 136, 263

Énergie 4, 19, 27-28, 32-33, 47, 67, 70, 81-82, 88-89, 102, 107, 109-112, 115, 137, 157, 163-165, 177, 230, 237-238, 241-242, 244-246, 248, 254,

261-262, 266-268, 303, 327-328, 330-331, 345, 360-361, 364, 368, 371, 373, 375-377, 379, 385-386, 389, 392

Environnement urbain 80, 228, 240, 243, 260, 370

Externalité(s) 23-24, 29, 38, 42, 103, 147-148, 182

Externe(s) 39, 53, 68-69, 71, 75-77, 102-103, 111, 116, 123, 137, 141, 145, 147-148, 152, 180, 182, 246, 253, 320-321, 336, 365, 389, 394

## **G**

Génération(s) futures 12, 22, 30-31, 37-38, 41, 47, 49-50, 55-56, 67, 71, 83, 105, 120, 132, 135-136, 142, 144, 148, 154-155, 161, 170, 184-188, 190-191, 295, 335, 370

GIEC 13, 26, 51, 65, 96, 103, 121-122, 131-132, 166, 169-170, 185, 188-189, 198, 207, 214, 313-316, 322-323, 380, 386

## **H**

Hédoniste 150, 175-176, 210

Hotelling 30, 63, 145, 192, 204

## **I**

Incertitude(s) 8, 12-13, 20-21, 26-27, 34, 36, 43-45, 49-50, 55-57, 59, 64, 66-68, 108, 120, 126, 129-130, 141, 144, 149, 153, 156-157, 161, 170-171, 176, 180, 190-191, 195-201, 208, 239, 280, 293, 305, 316, 318, 321-322, 388

Indicateur(s) 8-9, 34, 36, 55, 65, 80, 82, 88, 124, 131, 150, 175, 184, 202, 206, 208, 215, 220, 227, 230, 234-237, 239-240, 243, 256, 270-275, 279-287, 296-301, 303, 306-311, 317-318, 321

Infrastructure(s) 4, 11, 13, 15, 19, 21-22, 25, 27-29, 31, 33, 59, 61, 63, 67, 73, 76, 91-94, 98, 100, 103, 107-108, 114-115, 117, 119-120, 125, 135, 143, 154, 167, 176, 180-184, 194, 198, 200-202, 204, 206, 213, 220, 224, 227-229, 249-251, 253-255, 262, 264-266, 328, 331-345, 347, 349, 353-354, 360-361, 368-369, 371, 391-393

Inondable(s) 91, 222, 224, 248, 336, 361

Inondation(s) 8, 33, 104, 121, 132, 134, 222, 224, 313, 334, 344, 361-362

Irréversibilité(s) 25, 43-44, 49, 55, 58, 60, 64, 66, 69, 81, 101, 149, 154-156, 158, 227, 321, 386

## **L**

Logement(s) 4, 47, 112, 133, 150, 172, 175, 209-212, 228-229, 245-248, 251, 260, 262, 347, 352-355, 359-360, 365, 389

## **M**

Modèle(s) 23, 25, 27-28, 40, 44, 49, 54, 65, 67, 74, 103, 108-110, 116, 121, 123, 127-128, 130, 136-137, 144, 146, 163, 165-166, 170, 192, 195, 205-206, 227, 233, 238-240, 243, 264, 267-268, 286-287, 296, 321, 337, 349, 352, 394

## **N**

Nature 7, 11-12, 23, 33, 40, 45, 47, 49-51, 53, 55-56, 60, 62, 67-68, 78, 80, 87, 92, 116, 119-120, 122, 124-125, 129, 134, 144, 150-152, 154-156, 160, 171, 182, 189-190, 202, 221, 223, 249, 252, 273, 295, 311, 313, 341, 348, 369, 371, 374-376, 388, 390

Norme(s) 34, 46-47, 88-90, 92, 96, 101, 115, 123, 128, 133-134, 139, 160, 181, 187, 215, 236, 262, 280, 283, 312, 319, 329, 365, 369

## **O**

Objectif(s) 7-8, 11, 22, 33-34, 45-46, 49-50, 57, 62, 65-66, 70, 73, 75, 78-79, 81-83, 89, 95, 100, 103, 108, 119, 123, 131-133, 167, 177, 195, 208, 210, 227, 237, 242-246, 248, 250, 260-261, 263, 266, 270, 283, 285, 319-322, 327, 342, 354, 362

Optimum 41, 43, 52-53, 69, 139, 151-153, 160, 163, 244, 319

Ozone 3, 65-66, 76, 97, 114, 121, 128, 135-136, 187, 202, 254, 262, 267, 272-276, 279, 282-284, 289-290, 293, 303-304, 310, 329, 334-335, 341, 365, 381, 387

## **P**

Particules 24, 36, 82-84, 88, 97, 114, 121, 124, 135, 187, 202, 254, 256, 270, 272-275, 278-279, 281-283, 288, 290, 293-294, 302-304, 307, 309-312, 329, 335, 365, 381

