

Laboratoire d'Economie des Transports

**PREDIT 4/ Groupe 06**

**Recherche : Enjeux spatiaux, économiques et politiques des scénarios  
de mobilité durable à l'horizon 2050**

**Convention DRI N° 09 MT CV 19**

**Convention ADEME N°**

**Rapport de la tâche 3 :  
Définition des contenus des politiques publiques :  
des « policy packages » aux « policy paths »**

Mai 2013

Yves CROZET  
Hector LOPEZ-RUIZ

## Table des matières

Introduction .....	3
1) Les scénarios de mobilité durable : une tyrannie climatique ? .....	6
1.1) De la demande de mobilité aux émissions de CO2 (« Pégase », le scénario tendanciel).....	7
Encadré n°1 : Scénario tendanciel, le rôle clé du progrès technique et de l'évolution du parc automobile .....	11
2.2) Le modèle TILT : à la recherche des fondements des comportements de mobilité .....	12
2) Contraintes collectives et transformations des préférences individuelles.	15
Encadré 2 : tendances et des contre-tendances .....	16
2.1) « Chronos » et « Hestia » : des réponses individuelles contrastées aux contraintes climatiques.....	18
2.2) Longues distances et économie de variété, la fin d'un monde ? .....	21
Encadré 3: Peak oil, peak car, peak travel... ..	24
3) Les coûts collectifs et individuels des changements de comportements de mobilité .....	27
3.1) Le coût collectif du report modal vers les transports collectifs .....	29
3.2) Comment les comportements s'adaptent-ils à la hausse des coûts de la mobilité? .....	30
Conclusion .....	33
Références.....	34

## Introduction

La réduction des émissions de gaz à effet de serre est maintenant un thème solidement installé au sommet de l'agenda des politiques publiques. Au point qu'il est de plus en plus souvent présenté comme une des contraintes majeures auxquelles seront soumises les activités de production et de consommation, notamment le secteur des transports. Fort contributeur aux émissions de gaz à effet de serre, ce secteur se caractérise par le caractère très décentralisé des émissions. Ces dernières résultent de décisions de mobilité prises par des milliards d'individus. C'est donc une multitude de comportements individuels qui provoquent le problème collectif. Si, pour résoudre ce dernier, on contraint les choix en matière de mobilité, fut-ce de manière douce, il faut s'interroger sur les fondements économiques des comportements individuels.

C'est ce qui a été fait en Grande-Bretagne dans le cadre d'un projet de recherche porté par l'équipe dirigée par David Banister (2006). Ce projet dénommé VIBAT (*Visioning and Backcasting of UK Transport Policy*) suscitait notre intérêt dans la mesure où il proposait un inventaire assez exhaustif de toutes les mesures que pourraient adopter les politiques publiques pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES). Ces mesures étaient regroupées en « paquets » (*policy packages*) ou sous-ensembles dont les effets potentiels étaient évalués. Retrouvant les résultats que nous avons présentés dans l'étude ENERDATA-LET (2008), les deux premiers « paquets », essentiellement fondés sur des changements technologiques, permettaient à eux seuls d'atteindre la moitié de la cible fixée en Grande-Bretagne, soit, d'ici à l'horizon 2030, une réduction de 60% des émissions de GES. Les autres « paquets » mettaient en œuvre des mesures réglementaires, organisationnelles ou économiques, dont les effets étaient, pour chacune d'entre elles, beaucoup plus limités. Mais en les combinant, ces mesures aboutissaient également à des résultats significatifs. H.L. Ruiz (2009) a repris ce raisonnement dans sa thèse en associant aux scénarios de nos précédentes recherches (Pégase, Chronos, Hestia) des ensembles cohérents de mesures destinées à réduire, avec plus ou moins de succès selon les cas, les émissions de GES.

Sur la base de ces travaux, nous disposons donc d'une première tentative de mise en cohérence des politiques publiques. D'où l'idée, également proposée dans le cadre de VIBAT, de passer des « *policy packages* » aux « *policy paths* ». Si nous utilisons la langue française, ce qui est plus correct dans un rapport financé par des crédits publics français, nous dirons que

les sous-ensembles regroupant les différentes mesures de politiques publiques ne doivent pas être considérés comme des modules indépendants les uns des autres. Si, en termes d'évaluation des effets potentiels, ils doivent être étudiés pour eux-mêmes, ils ne prennent tout leur sens qu'en les intégrant dans un cheminement, dans un sentier que les politiques publiques emprunteraient pour que s'adaptent progressivement, pas à pas, les comportements de mobilité.

L'objectif de ce rapport n'est donc pas de rappeler l'ensemble des mesures disponibles. Cela a été fait dans les travaux cités ci-dessus. C'est également le cœur du rapport de la tâche 4 qui liste ces mesures et en évalue les impacts en constituant 4 grands « paquets » (les instruments économiques, la réglementation, les investissements en infrastructures, la gestion de l'activité transport). Ce que nous voulons souligner dans les pages qui suivent est que ces mesures, quand elles sont associées dans un cheminement cohérent des politiques publiques, se fondent sur des hypothèses fortes en matière d'évolution des comportements de mobilité. Ce sont ces hypothèses que nous mettrons en lumière en nous intéressant aux arbitrages que devront faire les individus et les ménages face à la nouvelle donne des contraintes environnementales et énergétiques qui vont peser sur la mobilité. Il n'y a pas de sentier durable des politiques publiques qui ne soit obligé de tenir compte de la façon dont les acteurs économiques vont réagir dans leurs comportements. Pour éclairer cette articulation entre contraintes collectives et choix individuels, nous rappelons dans un premier temps les résultats macroscopiques de divers scénarios de mobilité durable en France, à l'horizon 2050. Nous montrons notamment comment les progrès techniques sont un des facteurs clés.

Puis, dans un second temps, nous explicitons les nouveaux arbitrages qui accompagnent les changements nécessaires dans les comportements individuels de mobilité. Des inflexions qui sont parfois assimilables à des ruptures dont la mise en œuvre ne sera pas simple. Car cette autre partie du chemin (*path*) devra se fonder sur un changement des comportements impliquant à la fois un important report modal et une forte contrainte sur la mobilité à longue distance. Ce qui revient à remettre fortement en cause la logique de l'économie de variété qui caractérise aujourd'hui les modes de vie. Est-ce possible ?

La troisième partie se penche sur cette situation nouvelle. Les individus et les ménages vont se trouver confrontés à une forte hausse des coûts monétaires et temporels de la mobilité. C'est un changement radical par rapport aux décennies précédentes. A l'époque du pétrole bon marché, nous avons bénéficié d'une baisse des coûts monétaires de la mobilité mais aussi d'une baisse des coûts temporels consécutifs à la hausse des vitesses moyennes de déplacement. Avec les autoroutes à péage ou les TGV, nous devons payer plus cher pour nous déplacer, mais les gains de vitesse réduisent le coût temporel. Comme se fait alors la transition avec un monde la mobilité est à la fois plus coûteuse et moins rapide ? Les changements de comportement n'ont pas qu'une dimension individuelle, ils renvoient à des

questions collectives. Quels sentiers devront suivre les politiques publiques, notamment en matière d'infrastructures et de services de transport ?

## 1) Les scénarios de mobilité durable : une tyrannie climatique ?

En 1978, Thomas Schelling publiait un ouvrage au titre évocateur : « *micromotives and macrobehaviors* ». Au long de quelques chapitres reprenant diverses conférences, il y insistait sur le fait que des effets collectifs non voulus, comme la congestion routière ou la ségrégation sociale, étaient le résultat d'une somme de décisions individuelles rationnelles dont l'agrégation conduisait à un effet pervers. Un tel raisonnement s'applique bien sûr à la situation provoquée par le rejet dans l'atmosphère des gaz à effet de serre, et notamment par ceux qui proviennent des moyens de transport modernes, gros utilisateurs de combustibles fossiles. Dans la mesure où la mobilité des personnes se développe avec la croissance économique, chaque décision individuelle de mobilité motorisée aggrave le problème à l'échelle globale.

Face à cette situation, il est légitime de se demander s'il ne faudra pas, au moins dans les pays riches, se résoudre à inverser la formule de Th. Schelling. Des contraintes globales (*macromotives*) ne vont-elles pas nous obliger à modifier nos comportements individuels (*microbehaviors*) ? En d'autres termes, les fondements de la mobilité des personnes vont-ils se trouver bouleversés par la contrainte climatique ou énergétique ? Et comme le titre de la traduction française de l'ouvrage de Th. Schelling était « La tyrannie des petites décisions », nous nous demanderons si les contraintes énergétiques et environnementales ne vont pas être perçues comme une « tyrannie climatique ». On peut le penser puisqu'en France comme dans de nombreux pays industrialisés la loi a fixé comme objectif, à l'horizon 2050, la division par quatre ou cinq des émissions de gaz à effet de serre par rapport au niveau de 1990. Cet objectif drastique répond à la recommandation des experts du GIEC qui préconisent de limiter la concentration de dioxyde de carbone à moins de 450 parties par million en volume. Pour atteindre cet objectif, il faut réaliser une division par deux des émissions mondiales de gaz à effet de serre à l'horizon 2050. Ce qui signifie une division par quatre, pour le moins, des émissions de gaz à effet de serre des pays industrialisés sur la même période afin de ne pas compromettre les perspectives de développement des pays en développement.

De nombreuses études essaient d'analyser les politiques publiques qui pourraient avoir un effet sur les comportements liés à la mobilité et à l'importance de cet impact sur les émissions de GES. La plupart de ces travaux donnent une place particulièrement importante à la planification de sentiers de politiques publiques, vis-à-vis des transports et des objectifs sociétaux en alliant l'analyse des arbitrages des ménages et des entreprises dans un système économique contraint par ses effets sur l'environnement.

De ce fait, ces travaux s'insèrent dans la lignée des analyses des politiques publiques d'atténuation (« *mitigation* » en anglais) des émissions de GES à travers le changement technologique et la substitution de comportements plus vertueux<sup>1</sup> aux modes de vie et pratiques de mobilité les moins « verts ». Par ailleurs, une partie croissante de la littérature sur les questions climatiques (projet Européen ADAM, United Kingdom Climate Impact Programme, etc.) donne une place importante à l'analyse des politiques d'adaptation aux effets du réchauffement planétaire. Ces études cherchent à étudier comment réduire la vulnérabilité des systèmes humains et naturels par rapport au changement climatique<sup>2</sup>.

Afin de mesurer d'emblée les enjeux d'une réduction drastique des émissions de CO<sub>2</sub> à l'horizon 2050, commençons donc par indiquer ce que pourrait être l'évolution de la mobilité dans les quarante prochaines années. Nous disposerons ainsi d'un scénario tendanciel auquel nous pouvons associer une hypothèse d'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> en prenant en compte les progrès techniques que l'on peut raisonnablement anticiper pour les prochaines décennies. Nous commençons donc par donner les résultats de la modélisation avant d'en expliquer les fondements.

### **1.1) De la demande de mobilité aux émissions de CO<sub>2</sub> (« Pégase », le scénario tendanciel)**

Au début des années 2000, chaque Français parcourait annuellement un peu plus de 14 000 kilomètres par an, soit plus de 40 kilomètres par jour. Cette réalité est le fruit du couplage entre croissance économique et mobilité (SCHAFER 2000, MCKINNON, 2007). En matière de mobilité des personnes, tout se passe à long terme comme s'il existait une véritable loi d'airain (CROZET 2009) associant la croissance de la mobilité à celle des revenus. Il ainsi une élasticité positive entre augmentation du niveau de vie et demande croissante de mobilité. Cette élasticité mobilité/PIB doit en réalité être précisée car ce qui progresse avec le revenu n'est pas seulement la distance mais aussi la vitesse moyenne des déplacements. Dans la mesure où les budgets temps de transport sont relativement constants, ou faiblement croissants (ZAHAVI 1980, CROZET 2003), l'accroissement des distances parcourues ne peut

---

<sup>1</sup> *“Technological change and substitution that reduce resource inputs and emissions per unit of output. Although several social, economic and technological policies would produce an emission reduction, with respect to climate change, mitigation means implementing policies to reduce GHG emissions and enhance sinks” (IPCC, 2010).*

<sup>2</sup> *“Initiatives and measures to reduce the vulnerability of natural and human systems against actual or expected climate change effects. Various types of adaptation exist, e.g. anticipatory and reactive, private and public, and autonomous and planned. Examples are raising river or coastal dikes, the substitution of more temperature shock resistant plants for sensitive ones, etc.” (IPCC, 2010)*

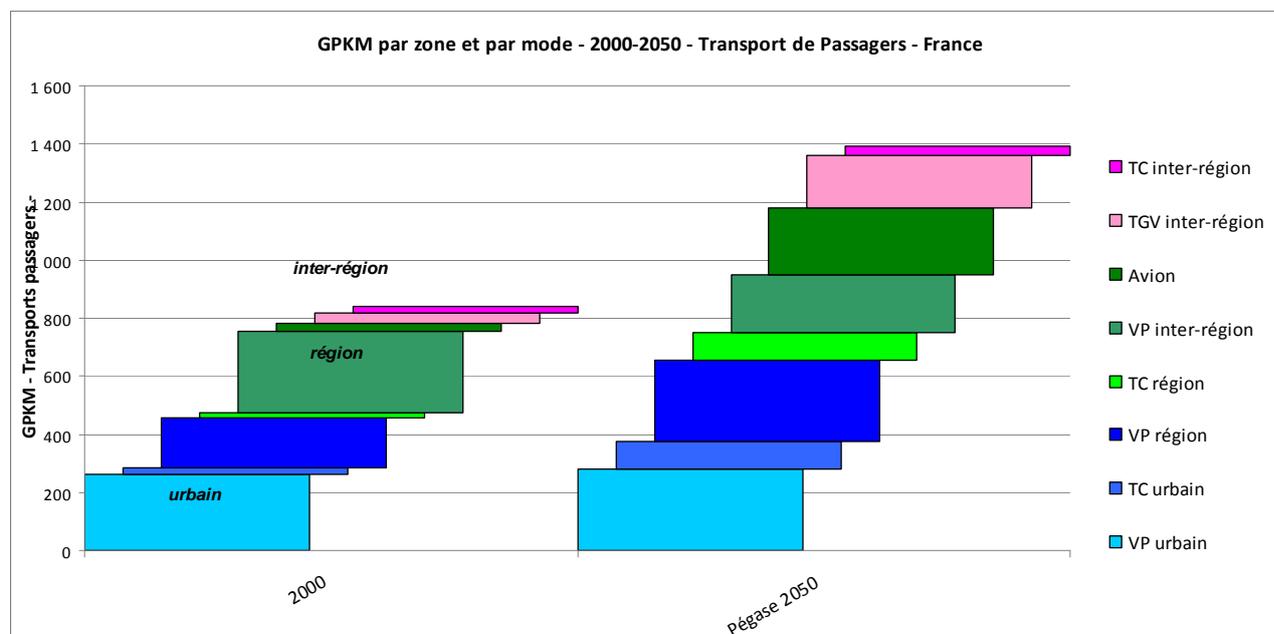
se faire que par une progression de la vitesse moyenne de déplacement. La variable clé est donc l'élasticité vitesse/PIB laquelle est présentée dans certains travaux comme ayant été proche de 1 au cours des dernières décennies (SCHAFER 2009). Mais pour les décennies à venir, on peut anticiper dans les pays développés un phénomène de saturation. A. SCHAFER (2009) lui-même montre que pour que la mobilité continue à progresser selon les tendances passées (élasticité de valeur 1), il faudrait que dans quelques décennies la vitesse moyenne de déplacement quotidienne dépasse les 600 km/heure. Alors que pour un déplacement aérien aux Etats-Unis, la vitesse moyenne porte à porte aujourd'hui dépasse de peu les 200 km/h.

Notre scénario tendanciel a donc retenu deux hypothèses clés.

- La première est la poursuite de la demande de vitesse, laquelle va se traduire par un changement de structure dans la demande de transport. Les modes relativement lents comme l'automobile vont céder une part de leur marché aux modes rapides que sont l'avion et le train à grande vitesse.
- La seconde prend en compte le fait que s'il est possible d'accroître la vitesse moyenne de nos déplacements par effet de structure, il n'y a plus de progression en valeur absolue de la vitesse de chacun des modes de transport pris séparément (CROZET 2000). Pour tenir compte des phénomènes de saturation, nous avons donc retenu une hypothèse d'élasticité vitesse/PIB égale à 0,33.

Sur ces bases, la croissance globale de la mobilité entre 2000 et 2050 serait de 40%. En passant d'un peu moins de 1000 à environ 1400 milliards de passagers-kilomètres, les Français, un peu plus nombreux qu'en 2000 (67 millions contre 60 millions) parcourraient environ 21000 kilomètres par an, soit un peu moins de 60 kilomètres par jour. Ce niveau se situe un peu en dessous de ce qui est observé aujourd'hui aux Etats-Unis. Le plus intéressant n'est pas le résultat global mais l'évolution de la structure de la mobilité que résume la figure n° 1.

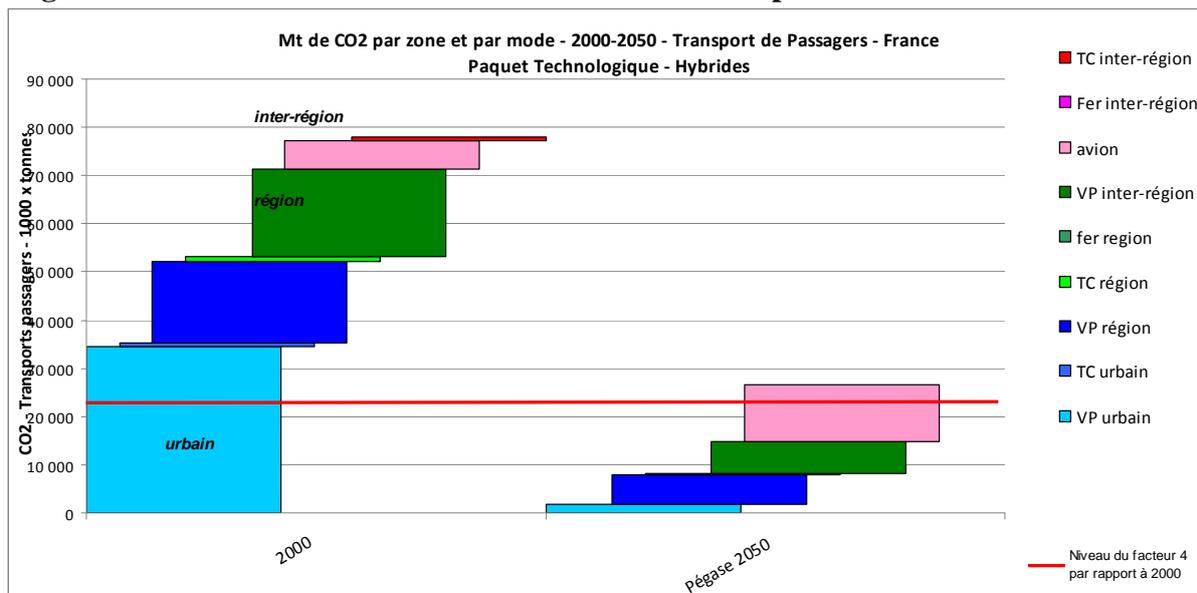
**Figure 1 : Mobilité des voyageurs en 2050 - Scénario tendanciel**