Point(s) de vue 12, 19-20, 24-25, 29-30, 35, 37, 41, 46, 53, 55, 59, 62, 70, 77-78, 83-84, 87, 102, 113, 116-117, 124, 127, 139, 142-144, 148, 150, 152, 155, 157, 159, 167-169, 171, 180, 182-183, 192, 200, 204-205, 209-210, 213, 223, 227, 243, 245, 248, 250, 252, 254, 256, 264, 277, 281, 290, 300, 304, 310, 318, 320-321, 336, 388



Pollueur-payeur 12, 37-38, 52, 54, 61, 75, 83, 144, 146, 159-160, 169

Pollution 3-4, 8, 11-12, 14, 19, 28-29, 31-32, 35-38, 50, 52-54, 56, 62, 65-66, 71, 73, 76-77, 82-84, 88-89, 93, 95, 101-103, 105-106, 108, 111, 113-114, 117, 123, 128-133, 135-136, 138, 147, 149-153, 156-160, 167, 171, 174, 176-178, 182, 184-185, 187, 189, 194, 200-203, 205, 207, 212-214, 219, 224-225, 239, 246, 248, 256, 262, 266, 268-304, 306-312, 328-329, 333-336, 338, 344, 364-365, 379-380, 387-389

Précaution 12, 21, 44, 51-52, 55-56, 58, 64, 69, 91, 95, 100, 103, 114, 123, 126, 130, 155-157, 160, 190, 196-197, 200, 203, 268, 284, 298, 301, 308-309, 311, 319-323, 387

Préférence(s) 12, 20, 29, 35, 39-42, 46-48, 54-56, 61, 63-64, 66-67, 118-119, 139-144, 146, 149-150, 153-158, 161-162, 168-169, 171, 177, 183, 187-188, 190, 192, 194, 197, 201-202, 209, 211-213, 247, 295, 304-305, 388

Prévention 8, 12, 24, 27, 51-54, 58, 78, 89, 91, 95-96, 100, 103, 106-107, 113, 117, 133, 148, 152-153, 158-159, 164, 170, 189-190, 198, 200-201, 203, 222, 238-239, 241, 290, 311-313, 320-321, 362-363, 373

## **R**

Renouvelable(s) 13, 30, 44, 63, 115, 145, 191-192, 241, 253

Réparation(s) 53-54, 62, 83, 114, 150, 153, 155, 160, 174, 183, 202, 260, 337, 342

Risque(s) 8, 12, 21, 27, 32-33, 35-36, 39, 43, 45, 48-51, 55-57, 59, 61-62, 64-66, 68-70, 75-76, 79-80, 82, 84, 89-91, 95-97, 100-102, 104, 106-107, 113-114, 117, 120-122, 125-127, 132, 138, 148, 153-161, 164, 166-167, 169-170, 172, 177-180, 182, 189, 195-197, 199, 203, 207-215, 222-223, 238-242, 244, 248, 254, 266-269, 271, 273, 275, 277-278, 280, 282, 284-286, 290-293, 295, 297, 307-311, 313, 317-322, 332-333, 335, 344, 361-362, 373, 375, 380-381, 385-386

Rythme(s) 25, 34, 57, 63, 69, 95, 98, 122, 129-130, 157-158, 172, 187, 193-194, 204, 265, 323, 341, 351

## **S**

Scénario(s) 8, 13, 23-24, 32, 36, 44, 46, 59-61, 63, 65, 67, 69, 74-75, 80-81, 83-84, 102-103, 108-110, 115, 158, 180-182, 199, 207, 212, 251, 253, 261-262, 268, 310, 312, 316, 322

Scientifique(s) 13, 15, 24, 26-27, 31, 49, 51-52, 57, 60-61, 65-66, 93, 103, 106, 108-109, 120-123, 125-131, 154-157, 165-166, 171, 189, 195, 198, 201, 214, 219, 223, 267, 269, 278, 282-283, 311, 313-316, 319-320, 371, 379, 387

Seuil(s) 13, 23, 32, 39, 43, 53-54, 65-66, 68, 74, 93, 99, 112, 130-131, 133-134, 146, 151-152, 158, 173, 176, 206, 227, 263, 265-266, 273, 290, 299, 301, 319-320, 338, 341, 356

Substituable(s) 127, 143, 193, 203

Surprise(s) 44-45, 55, 64, 68, 70, 103-104, 112-113, 121-122, 128, 132, 195-197, 253, 313, 318, 320, 322

## **T**

Taux d'actualisation 30-31, 44, 59, 61, 63, 113, 118, 145, 179-180, 185-194, 200, 204, 209, 213, 227, 301, 316, 322, 385

## **U**

Univers controversé 50, 64, 69, 81, 153

Univers stabilisé 49, 60, 384

Urbanisation 8, 14, 25, 32, 47, 79, 100, 136, 219, 228, 235, 245-251, 261-265, 335, 339, 342, 353-356, 361-362, 364-365, 367-368, 390

## **V**

Valeur du mort 35, 59, 62, 83, 113-114, 167, 207, 213-214, 298-299, 301, 303-306

Valeur(s) du temps 29, 46, 59, 183, 204-206, 255, 264, 331, 342, 347-349, 355, 392