Conséquence logique de la préférence pour la vitesse, les trafics régionaux et surtout interrégionaux progressent de plus de 50% alors que la mobilité urbaine ne progresse « que » de 25%, essentiellement par l'usage accru des transports en commun (TC). Mais l'usage de la voiture particulière en milieu urbain demeure important. D'une part car l'automobile continue à offrir des services très appréciés pour une mobilité relativement rapide et sans rupture de charge. D'autre part car le parc automobile a été largement transformé par le développement des véhicules hybrides et électriques (voir encadré n°1). Par contre l'automobile régresse beaucoup pour les déplacements à grande distance car sa vitesse relative sur ces trajets souffre d'obsolescence. De façon générale, la croissance des déplacements en TGV, trains, bus, métro ou tramway est beaucoup plus forte que la croissance de la mobilité automobile. Cela correspond à une mobilité plus orientée vers les modes collectifs, plus à même de massifier les flux et donc de réduire les émissions de CO2. Mais le plus significatif dans ce scénario tendanciel est la croissance du transport aérien qui en vient à jouer un rôle clé dans l'accroissement des distances totales parcourues sans augmentation des budgets temps de transport. Ce couplage pose bien sûr un problème de soutenabilité environnementale étant donné la consommation énergétique du transport aérien et sa capacité émettrice de CO2.

La figure 2 présente les émissions de CO2 qui seraient associées à la mobilité présentée dans la figure 1. Nous avons donc sur la base de certaines hypothèses (cf. infra), transformé les passagers-kilomètres en tonnes de CO2.

**Figure 2 : Emissions de CO2 en 2050 de la mobilité des personnes – scénario tendanciel**



Nous y découvrons que les émissions provenant du trafic de passagers se réduisent sensiblement, malgré la progression importante du transport aérien. La réduction de 75 à 80% des émissions de CO2 n'est pas atteinte mais on se rapproche d'une réduction de 65% par rapport à 2000. Comme cette année-là, les émissions de CO2 du transport de passagers étaient supérieures de 10% à celles de 1990, cela signifie que la réduction obtenue par rapport à 1990 n'est pas négligeable, presque 60%, mais reste en-deçà des objectifs fixés. Nous devons donc maintenant interroger les fondements d'un tel résultat, en présentant le modèle TILT.

## **Encadré n° 1 : Scénario tendanciel, le rôle clé du progrès technique et de l'évolution du parc automobile**

Le modèle TILT estime la consommation de carburant à très long terme, à partir des trafics des différents modes d'une part et de la consommation de carburant unitaire de chacun des modes d'autre part. Le module de TILT chargé de modéliser les émissions vise donc à traduire les passagers-kilomètres en tonnes de CO<sub>2</sub>.

Il est pour cela nécessaire :

- de modéliser l'évolution du parc automobile (avec un modèle de dynamique des parcs fondé sur les travaux de C. GALLEZ -1994) et l'introduction des innovations techniques dans le parc ;
- de ventiler les trafics générés par TILT pour les différents services de mobilité selon les innovations techniques utilisées ;
- de calculer les consommations énergétiques ainsi que les émissions à partir des descriptifs techniques des différentes innovations techniques.

En intégrant les différents modules et TILT, il devient possible de quantifier les conséquences de la mobilité sur l'environnement tout en détaillant la structure des déplacements selon l'innovation technique utilisée pour se déplacer, la dynamique du parc, la nature du déplacement et l'âge des véhicules. Pour l'ensemble des scénarios, plusieurs sentiers technologiques ont été envisagés avec différentes options au niveau de la motorisation, des années d'entrée sur le marché et de sa capacité de pénétration.

Les émissions liées aux configurations des scénarios présentées dans ce papier ont été calculées sur la base du sentier technologique suivant. Les hybrides biénergie, avec une autonomie de batterie de 100 km, apparaissent sur le marché à partir de 2010 et sont largement généralisés en 2050. Les voitures électriques se développent à partir de 2020 et se diffusent ensuite pour représenter plus de 50% du parc en 2050. Au total, le parc présente en 2050 un niveau moyen d'émission de 46 gCO<sub>2</sub> par véhicule km pour les passagers.

Concernant les avions, nous envisageons l'hypothèse, que d'ici 2050, la réduction de leur consommation d'énergie équivaudra à une réduction de 35% par siège-kilomètre par rapport à la consommation moyenne en 2000. Par ailleurs, nous faisons l'hypothèse d'une

utilisation accrue des biocarburants de deuxième génération. Au total, 35% du carburant consommé en 2050 est du biocarburant

Le calcul des émissions est fait du puits à la roue (well-to-wheel). Remarque importante dans le cas de la France, nous considérons que, en 2050, l'électricité est toujours très largement d'origine nucléaire. C'est hypothèse est, bien sûr, questionnable, mais du point de vue de la modélisation elle ne pose pas de problème car elle peut être aisément modifiée.

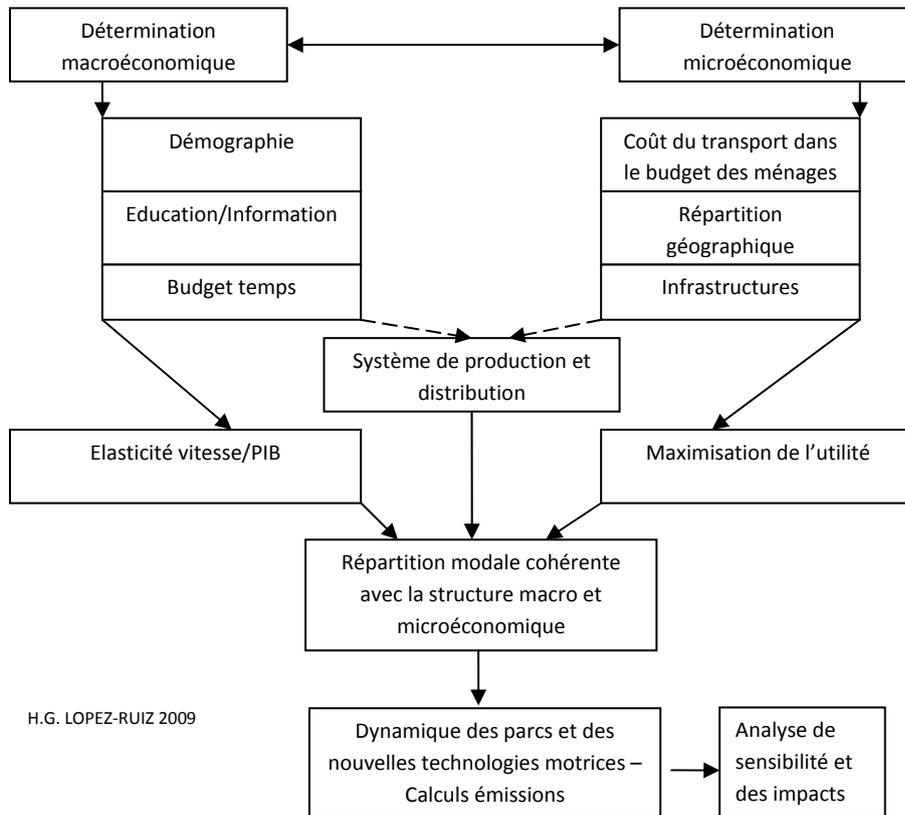
## **2.2) Le modèle TILT : à la recherche des fondements des comportements de mobilité**

Le Modèle TILT n'est pas destiné à faire des prévisions de court terme. Il s'inscrit dans une vision de long terme. Il est fondé sur une logique de *backcasting* (BANISTER, et al 2006, DREBORG, 1996, GEURS et al. 2004) qui consiste à rechercher les changements nécessaires aujourd'hui, ou dans les années à venir, pour atteindre certains objectifs à un horizon donné. Pour cela, nous avons pris en compte à la fois les caractéristiques du système de transports et l'éventail des choix permettant aux personnes de satisfaire leurs besoins de mobilité. Comme le montre la figure 3 les déterminants de la mobilité sont à la fois macro et micro-économiques.

- Du côté macroéconomique, les hypothèses globales de trafic sont déduites de la croissance économique, supposée atteindre 1,5% par an pendant cinquante ans. Pour fonder ce choix, TILT se fonde sur les déterminants structurels, ceux qui jouent un rôle clé dans l'évolution du PIB : la démographie, mais aussi le degré de qualification de la population et la façon dont cette dernière utilise son temps entre les diverses activités possibles. Dans la lignée du modèle VLEEM (Enerdata 1997) qui modélisait la demande globale d'énergie, le modèle TILT se concentre sur la demande de mobilité telle qu'elle dérive de la hausse tendancielle des revenus.
- En termes microéconomiques, les individus cherchent à maximiser leur utilité en minimisant leurs coûts de transport. Ils le font en tenant compte des services de transport disponibles sur les infrastructures existantes et de la réglementation issue des politiques publiques.

Comme indiqué plus haut, l'élasticité vitesse/PIB est donc cruciale car c'est elle qui fait le lien entre déterminants macro et microéconomiques. Car si l'élasticité entre trafics et PIB est reliée à des mécanismes microéconomiques explicités par l'optimisation des comportements (LOPEZ-RUIZ, 2009), elle est aussi au principe du couplage observé à l'échelle macroéconomique.

**Figure 3: Architecture générale du modèle TILT**



L'élasticité vitesse/PIB représente la variable synthétique résumant les comportements de mobilité. Comme notre objectif est de mieux comprendre comment ces comportements pourraient évoluer face à des contraintes climatiques et énergétiques fortes, il est nécessaire d'ouvrir cette boîte noire de l'élasticité vitesse/PIB pour en détailler les composantes. Au cœur des décisions des individus, se trouvent des arbitrages qui vont tenir compte des coûts de la mobilité comparés à l'utilité que procure un déplacement ainsi que l'ont fait depuis longtemps les travaux sur l'accessibilité (Hansen 1959, Neuburger 1970...). Pour cela, nous sommes partis module (LOPEZ-RUIZ, 2009) des résultats globaux de trafic fournis par le module macroéconomique pour en rechercher les fondements microéconomiques.

Ainsi, nous avons adopté l'hypothèse selon laquelle les différents motifs du module macroéconomique correspondaient à différentes échelles géographiques, c'est-à-dire à des espaces physiques définis, parcourus par des infrastructures dotées de certaines caractéristiques. Celles-ci ont à la fois un coût et une réglementation d'utilisation qui influent sur le coût du transport ainsi que sur la vitesse sur le réseau. Un coût et une vitesse que l'on

peut modéliser. Nous l'avons fait en nous inspirant des « algorithmes de fourmis » (DORIGO, M. Di CARO, G. et al, 1999) que nous avons adaptés à notre logique de prospective (LOPEZ-RUIZ, 2009). L'intérêt de cette modélisation est de bien mettre en valeur les critères de choix des individus. L'arbitrage opéré par les agents économiques consiste d'abord à comparer le coût du transport entre les différents modes et itinéraires pour choisir le plus adapté. Ce coût est ensuite comparé aux opportunités rendues accessibles par le déplacement. Les trafics pour une origine destination  $ij$  dépendent de la valeur relative du couple coût du transport – opportunités, le coût du transport variant avec le « taux de retard » constaté sur une infrastructure du fait de son degré plus ou moins élevé de congestion.

Les variables clés de la table de décision sont donc les suivantes :

$$a_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i} [\tau_{il}(t)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} \quad \forall j \in N_i \quad (1)$$

avec

$$\eta = \frac{\textit{opportunité}}{\textit{coût du transport}} \quad (2) \quad \text{et} \quad \tau_{ij}(t) = \textit{taux de retard} \quad (3)$$

Ainsi, l'utilité du déplacement est déterminée par la relation existant entre l'opportunité et les coûts comparés des différents modes, lesquels prennent en compte les niveaux de service propres à chaque mode. L'opportunité de réaliser/consommer telle ou telle activité/service/bien dépend donc de l'accessibilité, laquelle est directement liée au coût généralisé de transport. Dans cette logique, que ce soit pour se nourrir, pour aller travailler ou pour aller visiter un musée, chaque déplacement associe ce que nous pourrions appeler un coût d'opportunité de l'activité à un coût du transport. Les choix des acteurs économiques sont donc liés à la distance mais aussi au temps car il faut prendre en compte la congestion sur le réseau dans un espace donné, les vitesses, mais aussi le prix du carburant, les éventuelles taxes etc.

Si l'on regarde l'évolution de la mobilité des personnes au cours des dernières décennies, et la façon dont les politiques publiques l'ont encouragée, nous sommes dans une logique de toujours plus. Se déplacer toujours plus vite semble être devenu la règle, d'autant qu'avec la hausse du revenu, la valeur du temps augmente et logiquement l'accès à la vitesse se démocratise. La vitesse est ainsi devenue un droit pour les individus et un devoir pour les politiques publiques. Ainsi, lorsqu'il s'agit de justifier économiquement la création ou l'amélioration d'une infrastructure de transport, le calcul économique intègre la réduction de la durée des parcours. Une récente étude conduite par Ch. Vilmart a montré par exemple que l'essentiel du gain collectif que la France a retiré de 25 années de programme TGV provient des gains de temps des usagers. Il n'est donc pas surprenant que les politiques publiques aient, depuis des décennies, privilégié les investissements dans les infrastructures capables d'améliorer la vitesse moyenne des déplacements. Le réseau ferroviaire au XIX<sup> me</sup> siècle, les

réseaux routiers et surtout autoroutiers au XX<sup>ème</sup> siècle, et désormais les réseaux de lignes ferroviaires à grande vitesse (LGV) ont inscrit dans le paysage cette préférence pour la vitesse. Le développement du transport aérien depuis quelques années va bien sûr dans le même sens car il contribue à l'intensification de nos programmes d'activités.

Si, en première analyse, nous considérons qu'une nouvelle donne des politiques publiques et des marchés pétroliers, conduit à une hausse durable des coûts de la mobilité, quels en seront les effets ? Une hausse des coûts, consécutive par exemple à une taxe, ou à une hausse des prix du pétrole, va se traduire par une moindre mobilité car certains déplacements ne seront plus opportuns. Il y a donc là un premier levier, classique, des politiques publiques, l'action sur les coûts relatifs. La troisième partie de ce rapport va s'intéresser à cette variable importante pour exprimer les nouvelles contraintes qui pourraient peser sur la mobilité. Mais dans les scénarios alternatifs (Chronos et Hestia) que nous allons rappeler ci-dessous, un autre levier est envisageable, celui qui modifie la définition même des opportunités. Les politiques publiques, mais aussi des phénomènes de saturation ou de modification des préférences individuelles peuvent alors conduire à une appréciation différente des opportunités. En conséquence, les variables du module microéconomique de TILT pourraient être modifiées de façon telle que nous pourrions, dans certains cas, passer d'une logique universelle de couplage à certaines formes de découplage entre croissance économique et mobilité. Un découplage qui ne serait pas le fruit d'une tyrannie des politiques publiques, mais d'une évolution des préférences individuelles.

## **2) Contraintes collectives et transformations des préférences individuelles**

Quelles modifications des comportements seraient nécessaires pour conduire à une réduction des émissions de CO2 allant au-delà de ce que permettent les seuls progrès techniques ? Pour répondre à cette question, nous allons montrer que les scénarios alternatifs (Chronos et Hestia) sont en réalité fondés sur la modification de paramètres clés du modèle TILT, des modifications en apparence bénignes, mais qui renvoient en fait à des inflexions majeures dans les préférences et les choix des individus.

## **Encadré 2 : tendances et des contre-tendances**

En matière de transports, les dernières décennies ont fait apparaître, au sein des pays industrialisés, différentes tendances :

-les transports des marchandises ont suivi une tendance globale de dématérialisation du PIB. La baisse de la part relative de l'agriculture, des industries agro-alimentaires, de l'industrie et de l'énergie ont conduit à réduire certains types de trafic, notamment les trafics ferroviaires de charbon ou de produits métallurgiques. Le développement des services renforce la tendance à la dématérialisation et se manifeste par une baisse ou par une réduction des transports de marchandises ;

-après des nombreuses décennies de baisse dans l'utilisation des transports en commun, nous observons, depuis quelques décennies, une augmentation de l'utilisation des services de transport en commun. Les contraintes liées à l'utilisation d'une voiture commencent à avoir un effet sur la densité de certaines grandes villes françaises et permettent aux TC et aux modes doux de tirer leur épingle du jeu.

A ces tendances se joignent des contre-tendances :

La tertiarisation de l'économie est composée d'un petit nombre de services purs ; beaucoup de services sont " mixtes ", à savoir qu'ils exigent des biens comme compléments indispensables. C'est le cas des transports, des télécommunications, de la médecine, de l'éducation, etc. Le transport des passagers a connu une tendance vers l'allongement des distances des parcours et un éclatement du transport lié aux loisirs et aux motifs professionnels, qui a été

La dématérialisation du PIB a entraîné l'instauration d'une réduction de la taille des lots et de l'accroissement du ratio valeur ajoutée/poids. Le fait que les produits aient une valeur par tonne croissante autorise une croissance du coût absolu des transports, sans augmenter pour autant le coût relatif.

La baisse du poids relatif des produits transportés peut donc aller de pair avec une hausse des volumes et une augmentation des distances, surtout si, dans le même temps, les systèmes de transport se modernisent et facilitent la massification des flux.

Cette même augmentation de la valeur ajoutée a donné lieu à un renforcement de l'augmentation du nombre de déplacements professionnels et, du fait de l'augmentation des salaires, les personnes n'ont pas seulement accru leur consommation en loisirs, mais elles ont aussi diversifié et multiplié le nombre de déplacements liés aux loisirs.

Tendances et contre-tendances se combinent dans un résultat global qui est, au total, plutôt favorable aux contre-tendances, ce que traduit l'observation des données nationales et internationales de transport des marchandises et passagers : les tonnages et passagers transportés n'augmentent pas beaucoup, mais les TKM et PKM progressent à peu près comme le PIB lorsque l'on intègre le transport international. Cela peut être détaillé en distinguant les différents modes (route, fer, air, mer) et les vitesses relatives. Il est ici important de souligner non seulement le rôle de la vitesse relative (route par rapport au fer, air par rapport aux autres), mais aussi celui de la massification et de la standardisation (cf. le transport maritime), qui ne changent pas significativement les vitesses relatives, mais qui assurent la fiabilité et la baisse des coûts relatifs.