## **Z**

Zone(s) humide(s) 14-15, 59, 134-135, 137-138, 219-226, 337, 362, 394

---

## Table des matières

---

<b>Lettre de mission</b>	<b>3</b>
<b>Sommaire</b>	<b>5</b>
<b>Préface</b>	<b>7</b>
<b>Avant-propos</b>	<b>11</b>
<b>Remerciements</b>	<b>15</b>
<b>Première partie</b>	
<b>Synthèse</b>	<b>17</b>
Les coûts occupent une place croissante dans les débats	<b>19</b>
On observe des antagonismes récurrents économie-environnement (études de cas)	<b>21</b>
La réalisation d'une infrastructure routière	<b>21</b>
– Détermination du schéma directeur autoroutier	<b>22</b>
– Instructions du ministère des Transports pour la prise en compte de l'environnement dans l'étude d'un projet de liaison routière	<b>27</b>
– Étude d'un projet de liaison autoroutière : un effort de rationalisation et de prise en compte de l'environnement pénalisé par une application routinière	<b>28</b>
L'extension urbaine	<b>32</b>
La directive de 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires	<b>33</b>
Les effets de la pollution atmosphérique sur la santé	<b>35</b>
– Les évaluations de coûts reposent généralement sur des conventions peu explicites mais déterminantes	<b>35</b>
– Les effets redistributifs des décisions prises pour réduire les coûts de santé sont insuffisamment appréciés	<b>36</b>
L'économie n'est pas « l'économisme »	<b>39</b>
Des acceptions multiples du terme économie	<b>39</b>
Le noyau du corpus théorique économique	<b>40</b>

– Le cœur : fonder les choix publics sur les préférences individuelles	<b>40</b>
– Le marché n'est qu'un moyen d'articuler les préférences individuelles	<b>41</b>
– L'équilibre concurrentiel	<b>41</b>
– L'unité de mesure de l'évaluation économique	<b>42</b>
Des visions et des pratiques pas forcément conformes à la théorie et à la discipline économiques	<b>42</b>
– Le marché est un mode de coordination privilégié, mais pas exclusif, entre les agents économiques	<b>42</b>
– Un système « parfaitement flexible » ne tend pas nécessairement vers un équilibre	<b>43</b>
– L'analyse coûts-avantages privilégie un certain critère de décision parmi de nombreux critères envisageable	<b>43</b>
– La théorie n'impose pas de faire des calculs à la marge autour d'un scénario de référence	<b>44</b>
– L'actualisation ne doit pas être pratiquée comme on applique une « recette de cuisine »	<b>44</b>
– Les enjeux redistributifs sont masqués dans certains bilans qui pourraient être désagrégés	<b>45</b>
– L'incertain ne peut être réduit à un risque probabilisable	<b>45</b>
– Le coût d'une action dépend du contexte	<b>45</b>
– L'évaluation ne se réduit pas à fournir un chiffre	<b>46</b>
L'évaluation économique comme mode de coordination	<b>47</b>
– Comment s'effectue la coordination d'intérêts divergents pour aboutir à la décision ?	<b>47</b>
– L'évaluation économique comme procédure sociale	<b>48</b>
La nature des enjeux environnementaux modifie la perspective de l'évaluation économique	<b>49</b>
Principes environnementaux	<b>50</b>
– Le développement durable	<b>50</b>
– Le principe de prévention et le principe de précaution	<b>51</b>
– Le principe pollueur-payeur	<b>52</b>
Prendre en compte préventivement les contraintes de reproduction des milieux	<b>52</b>
Préciser les droits de propriété sur les actifs collectifs	<b>54</b>
Élargir les intérêts en jeu (dimension éthique)	<b>55</b>
Insérer la coordination économique dans d'autres procédures de coordination collective en situation d'incertitude ou en cas de risques de dommages graves et irréversibles	<b>55</b>
Passer de l'analyse coûts-avantages à la "décision séquentielle"	<b>56</b>
<b>Préconisations générales</b>	<b>59</b>
Veiller à ce que l'évaluation économique joue effectivement son rôle de coordination, par le partage des conventions	<b>59</b>
La pratique de l'évaluation économique doit être renforcée et affinée, notamment en univers stabilisés	<b>60</b>
Appliquer l'analyse coûts-avantages dans des conditions d'univers stabilisés	<b>60</b>