## 2.1) « Chronos » et « Hestia » : des réponses individuelles contrastées aux contraintes climatiques

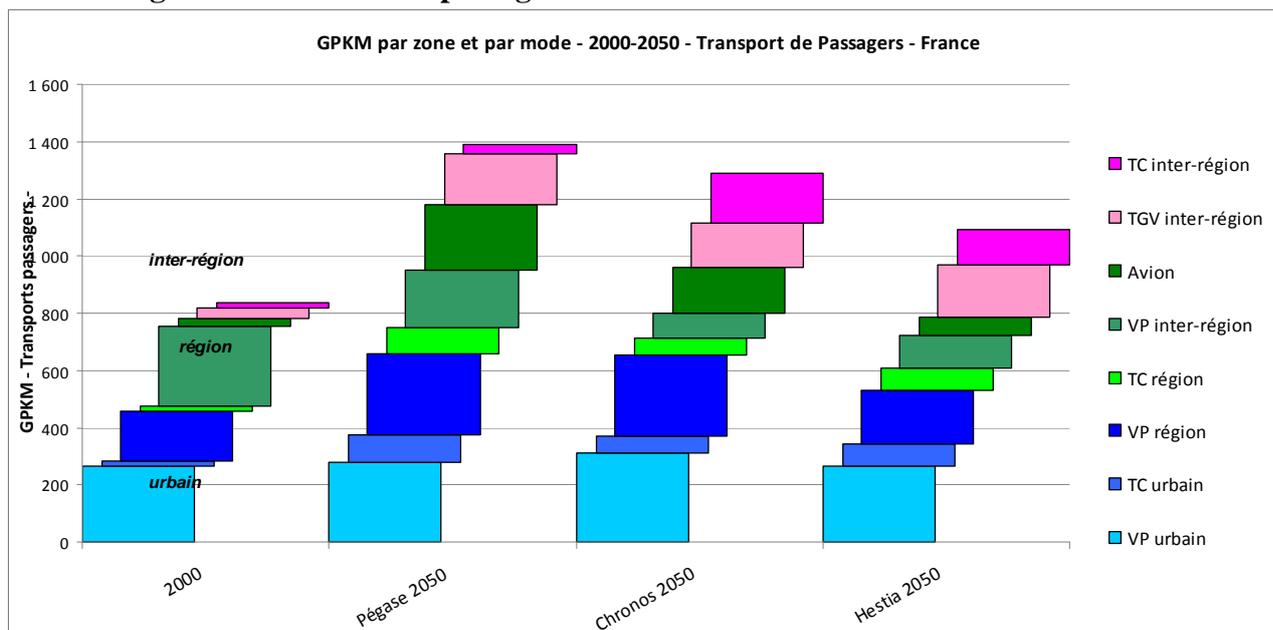
L'objectif des deux scénarios alternatifs au scénario tendanciel n'était pas de prédire la mobilité réelle des passagers à l'horizon 2050. Il visait à rechercher ce que pourraient être les variables d'ajustement des comportements des individus et comment intégrer ces éléments dans notre modèle. Une première réponse se situait dans une hypothèse simple mais extrêmement forte : l'élasticité vitesse/PIB deviendrait nulle pour les passagers. Mais cela correspondrait à deux types de comportements différents, qui expliquent le caractère contrasté des deux familles de scénarios. Afin de faire ressortir au mieux les formes principales d'ajustement des comportements, nous avons opposé une adaptation par le temps de transport d'une part et une adaptation par les distances d'autre part. Quels sont les fondements microéconomiques de ce type d'ajustement ?

Dans la première famille de scénarios, la moindre appétence pour la vitesse est le résultat des contraintes, notamment économiques et réglementaires, sur l'usage des modes de transport rapides (prix croissant des billets, délais de sécurité dans les gares et aéroports, temps d'accès aux gares et aéroports...). Mais la demande de mobilité reste forte. Les distances parcourues continuent à augmenter. Il en résulte donc un accroissement des budgets temps de transport d'environ 20%. La mobilité devient donc de plus en plus consommatrice de temps, chronophage. C'est pourquoi cette famille de scénarios est appelée « Chronos ». Même si les contraintes climatiques et énergétiques sont fortes, **les individus poursuivent la fuite en avant vers la hausse des distances parcourues**, sans pour autant que la vitesse moyenne augmente. Dans Chronos, pour les passagers, domine une logique où une hausse du prix de l'utilisation de la voiture entraîne une hausse dans l'usage des transports en commun. Cette perspective est en ligne avec une grande partie des composantes « Transport » du Grenelle de l'environnement : de plus en plus de TGV, des systèmes de transport en commun plus nombreux et plus performants. Mais les effets d'un tel chemin pour les politiques publiques ne sont pas forcément ceux que l'on croit. Car ce glissement vers les transports en commun modifie le budget des ménages, qui réinvestissent les gains issus du passage à un mode relativement moins cher. Une partie sera réinvestie en relocalisation (pour s'approcher des infrastructures de transports en commun) et une autre sera réinvestie en services de transport rapides à longue distance, notamment l'avion. En conséquence, dans Chronos, grâce à l'accroissement de la vitesse moyenne sur le rail, la logique de l'accroissement des distances peut être maintenue. Mais cela se fait au prix de lourds investissements en infrastructures et sans doute aussi en subventions croissantes de fonctionnement qui vont poser des problèmes en période de rareté des fonds publics (nous développerons ce point dans le rapport de la tâche 5).

La seconde famille de scénario, sur la base de la même hypothèse d'une élasticité vitesse/PIB nulle, envisage une sensible réduction de l'appétence pour la mobilité. La réduction des vitesses moyennes obère la hausse tendancielle des distances parcourues. Cela signifie une nouvelle hiérarchie des préférences des individus. **De la préférence pour la mobilité et la variété, ils passent à une préférence pour la proximité et une mobilité maîtrisée.** C'est la raison du qualificatif « Hestia », nom donné dans la mythologie grecque à la déesse du foyer. Dans cette perspective, la maximisation de l'utilité se fonde sur la recherche d'une distance réduite entre les activités. Les habitations devront se rapprocher des commerces, des écoles, des lieux de loisirs et des services de proximité. Ce qui suppose là aussi des investissements importants.

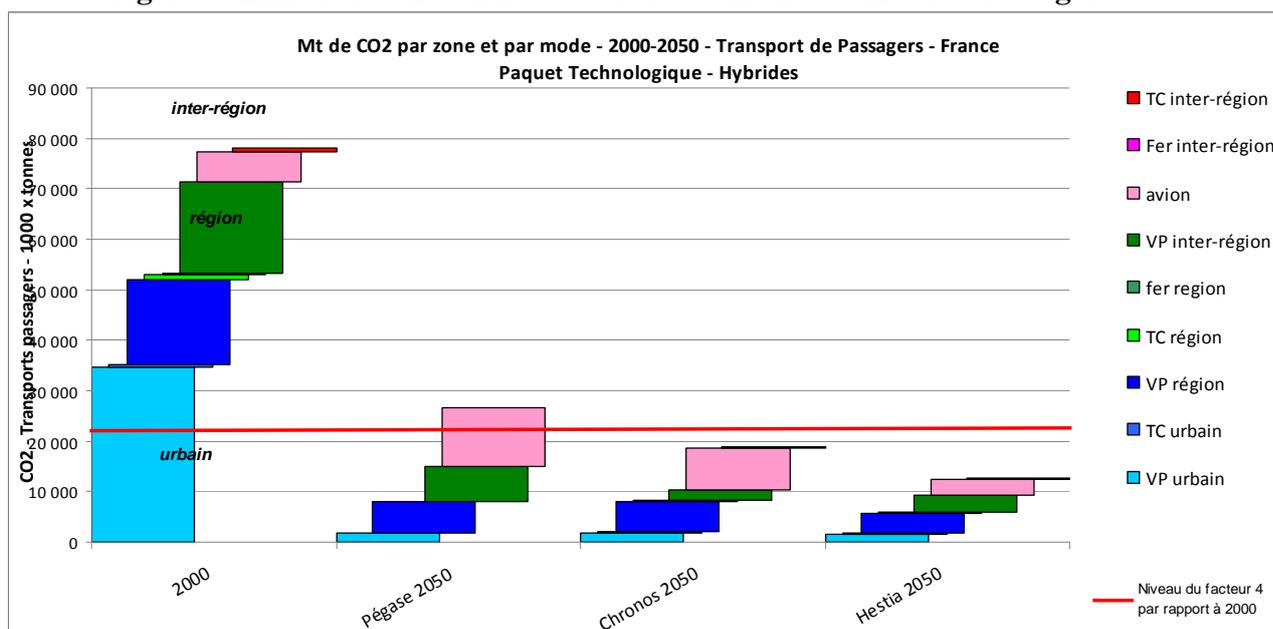
Comme le montre la figure 4, la différence entre les deux familles de scénarios se situe au niveau de l'importance de la baisse de la demande de transport en voiture particulière sur les trajets régionaux et longue distance. La forte réduction de la mobilité à longue distance est la principale particularité du scénario Hestia. Cela est conforme aux hypothèses de préférence pour la proximité, également liée à un vieillissement de la population. Mais c'est aussi un résultat logique du principe même de la démarche de backcasting. Comme l'objectif ici est de réduire de 75 à 80% les émissions de CO<sub>2</sub>, ce sont les modes les plus émetteurs qui sont le plus affectés.

**Figure 4 : Mobilité des passagers en 2050 - Scénarios Chronos et Hestia**



La principale différence entre Hestia et Chronos est donc la moindre hausse des distances totales parcourues par rapport à l'année 2000. Il est à noter une baisse sensible des trafics VP mais ceux-ci ne disparaissent pas, notamment parce que le transport aérien a été beaucoup plus contraint que dans le scénario précédent, par exemple par un système de permis d'émission négociables. Il est à noter que les technologies sont ici les mêmes que dans le scénario tendanciel et que nous faisons aussi l'hypothèse que la production croissante d'électricité ne provoque pas d'émissions accrues de CO2 du fait du recours au nucléaire et aux énergies renouvelables. Sur ces bases, dont on peut évidemment discuter le réalisme, on observe dans la figure 5 que l'objectif de réduction des émissions de CO2 est atteint malgré un certain développement de la mobilité. Sous certaines hypothèses, nous atteignons même les 80% de réduction. Mais nous sommes alors dans le scénario Hestia, qui suppose que l'avion a été très fortement contraint en volume de trafic.

**Figure 5 Emissions GES en 2050 scénarios Chronos et Hestia - Passagers**



Ces résultats soulignent l'importance des impacts du progrès technique dont témoigne la forte réduction des émissions entre le niveau de 2000 et résultat tendanciel de 2050. Mais nous ne pouvons pas tabler sur la seule solution technologique, d'autant que les hypothèses que nous avons choisies (cf encadré n°1) sont assez optimistes. Les changements de comportements constituent aussi un levier intéressant. La question qui se pose alors est de savoir ce que signifient ces changements, notamment pour les déplacements à longue distance.

## 2.2) Longues distances et économie de variété, la fin d'un monde ?

La mobilité et les choix qui lui sont liés posent à l'économiste des problèmes particuliers. Le premier est lié au fait que le transport n'est pas en principe demandé pour lui-même. La demande de déplacement est une demande dérivée, c'est une consommation jointe qui a un caractère secondaire par rapport à l'activité qui lui est liée. Généralement, on ne se déplace pas pour se déplacer, on se déplace pour réaliser une activité. Mais le qualificatif secondaire est sans doute trop réducteur pour comprendre la demande de mobilité. Il serait plus juste de dire que le déplacement est subsidiaire au sens où il apporte quelque chose de plus à l'activité, simplement parce qu'il la rend possible. C'est précisément le cas des transports à longue distance comme le transport aérien. Dans la perspective de l'équation 2, présentée plus haut, quelle est, pour la mobilité à longue distance l'évolution du ratio opportunités / coûts ?

- Une première analyse consiste à souligner que le transport aérien et les activités qui lui sont liées (affaires, loisirs...) correspondent à un bien « supérieur » dont la consommation va croissant avec le budget des ménages. Dans notre logique, cela signifie que la hausse éventuelle du coût de cette mobilité à longue distance a de fortes chances d'être plus que compensée par l'attrait des opportunités qui lui sont associées. C'est sur ces bases que l'on peut expliquer, encore aujourd'hui la croissance tendancielle du transport aérien et sa reprise rapide après la crise de 2008-2009.
- Nous pouvons aussi compléter ce constat en soulevant un autre problème d'arbitrage. Si, à l'instar de G. Becker (1965) ou de S. Linder (1971), nous étendons le raisonnement microéconomique à cette ressource rare qu'est le temps nous observons que la progression des vitesses permet de faire croître les distances parcourues sans toucher au budget temps de transport. La préférence pour les modes rapides se comprend alors. La vitesse permet d'économiser du temps qui est la ressource la plus rare, celle dont la quantité disponible progresse beaucoup moins vite que le revenu. La mobilité à grande vitesse est donc doublement encouragée.

Au numérateur de notre indicateur

$$\eta = \frac{\text{opportunité}}{\text{coût du transport}},$$

elle accroît le champ et la diversité des opportunités nouvelles. C'est le fondement de l'économie de variété. Le fait que nos comportements de loisir s'orientent vers un raccourcissement des durées de séjour, paradoxalement concomitante à un allongement des distances parcourues n'est qu'un des aspects du développement de l'économie de la variété (Gronau & Hamermesh 2001). Le propre des modes de vie modernes, et ce qui les rend plus attractifs que les formes précédentes est l'incroyable diversité des biens et services qui nous sont offerts. Mais face à cette variété, nos

choix résultent de la comparaison des opportunités offertes avec le coût généralisé du déplacement. Ainsi, la vitesse, située au dénominateur du ratio  $\eta$  peut réduire le coût temporel du déplacement.

Nous devons donc nous intéresser aux gains d'utilité issus d'une mobilité accrue. Pour cela, tournons-nous vers les enseignements de S. Linder. Pour lui, la « classe de loisir » n'est pas celle que Th. Veblen avait décrite au début du XX<sup>ème</sup> siècle. Les riches oisifs sont en réalité, comme les autres, et même plus encore, confrontés à la nécessité d'arbitrer en permanence entre diverses options. La rareté relative du temps, comparée à la masse des revenus disponibles, est pour eux le souci majeur. L'enrichissement général a étendu ce type de problèmes à une large part de la population des pays développés, y compris aux actifs, au point que le temps est devenu la « ressource la plus rare ». Au cours du XX<sup>ème</sup> siècle, le revenu moyen a été multiplié par 10, voire plus, dans de nombreux pays industrialisés, alors que la durée de la vie n'a augmenté que d'un tiers. Les consommateurs que nous sommes sont donc confrontés à une concurrence de fait entre les biens et les services rendus accessibles par la hausse du revenu. Or de nombreux biens et services demandent du temps pour leur usage. Pour résoudre cette équation nous devons augmenter tendanciellement le ratio « quantité de biens et services utilisés par heure disponible ». Ce qui revient à nous orienter vers des modes de vie de plus en plus intensifs.

Le développement du tourisme, notamment pour les destinations exotiques, illustre parfaitement cette situation. En prenant quelques jours de vacances au bord de la Méditerranée, voire beaucoup plus loin, outre Atlantique ou aux Iles Maldives, nous donnons à nos programmes d'activités une intensité sans comparaison avec ce que peut nous apporter une visite chez les cousins du village voisin ! Cette mobilité liée aux loisirs s'appuie sur les mêmes déterminants que la mobilité professionnelle, seconde composante clé de la mobilité à longue distance. Dans les deux cas, les processus d'intensification sont à l'œuvre et se renforcent mutuellement. L'intensification des activités de loisir (faire plus en moins de temps) devient le pendant de l'intensification de l'activité professionnelle sous sa forme classique de hausse de la productivité.

Les mécanismes clés étant ainsi posés, peut-on considérer que les prochaines décennies pourraient voir apparaître d'autres logiques ? Quels mécanismes pourraient conduire les habitants des pays développés à réduire la croissance de la mobilité et la diversification des activités qui lui est liée ? La réponse pourrait résider dans les limites que rencontre le morcellement des programmes d'activités. Le vieillissement démographique pourrait être un facteur déclenchant d'une telle inversion de tendance. Mais il ne faut pas lier ce facteur aux moindres capacités physiques des personnes âgées. Tous les indicateurs vont au contraire dans le sens d'un accroissement de l'espérance de vie sans handicap. Et les retraités ne sont pas les derniers à utiliser la voiture, le train ou l'avion pour des déplacements à longue distance.

**Tableaux 1 et 2**

**Evolution des distances annuelles parcourues par individu en local et longue distance par PCS (km/hab./an)**

Statut	ENT93/94	ENT07/08	% Evolution
Actif	11 809	11 716	0,8%
Inactif	6 869	5 465	- 20,4%
Scolaire	6 443	6 715	4,2%
Retraité	4 472	6 300	40,9%
Total	7 900	8 700	10,1%

**Mobilité locale**

**Mobilité longue distance**

Statut	ENT93/94	ENT07/08	% Evolution
Actif	7 070	7 535	6,6%
Inactif	4 252	4 951	16,4%
Scolaire	4 932	4 635	-6,0%
Retraité	3 222	4 529	40,6%
Total	5 350	5 894	10,2%

**Évolution différenciée selon les statuts et les types de mobilité**

C'est ce que rappellent les tableaux ci-dessus, empruntés au CERTU. On y voit que la mobilité à longue distance a beaucoup progressé en France entre les deux enquêtes nationales transport et déplacement (ENTD) de 1993\_94 et 2007-2008. Alors que le PIB a progressé de 23% pendant cette période, la mobilité totale a progressé de 10%, soit une élasticité distance/PIB de 0,44. Comme les budgets temps de transport sont restés à peu près stables, cela correspond aussi à une élasticité vitesse/PIB de 0,44. Nous ne sommes donc pas encore dans la situation d'une élasticité nulle telle qu'envisagée dans nos scénarios alternatifs. Mais nous observons que la mobilité des retraités a, quant à elle progressé de 40%, soit une élasticité de 1,73. Comme cela concerne aussi la longue distance, on comprend que la demande de transports aérien, et pour partie de TGV, a sans doute de beaux jours devant elle. Dans ces conditions, quels changements, quels contraintes pourraient conduire à une moindre appétence pour la vitesse ?