Prêter attention au choix des critères dans une analyse coûts-efficacité	60
Établir des scénarios contrastés	60
Évaluer l'effet du cadre réglementaire, fiscal et tarifaire sur les scénarios	61
Expliciter la distribution des droits de propriété sur l'environnement	61
Expliciter les asymétries d'aversion aux risques	61
Pratiquer plusieurs évaluations de coûts (sous différentes hypothèses)	62
–Évaluer des coûts selon différents points de vue	62
–Évaluer des coûts de dommages, des coûts d'évitement, des coûts de réparation	62
Choisir une fourchette de taux d'actualisation	63
Valoriser spécifiquement les actifs environnementaux non renouvelables	63
Effectuer des analyses de sensibilité du bilan actualisé	63
Des procédures de coordination <i>ad hoc</i> doivent être élaborées pour la gestion des risques collectifs	64
Mettre en place des forums contradictoires et durables sur de grandes questions environnementales	64
Fixer, pour certains risques environnementaux, des niveaux-seuils ne dépendant pas exclusivement des évaluations économiques	65
En situation d'incertitude, l'évaluation économique doit mettre l'accent sur la gestion du temps de l'action et des risques	66
Élargir le spectre des scénarios, compte tenu du contexte des contraintes environnementales	67
Évaluer des coûts adaptés aux décisions en univers controversés	68
–Évaluer des « coûts d'évitement collectifs » et des « risques externes »	68
–Évaluer des valeurs informationnelles et de temps gagné	68
–Évaluer les coûts des irréversibilités induites par une décision	69
Mettre l'accent sur la gestion du temps de l'action (décision séquentielle)	69
–Privilégier les mesures « sans regrets »	70
–Porter l'attention sur les domaines les plus inertes	70
Les effets redistributifs des décisions doivent être systématiquement évalués	71
<b>Préconisations sur les cas étudiés</b>	<b>73</b>
Infrastructures routières	73
Élaborer des procédures de coordination permettant le partage des conventions et des épreuves d'évaluation des schémas directeurs de transport par l'ensemble des acteurs et négociateurs concernés	74
Pratiquer une évaluation économique des schémas directeurs de transport mettant l'accent sur la gestion du temps et des risques de crises	75

– Articuler scénarios de trafic et contraintes environnementales à long terme	<b>75</b>
– Analyser plus largement les déterminants des scénarios de trafic	<b>75</b>
– Évaluer les gains à repousser des décisions aux conséquences potentiellement graves et coûteuses	<b>76</b>
– Évaluer les coûts de crises consécutives à une poursuite des tendances	<b>76</b>
Réserver l'analyse coûts-avantages aux variantes locales	<b>76</b>
– Élargir les variantes	<b>76</b>
– Ne pas oublier d'effets externes majeurs dans l'évaluation	<b>76</b>
– Évaluer les coûts externes environnementaux par différentes méthodes	<b>77</b>
– Assurer la cohérence des évaluations	<b>77</b>
<b>Épuration des eaux résiduaires urbaines</b>	<b>77</b>
Établir une analyse économique <i>a posteriori</i> des équipements réalisés	<b>77</b>
S'accorder sur les hypothèses des évaluations ultérieures	<b>78</b>
Retenir un objectif stratégique ne dispense pas d'en faire l'évaluation économique	<b>78</b>
Considérer les modes d'application des décisions comme des conditions de leur efficacité et les inclure dans les évaluations	<b>79</b>
<b>Extension urbaine</b>	<b>79</b>
Systématiser l'usage de l'évaluation économique, notamment dans le cadre des Agendas 21 locaux	<b>79</b>
Collecter les données et indicateurs nécessaires aux évaluations	<b>80</b>
Étendre le périmètre d'analyse et les effets étudiés dans l'évaluation	<b>81</b>
Enrichir les scénarios étudiés et privilégier l'approche séquentielle	<b>81</b>
<b>Pollution atmosphérique et santé</b>	<b>82</b>
Comblent les faiblesses du dispositif national de suivi	<b>82</b>
Expliciter les conventions de l'évaluation	<b>83</b>
Ne pas emprisonner les scénarios avec des populations moyennes et du court terme	<b>83</b>
Examiner systématiquement les effets redistributifs des décisions possibles	<b>84</b>
<b>Deuxième partie</b>	
<b>L'environnement dans les décisions : place de l'évaluation économique</b>	<b>85</b>
Ces coûts cachés des décisions publiques	<b>88</b>
Coûts d'une approche partielle de la décision	<b>88</b>
– L'approche sectorielle des nuisances et les effets de transfert	<b>88</b>
– Le manque de cohérence des systèmes de traitement	<b>90</b>
– Le manque de cohérence des actions publiques : coûts institutionnels de décrédibilisation, coûts conjoints de dégradation et de prévention	<b>91</b>
– La définition de normes trop sévères au regard des bilans coûts/avantages	<b>92</b>