### Encadré 3: Peak oil, peak car, peak travel...

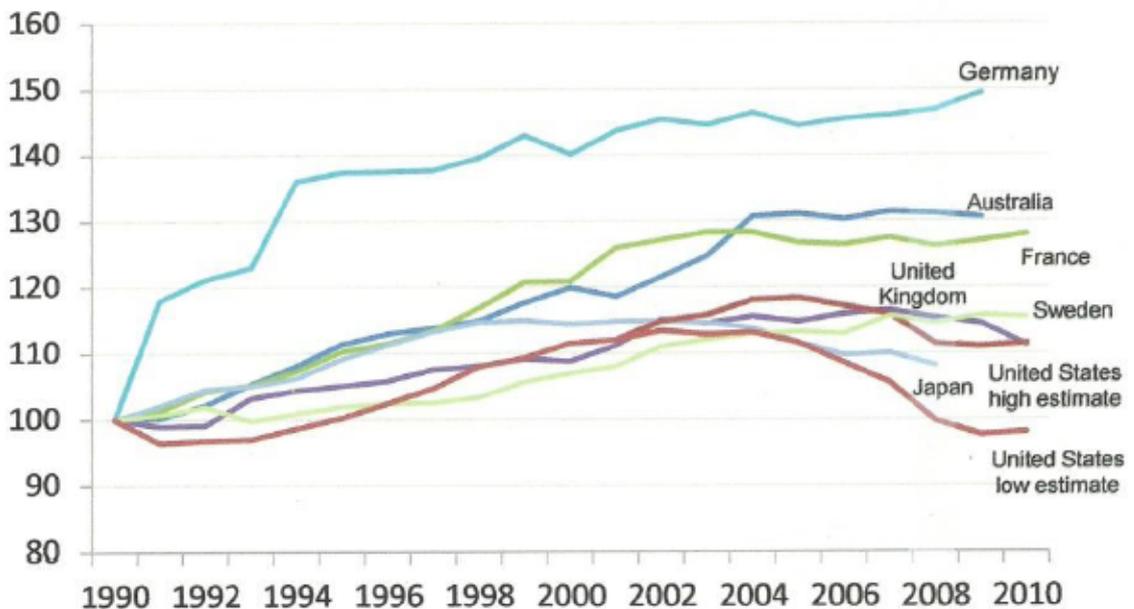
Il y a quelques années, la rareté des carburants fossiles s'annonçait comme le problème clé de ce début de XXI<sup>ème</sup> siècle. La crise économique, qui implique une moindre pression de la demande, et la hausse de la production, du fait du recours aux pétroles et gaz non conventionnels, a relégué cette question au second plan. Le pétrole et le gaz demeurent des ressources rares et convoitées, mais le « peak oil » ne fait plus peur. La production quotidienne de barils de pétrole a dépassé les seuils envisagés il y a quelques années comme un maximum. Comme le veut le bon sens et le principe d'une ressource naturelle limitée, la rareté du pétrole sera un jour ou l'autre une réalité, mais ce n'est pas pour tout de suite.

Ce degré de liberté supplémentaire sur le front de l'énergie ne lève pas pour autant toutes les inquiétudes. Car à la crainte d'une pénurie de pétrole, se substitue la peur d'un excès de pétrole ou plutôt l'inquiétude sur les effets d'une émission accrue des émissions de CO<sub>2</sub>. A l'échelle mondiale en effet, le ralentissement économique n'a pas conduit à une baisse des émissions de gaz à effet de serre. La hausse tendancielle des dernières décennies se poursuit à l'échelle de la planète. Le seuil des 450 ppm, considéré comme crucial pour éviter une hausse moyenne des températures supérieure à deux degrés, risque d'être atteint et dépassé bien avant 2050.

Pour infléchir cette tendance, qui reste une menace, il est donc crucial de recourir au progrès technique (voir encadré 1) mais aussi de se demander si la mobilité motorisée, une des principales sources d'émission de CO<sub>2</sub>, ne pourrait pas être mieux maîtrisée, voire réduite. Dans cette perspective, un espoir se présente sous la forme d'un pic de la mobilité automobile (Peak car) voire d'un pic dans la mobilité en général (Peak travel), lesquels pourraient être suivis d'une stabilisation, voire d'une baisse de la mobilité.

Ces deux thèmes (Peak car & Peak Travel) ont été abordés en octobre 2012 lors d'une table ronde organisée à Paris par le Forum international des Transports (<http://www.internationaltransportforum.org/jtrc/RoundTables/2012-Long-run-Trends/>), notamment par deux rapports signés Phil Goodwin pour l'un, Jean-loup Madre et alii pour l'autre. Ce que nous apprennent ces rapports confirme ce que nous avons indiqué dans les études ENERDATA-LET 2008. La mobilité automobile a atteint un plafond dans tous les pays anciennement industrialisés. Comme le montre le graphique ci-dessous, le Peak car est une réalité.

Figure 1. Passenger kilometres by private car and light trucks 1990-2009  
(Index 1990=100)



Source: International Transport Forum statistics.

L'intérêt de ce graphique est de montrer qu'au Japon, mais aussi aux Etats-Unis, le Peak car a été suivi d'une réduction de la mobilité automobile. Mais cela signifie-t-il pour autant une relative saturation de la demande de mobilité. Ce n'est pas certain car comme nous l'avons expliqué dans les précédents rapports et dans les premières pages de celui-ci, le Peak car peut très bien s'expliquer par une usure morale de la voiture mais pas par une usure morale de la mobilité. Si cette dernière se voit offrir des options alternatives pertinentes à l'automobile, c'est une forme de mobilité qui décroît, mais pas la mobilité en général. Pour certains déplacements en zone urbaine ou sur des distances courtes, l'automobile est avantageusement remplacée par les transports collectifs ou les modes doux. Mais pour des déplacements à longue distance, les modes à grande vitesse, le TGV sur certaines liaisons en Europe ou en Asie, mais surtout l'avion un peu partout dans le monde, sont de plus en plus attractifs.

Pour cette raison, nous insistons sur le fait qu'il ne faut pas confondre Peak car et Peak travel. D'autant que le transport aérien, malgré la hausse des prix du pétrole, malgré les taxes instaurées un peu partout dans les aéroports (Paris, Londres, Amsterdam...) continue sa progression comme en témoignent les carnets de commande d'Airbus et de Boeing. Une autre façon de rappeler que le Peak travel est encore devant nous est de se référer aux données d'avant la crise de l'Agence internationale de l'environnement concernant les données sur les émissions de gaz à effet de serre des transports en observant d'une part celles qui sont incluses dans le protocole de Kyoto et celles qui en sont exclues.

A l'échelle des 27 pays de l'Union européenne, les premières sont passées, de 1990 à 2006, de 779 à 992 millions de tonnes, soit une progression de 27%. La dispersion autour de cette moyenne est forte, -1% pour l'Allemagne, +17% pour la France, mais + 100% pour le Portugal et + 89% pour l'Espagne. Les pays ne sont pas tous au même stade de développement économique

Toujours pour les 27 pays de l'UE, les émissions de la seconde catégorie sont passées de 176 à 305 millions de tonnes, soit une progression de 73%. Sur ce total, le seul transport aérien est passé de 66 à 131 millions de tonnes, le reste étant représenté par le trafic maritime.

Ainsi, en prenant en compte l'ensemble des émissions du secteur des transports pour les 27 pays de l'Union, nous sommes passés de 955 à 1297 millions de tonnes, soit plus 36%. Dans ce total, de 1990 à 2006, le transport aérien, domestique et international, est passé de 83 à 157 millions de tonnes. Il représentait en 2006 12% du total des émissions contre 8,6% en 1990. Cette tendance s'est accentuée depuis dans la mesure où seul le transport aérien a continué à progresser depuis le déclenchement de la crise. Il représente maintenant près de 15% du total des émissions de gaz à effet de serre. Nous disposons ainsi de deux signaux importants.

Le premier est que la demande de transport aérien n'est pas concernée par le Peak travel, loin s'en faut. Cela confirme ce que nous disions sur la caractéristique « bien supérieur » du transport aérien qui contribue à répondre à la « préférence pour la variété ».

Le second est que le succès même du transport aérien va poser des problèmes du fait de sa contribution croissante aux émissions de gaz à effet de serre. Un problème d'autant plus crucial que ce mode est sans doute loin d'avoir atteint la saturation. Dans la perspective de la réduction sensible des émissions de gaz à effet de serre, ne sera-t-il pas nécessaire de prendre des mesures restrictives ?

Le comité pour la fiscalité écologique, mis en place en France à la fin 2012 et présidé par Ch. de Perthuis, vient de proposer un progressif alignement des taxes pesant sur le gazole par rapport à celles pesant sur l'essence (+ 1 centime par an). Cette mesure de bon sens, l'alignement des deux taxations, déjà envisagée par le gouvernement Jospin en 1997, mais jamais mise en place jusqu'à ce jour, prendra donc près de 30 ans pour être effective. Peut-on croire que les choses iront plus vite dans le domaine aérien ?

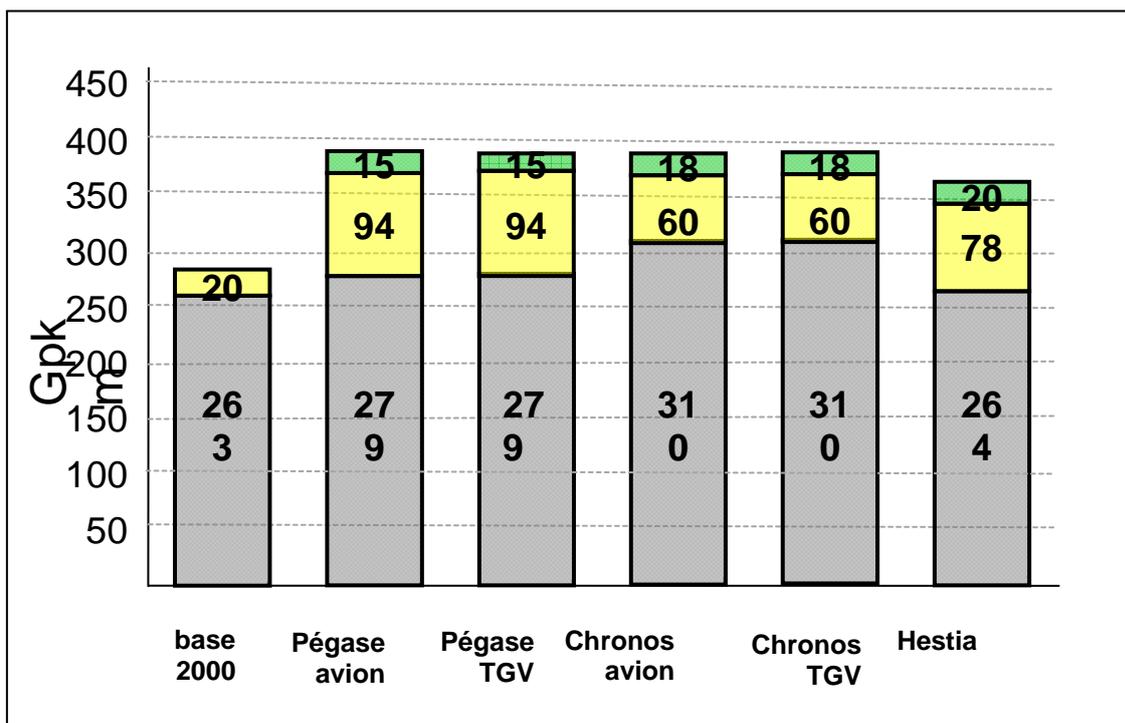
Ce qu'il faut envisager avec le vieillissement et l'enrichissement, c'est plutôt une certaine sagesse dans l'usage de son temps, par exemple sous la forme d'une remise en cause de la tendance à réduire la durée moyenne de chaque activité. L'intensification de la consommation pourrait se faire non pas en multipliant le nombre des activités, mais en donnant à chacune le volume de temps nécessaire à son déploiement. Comme le suggérait S. Linder, une attitude sage face à l'enrichissement tendanciel ne consiste pas seulement à faire croître toujours plus