– Les coûts et effets redistributifs d'un surdimensionnement des décisions	<b>94</b>
– Les financements d'emploi biaisé	<b>94</b>
Coûts d'un échéancier inadapté de la décision	<b>94</b>
– Coûts d'interventions publiques imprévisibles : risques de déstabilisation	<b>95</b>
– Coûts du report d'interventions publiques	<b>96</b>
– Coûts d'interventions publiques tardives : risques de bifurcations	<b>100</b>
Coûts d'irréversibilités d'une action : les vrais coûts des crises environnementales	<b>101</b>
– Coûts de déstabilisation de filières : l'exemple des filières alimentaires	<b>101</b>
– Les coûts d'un accident nucléaire dépassent ceux de ses impacts sanitaires et environnementaux	<b>102</b>
– Les coûts de la sous-tarification du transport dépassent le manque à gagner fiscal et s'étendent à des coûts de fragilisation du système de transport	<b>103</b>
– Les coûts du changement climatique sont aussi ceux d'impacts surprises déstabilisants	<b>104</b>
Des raisonnements asymétriques qui biaisent l'évaluation d'une décision	<b>105</b>
Surestimation du court terme et sous-estimation du long terme	<b>105</b>
– Les avantages pour aujourd'hui, les coûts pour demain	<b>105</b>
– Prévention insuffisante, suivi inexistant	<b>105</b>
– Défaut de veille	<b>106</b>
– Prolongement des tendances et défaut d'anticipation	<b>106</b>
– Réparation immédiate des dommages plutôt que prévention sur le long terme	<b>106</b>
Sur et sous-estimation des emplois créés	<b>107</b>
Sur et sous-estimation des "preuves"	<b>108</b>
Sur et sous-estimation du rôle des modèles	<b>108</b>
– Modèles de trafic et modèles de climat	<b>108</b>
– Le rôle des modèles « ascendants » et « descendants » dans l'évaluation des coûts d'abattement de gaz à effet de serre	<b>109</b>
Sur et sous-investissement dans l'effort de recherche	<b>110</b>
Sur et sous-information des populations en jeu	<b>111</b>
Sur et sous-considération des populations en jeu et des effets redistributifs	<b>111</b>
Sur et sous-estimation des "surprises"	<b>112</b>
Sur et sous-usage de la prévention	<b>113</b>
Sur et sous-usage de la précaution	<b>114</b>
Sur et sous-usage de la valorisation des risques	<b>114</b>
Sur et sous-justification de la norme	<b>115</b>
Sur et sous-estimation de la fragilité	<b>115</b>
L'évaluation économique : un instrument efficace de médiation dans les différends	<b>116</b>
L'évaluation économique permet la comparaison en élargissant le contexte	<b>116</b>
L'évaluation économique met en scène la notion de choix	<b>117</b>

L'évaluation économique propose des épreuves d'évaluation communes aux différents acteurs	<b>118</b>
L'évaluation économique permet transactions et interactions	<b>119</b>
Des enjeux environnementaux d'appréciation souvent délicate	<b>120</b>
Des « surprises » graves peuvent se produire	<b>121</b>
– La découverte du « trou d'ozone » antarctique	<b>121</b>
– Les surprises climatiques	<b>121</b>
Les instruments d'analyse des phénomènes liés à l'environnement sont limités	<b>122</b>
– Veille scientifique et collecte de données	<b>122</b>
– Expérimentation	<b>123</b>
– Mesure	<b>124</b>
– Appareil statistique	<b>125</b>
Les acteurs ont des perceptions contrastées des enjeux	<b>129</b>
– Assumer ou manipuler l'indétermination scientifique ?	<b>129</b>
– Enjeux minimisés ou perçus comme négligeables	<b>132</b>
– Visions segmentées des effets, des moyens, des coûts	<b>135</b>
– Périmètre de consolidation : quelles limites prend-on pour les effets étudiés ?	<b>136</b>
– Distinction entre les risques	<b>138</b>
L'évaluation économique et l'intégration d'enjeux environnementaux : rapprochements et décalages	<b>138</b>
Des évaluations marquées par la théorie	<b>139</b>
– Une conception du bien commun fondée sur les préférences individuelles	<b>139</b>
– Des préférences individuelles données et hiérarchiquement ordonnées	<b>140</b>
– Une hypothèse de compensation entre avantages et coûts	<b>143</b>
– Une dualité biens/agents où les premiers sont des consommables pour les seconds	<b>143</b>
– Une répartition implicite des droits aux ressources au profit de la génération présente	<b>144</b>
– Un mode de coordination privilégié, le marché, ne favorisant pas un large échange d'information	<b>144</b>
Des sciences économiques attentives aux questions de l'environnement	<b>145</b>
– Un effort d'intégration par le biais de la question de la consommation optimale des ressources naturelles : la règle de Hotelling	<b>145</b>
– Un effort d'intégration par le biais de la clarification du rôle des droits de propriété	<b>145</b>
– Un effort d'intégration par le biais des effets externes et des méthodes d'évaluation de « valeurs de l'environnement »	<b>147</b>
– Un effort d'intégration par le biais de la détermination d'un « optimum économique de pollution »	<b>151</b>
Un mode d'évaluation pouvant être inadapté à apprécier les contraintes de reproduction des milieux	<b>151</b>
– Un « optimum économique de pollution » qui excède la « capacité écologique d'assimilation d'un milieu »	<b>152</b>
– Une évaluation d'un « optimum de pollution » qui peut saper progressivement la « capacité d'assimilation d'un milieu »	<b>152</b>



– Une évaluation par le biais de coûts de dommages sans rapport avec des coûts de réparation	<b>153</b>
Un mode d'évaluation déficient en univers controversé et en situation d'incertitude	<b>153</b>
– Ce qu'on appelle « univers controversés »	<b>153</b>
– Une coordination insuffisante et des évaluations instables en situation d'incertitude, de doute, de crise	<b>156</b>
Les principes des politiques environnementales à la fois complémentaires et contradictoires de ce mode d'évaluation	<b>159</b>
– Le principe de prévention	<b>159</b>
– Le principe pollueur-payeur	<b>159</b>
– Le principe de précaution et le développement durable	<b>160</b>
Questions aux pratiques d'évaluation économique des enjeux environnementaux pour la décision	<b>161</b>
Les conventions sur lesquelles reposent les évaluations sont-elles explicites ou partagées ?	<b>161</b>
– Les conventions de calcul	<b>162</b>
– Le partage des règles techniques de calcul	<b>163</b>
– Le contexte	<b>166</b>
– La distribution des droits de propriété : consentement à payer ou à recevoir ?	<b>168</b>
– Les évaluations convergent si les conventions de calcul sont partagées	<b>170</b>
Questions aux méthodes de monétarisation	<b>171</b>
– Questions aux méthodes indirectes d'évaluation	<b>171</b>
– Questions à l'analyse hédoniste (marchés de substitution)	<b>175</b>
– Questions aux évaluations contingentes	<b>176</b>
Questions à l'analyse coûts-avantages	<b>178</b>
– Démarche de l'analyse coûts-avantages	<b>178</b>
– La situation de référence est-elle bien définie et partagée par tous ?	<b>180</b>
– L'éventail des projets possibles est-il assez ouvert ?	<b>181</b>
– L'évaluation n'est-elle pas contingente à un scénario ? Et s'il y a plusieurs scénarios ?	<b>181</b>
– Peut-on agréger des coûts de nature différente ?	<b>182</b>
– Peut-on agréger des effets affectant des agents différents ?	<b>183</b>
– Quel taux d'actualisation choisir ?	<b>185</b>
– Ne faut-il pas valoriser spécifiquement les actifs environnementaux non renouvelables, au moins au taux d'actualisation ?	<b>191</b>
– Quel horizon temporel pour l'analyse ?	<b>193</b>
– Peut-on prendre en compte les surprises et les crises comme on le fait avec les risques probabilisables ?	<b>195</b>
Comment déterminer le domaine d'observation ?	<b>199</b>
Qui pratique les évaluations économiques ? Qui évalue les risques ? Qui collecte et dispose des données nécessaires aux évaluations ?	<b>199</b>
Comment sont décidées les conventions du calcul économique public ?	<b>200</b>
– Pourquoi gommer les valeurs extrêmes des coûts des nuisances routières ?	<b>200</b>
– La dépendance envers une ressource rare n'est-elle pas un coût associé à l'usage des carburants fossiles ?	<b>203</b>

- Les effets de la congestion routière sur les autres modes de déplacement n'ont-ils pas un coût ?	<b>204</b>
- Que représente (et comment est fixée) la « valeur du temps » ?	<b>204</b>
- Que représente la « valeur du mort » ?	<b>207</b>

<b>Troisième partie</b>	
<b>Études de cas : l'évaluation économique d'enjeux environnementaux en situation</b>	<b>217</b>
Valeurs des zones humides	<b>220</b>
À quoi servent les zones humides ?	<b>220</b>
- Les fonctions écologiques	<b>220</b>
- Les valeurs ou services rendus	<b>222</b>
- Les valeurs éducatives, scientifiques et patrimoniales	<b>223</b>
- Des fonctions écologiques et des valeurs économiques intimement liées	<b>223</b>
Les valeurs économiques des zones humides	<b>224</b>
- La valeur marchande des services rendus par les zones humides	<b>224</b>
- La valeur marchande des productions issues des zones humides	<b>225</b>
- La richesse écologique des zones humides au service du développement économique local	<b>226</b>
Peut-on monétariser les écosystèmes ?	<b>226</b>
L'extension urbaine	<b>227</b>
Comptes de l'environnement urbain dans quatre villes	<b>228</b>
- Les progrès de la connaissance sur les services urbains et la gestion locale	<b>228</b>
- Délimitation du champ de l'environnement communal	<b>229</b>
- Flux, coûts, tarification	<b>230</b>
Évolution et répartition des dépenses environnementales	<b>236</b>
- La difficulté d'accès à l'information est une réalité générale, qui remet en cause l'hypothèse d'une mesure fiable et simple	<b>237</b>
- La notion de dépense se heurte en matière d'environnement à des obstacles non résolus	<b>238</b>
- La prévention et les économies d'énergie, mais aussi l'optimisation dans son ensemble, sont très sous-représentées	<b>238</b>
- Il existe une tension entre un modèle d'action industriel/réparateur et un modèle plutôt protecteur et peut-être préventif	<b>239</b>
- Le cadre de vie et l'eau potable sont les postes les plus lourds	<b>239</b>
- La dépense reflète d'autant moins le coût des politiques environnementales que le processus d'industrialisation se développe	<b>239</b>
- Qui doit financer la prise de risque ?	<b>239</b>
Le rôle de la coordination sociale dans la régulation des coûts	<b>240</b>
- L'utilisateur/citoyen	<b>241</b>
- L'évolution technologique	<b>241</b>
- Territoires et réseaux	<b>242</b>

– Chartes de l'environnement urbain et formation des coûts collectifs	<b>243</b>
Urbanisme et habitat	<b>245</b>
– Le logement	<b>245</b>
– L'urbanisation	<b>247</b>
Urbanisme et transports	<b>254</b>
– Poids et tendances des transports urbains	<b>254</b>
– Coûts des transports et formes urbaines	<b>254</b>
– Des méthodes d'évaluation à actualiser	<b>264</b>
Coûts des effets sur la santé de la pollution atmosphérique	<b>268</b>
Trois sources d'information	<b>269</b>
– La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique (Société française de santé publique, 1996)	<b>269</b>
– Erpurs, évaluation des risques de la pollution urbaine pour la santé (1994)	<b>269</b>
– Évaluation monétaire des effets à court terme de la pollution atmosphérique sur la santé. Application à l'Île-de-France (GREQAM, octobre 1996)	<b>270</b>
Des émissions aux impacts sanitaires : des chaînes causales complexes et une surveillance insuffisante	<b>271</b>
– Polluants et indicateurs de pollution : deux notions à distinguer	<b>271</b>
– Les principaux indicateurs de la pollution	<b>273</b>
– Des liens complexes entre les émissions et les concentrations	<b>275</b>
– Généralités sur les études sur la nocivité des polluants	<b>276</b>
– Impacts à court terme avérés de la pollution de l'air sur la santé	<b>279</b>
– Estimation du risque sanitaire : l'exemple d'Erpurs	<b>282</b>
– Des lacunes dans la surveillance sanitaire de la population en raison d'une anticipation insuffisante	<b>287</b>
La pratique des évaluations de coûts des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique	<b>294</b>
– Des évaluations reposant sur les impacts avérés de la pollution de l'air d'origine automobile sur la santé	<b>294</b>
– Généralités sur les méthodes employées dans les études économiques	<b>294</b>
– Une étude exemplaire du Greqam sur l'évaluation économique de la pollution atmosphérique en Île-de-France	<b>296</b>
– Comparaisons avec d'autres évaluations économiques	<b>302</b>
– Commentaires	<b>304</b>
Discussion sur d'autres estimations envisageables	<b>307</b>
– Prendre en compte les risques importants de long terme reposant sur des hypothèses solides	<b>308</b>
– Estimer des coûts de crise provenant d'inquiétudes sanitaires sur les émissions de particules diesel	<b>310</b>
– Effets de synergie, valeurs d'altruisme, pertes de qualité de vie	<b>312</b>
La prévention des changements climatiques	<b>313</b>
Un témoignage sur le groupe III du GIEC vu de l'intérieur... ou la nature de l'expertise économique	<b>313</b>
Une contribution économique construite <i>a priori</i> autour de l'analyse coûts-bénéfices	<b>315</b>
Coûts des dommages : l'impasse	<b>316</b>

– L'importance des conventions de calcul et l'instabilité des évaluations	<b>316</b>
– Divergences sur les incidences non liées au marché	<b>317</b>
– Absence de consensus sur la valeur de la vie humaine	<b>317</b>
– Constat sur la grande variabilité des situations face aux dommages	<b>317</b>
– Pas d'évaluations des coûts d'éventuelles surprises climatiques	<b>318</b>
– Des effets non monétarisables	<b>318</b>
L'impraticable analyse traditionnelle coûts-bénéfices	<b>318</b>
Vers la décision séquentielle	<b>318</b>
Un cas type où la norme ne peut être édictée qu'en dehors de la théorie économique	<b>319</b>
Une issue par le biais de « coûts d'évitement collectif » et d'évaluation de « risques externes »	<b>320</b>
Exemples d'évaluations de « risques externes »	<b>321</b>
– Une estimation du « prix de la précaution »	<b>321</b>
– Une estimation du rythme d'évolution du signal-prix	<b>323</b>

## **Annexes** **325**

### Annexe 1

#### **Instructions du ministère des Transports pour la prise en compte de l'environnement dans l'étude d'un projet de liaison routière** **327**

Instruction relative aux méthodes d'évaluation des investissements routiers en rase campagne (direction des routes/SETRA, mars 1986) **327**

Type d'évaluation **327**

Prise en compte de l'environnement **327**

Instruction cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructure de transport (secrétariat d'État aux transports, 3 octobre 1995) **328**

Type d'évaluation **328**

Prise en compte de l'environnement **328**

– Bruit **328**

– Sécurité et accidents **329**

– Pollution locale et régionale **329**

– Effet de serre **329**

– Effets de coupure et autres nuisances **330**

– Autres **330**

### Annexe 2

#### **Évaluation de projet d'infrastructure routière : liste-guide d'impacts** **331**

Eau : ressource et usages **332**

Impacts négatifs **332**

– Régime des cours d'eau **332**

– Nappes phréatiques **332**

– Ruissellement **333**

Impacts positifs	<b>334</b>
Qualité de l'air, émissions atmosphériques, émissions lumineuses	<b>334</b>
Impacts négatifs	<b>334</b>
– Micro-climats	<b>334</b>
– Pollution atmosphérique	<b>334</b>
Impacts positifs	<b>335</b>
Sols : qualité et déchets	<b>335</b>
Impacts négatifs	<b>335</b>
– Qualité des sols	<b>335</b>
– Déchets (dépôts de terre, de matériaux)	<b>336</b>
Impacts positifs	<b>336</b>
Espaces naturels et écosystèmes	<b>336</b>
Impacts négatifs	<b>336</b>
– Faune	<b>336</b>
– Flore	<b>337</b>
– Écosystèmes	<b>337</b>
– Zones humides	<b>337</b>
– Forêts	<b>337</b>
Impacts positifs	<b>338</b>
Territoires	<b>338</b>
Impacts négatifs	<b>338</b>
– Occupation du territoire	<b>338</b>
– Les effets de barrière et de coupure	<b>339</b>
– Paysages	<b>339</b>
Impacts positifs	<b>340</b>
– Occupation du territoire	<b>340</b>
– Paysages	<b>340</b>
Socio-économie	<b>340</b>
Impacts négatifs	<b>340</b>
– Services	<b>340</b>
– Transports	<b>340</b>
– Tourisme	<b>341</b>
– Industries	<b>341</b>
– Agriculture (et forêts)	<b>341</b>
– Habitat, population	<b>342</b>
– Pertes financières et dépenses locales	<b>342</b>
Impacts positifs	<b>342</b>
– Gains de temps	<b>342</b>
– Services et entreprises	<b>342</b>
– Transports	<b>343</b>
– Tourisme	<b>343</b>
– Ressources locales, équipements et réseaux	<b>343</b>
Patrimoine bâti	<b>343</b>
Impacts négatifs	<b>343</b>
– Patrimoine bâti rural, urbain	<b>343</b>
– Patrimoine archéologique	<b>344</b>
Impacts positifs	<b>344</b>
Risques et santé	<b>344</b>

Impacts négatifs	<b>344</b>
– Traumatismes	<b>344</b>
– Risques naturels	<b>344</b>
– Santé : bruit, polluants, odeurs	<b>344</b>
Impacts positifs	<b>345</b>
Énergie et effet de serre	<b>345</b>
Impacts négatifs	<b>345</b>
– Ressources fossiles et vulnérabilité	<b>345</b>
– Accroissement de l'effet de serre	<b>345</b>
Impacts positifs	<b>345</b>
 Annexe 3	
<b>Compléments sur la « valeur du temps » et sur la tarification des infrastructures routières</b>	<b>347</b>
Le consentement des ménages à payer pour gagner du temps (temps personnel)	<b>347</b>
Le consentement des entreprises à payer pour gagner du temps (temps facturable)	<b>348</b>
Remarques complémentaires	<b>348</b>
– Les captifs de l'horaire	<b>349</b>
– Le temps de transport n'est pas toujours du temps perdu	<b>349</b>
– Conséquences pour les ouvrages à péage	<b>349</b>
 Annexe 4	
<b>Facteurs de l'étalement urbain</b>	<b>351</b>
Les facteurs permissifs de l'étalement : l'existence d'une offre	<b>351</b>
– Offre de communications	<b>351</b>
– Offre automobile	<b>351</b>
– Effet de la croissance	<b>352</b>
– Production immobilière de masse	<b>352</b>
Motivations à l'origine de l'étalement	<b>352</b>
L'ampleur du mouvement : une demande stimulée par des incitations financières	<b>353</b>
– Le rôle de l'État	<b>353</b>
– Des choix individuels fortement suscités, mais peu éclairés et informés	<b>355</b>
– Le rôle des communes	<b>356</b>
– Effets de seuils de population	<b>356</b>
– Des choix de localisation d'entreprises	<b>356</b>
 Annexe 5	
<b>Évaluation de projet bâti urbain : liste-guide d'impacts</b>	<b>359</b>
Impacts des modes de construction (bâti, réseaux)	<b>359</b>
– Conduite du chantier	<b>359</b>
– Activités économiques et emplois induits	<b>359</b>
Impacts directs des logements	<b>360</b>
– Consommation d'énergie	<b>360</b>
– Émissions atmosphériques	<b>361</b>
Impacts des modes d'occupation du sol	<b>361</b>
– Risques naturels	<b>361</b>
– Risques technologiques	<b>362</b>

– Espace et territoires	<b>362</b>
– Faune et flore	<b>362</b>
– Micro-climats	<b>363</b>
– Réseaux d'eau : consommations et rejets	<b>363</b>
– Eaux de ruissellement	<b>363</b>
– Gestion des déchets	<b>364</b>
– Pollution des sols	<b>364</b>
Impacts de l'organisation des déplacements	<b>364</b>
– Budgets énergie-pollution	<b>364</b>
– Entretien de voirie	<b>364</b>
– Budget des ménages	<b>364</b>
Qualité de vie	<b>365</b>
– Bruits	<b>365</b>
– Air	<b>365</b>
– Espace intérieur	<b>365</b>
– Temps et mode de déplacement	<b>365</b>
– Aménités urbaines	<b>366</b>
 Annexe 6	
<b>L'économie informelle dans les coûts des projets urbains</b>	<b>367</b>
Flux financiers dans la ville	<b>367</b>
Sources et ressources	<b>368</b>
Le rez de chaussée et l'autonomie sociale	<b>369</b>
Modifier l'offre pour maîtriser les coûts	<b>370</b>
 Annexe 6	
<b>Groupes de travail Comité de pilotage</b>	<b>373</b>
Groupes de travail	<b>373</b>
Économie	<b>373</b>
Santé	<b>374</b>
Infrastructures	<b>374</b>
Bâti	<b>375</b>
Eau	<b>376</b>
Comité de pilotage de la Cellule prospective et stratégie	<b>377</b>
 Annexe 8	
<b>Glossaire</b>	<b>379</b>
Abréviations	<b>379</b>
Unités	<b>381</b>
 Annexe 9	
<b>Bibliographie</b>	<b>383</b>
 Annexe 10	
<b>Index</b>	<b>395</b>