le ratio quantité de biens et services consommés par heure. Pour certaines activités, ne pouvons-nous pas aussi chercher à préserver une valeur minimale au ratio nombre d'heures passées par quantité de biens ou services consommées ? La question mérite d'être posée pour les déplacements à grande distance mais aussi pour la mobilité quotidienne, locale et régionale.

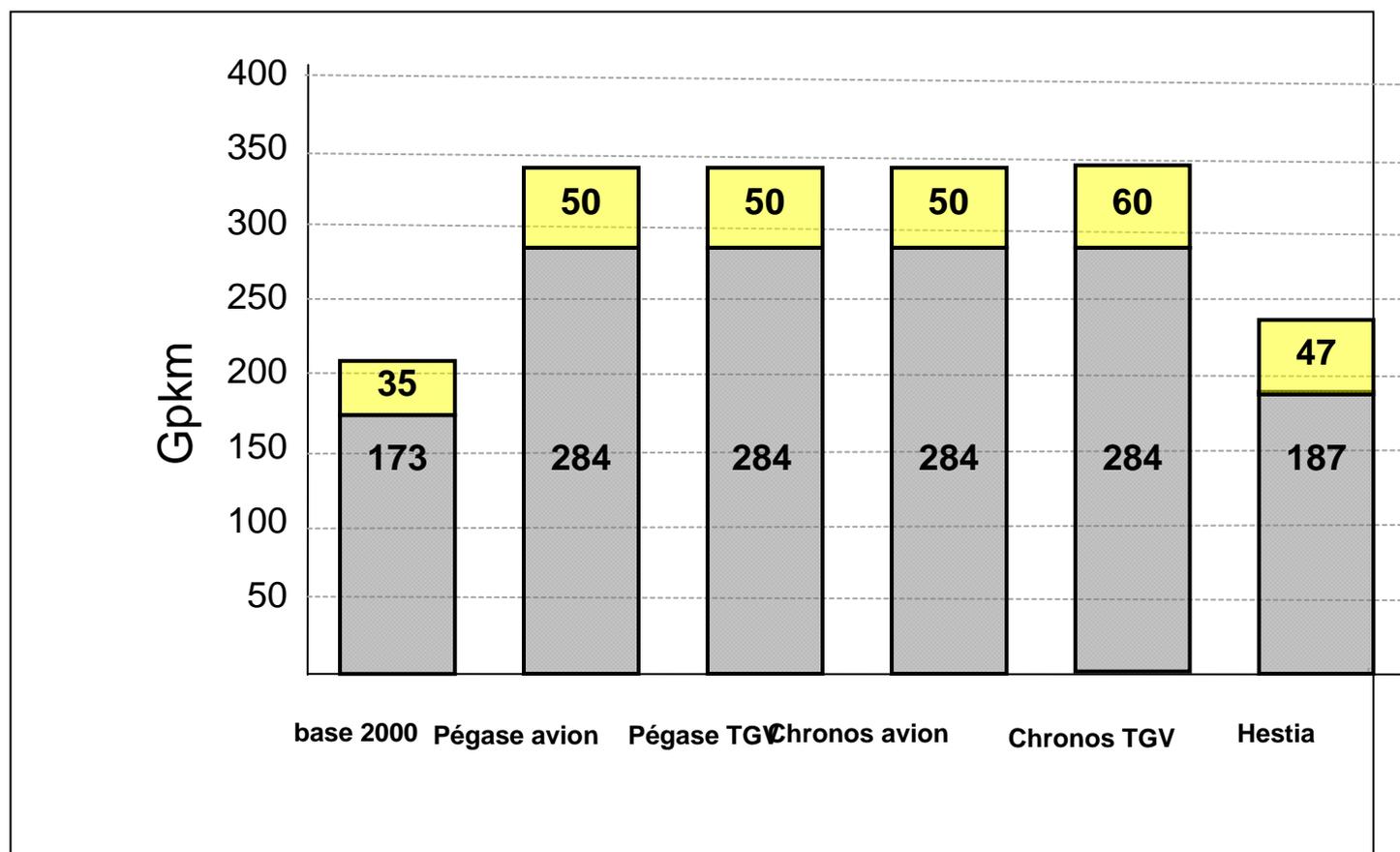
### 3) Les coûts collectifs et individuels des changements de comportements de mobilité

Dans la présentation de nos trois scénarios nous avons insisté sur les évolutions à attendre de la mobilité à longue distance. Comme le montre la figure 4, c'est elle qui se développe le plus à l'horizon 2050. Le plus remarquable dans cette évolution n'est pas seulement la progression en volume, mais aussi le changement de structure. Dans le scénario tendanciel, la préférence pour la vitesse conduit à un important développement de l'avion et du train à grande vitesse. Dans le même temps, l'automobile perd une grande partie de son attrait pour ce type de déplacements. Mais ce qui est vrai pour les grandes distances ne l'est pas du tout pour la mobilité régionale et locale. Comme le montrent les figures 6 et 7, la mobilité urbaine et la mobilité régionale (distances inférieures à 150km) connaissent des progressions significatives, tant pour la voiture particulière que pour les transports en commun.

**Figure 6 : Evolution de la mobilité urbaine dans les différents scénarios**



**Figure 7 : Evolution de la mobilité régionale dans les différents scénarios**



Cette évolution nous pose donc un double problème. Le premier interpelle les politiques publiques car cette hausse de la mobilité locale aura un coût important pour les finances publiques. Le second concerne les individus et leurs comportements de mobilité. Le résultat paradoxal, mais logique, des contraintes croissantes sur la mobilité à longue distance est au moins le maintien à un niveau élevé, voire le développement de la mobilité à courte et moyenne distance. Or cette dernière va devoir se faire sur un réseau routier ou dans des transports en commun qui seront l'un et l'autre plus congestionnés. Quelque chose comme le prix à payer pour la préférence pour la proximité qui caractérise le scénario Hestia.

### **3.1) Le coût collectif du report modal vers les transports collectifs**

Les politiques publiques en faveur de la mobilité durable mettent généralement l'accent sur le développement des transports collectifs de voyageurs. Cette orientation ne résulte pas d'abord des capacités propres de ce mode de transport, en principe caractérisé par des rendements croissants, mais par les limites rencontrées par la mobilité automobile. En France, et plus largement en Europe, la route est entrée dans une zone de rendements décroissants notamment pour les déplacements de proximité. La congestion réduit tendanciellement la zone de pertinence de la voiture et il devient de plus en plus coûteux, voire contre-productif (Mogridge 1980, Downs 1967) de chercher à résoudre le problème par un développement des réseaux routiers.

La mobilité automobile étant entrée dans une zone de rendements décroissants, les transports collectifs sont dotés d'une nouvelle mission. Ils ne sont plus seulement destinés à fournir une offre de transport public aux usagers captifs n'ayant pas accès à l'automobile. Ils doivent offrir une option alternative pertinente à la voiture avec, si possible, la capacité d'améliorer l'accessibilité (M. Wegener). Mais pour atteindre ce résultat, on ne peut se contenter de quelques opérations symboliques comme la mise en place de vélos en libre-service ou le développement de quelques voies de bus réservées. Compte tenu des succès rencontrés tant par les trains régionaux que par les lignes de métro, de tramway ou de bus en site propre, il est nécessaire de repenser totalement l'offre de transport collectif. Les besoins d'investissement sont alors immenses alors même que les coûts de fonctionnement sont le plus souvent loin d'être couverts par les recettes commerciales. Comment faire pour financer à la fois ces dépenses d'infrastructure et les subventions de fonctionnement ? Et quelle sera l'ampleur de ces besoins ?

Les seuls besoins en infrastructure sont évalués par le modèle TILT. Au début des années 2000, les investissements en infrastructures de transport représentaient en France 1,3% du PIB, soit 18 milliards d'euros. La répartition se faisait ainsi : 0,9% pour la route, 0,25% pour le ferroviaire et 0,25% pour les transports urbains. A l'horizon 2050, pour que les trafics puissent se développer dans les transports collectifs de façon à absorber la progression attendue des trafics, il n'est pas nécessaire de changer la part relative des investissements en infrastructures dans le PIB. Mais les 1,4% du PIB seront affectés tout à fait différemment. Les résultats sont respectivement les suivants :

- Scénario tendanciel : 0,7% pour la route, 0,5% pour le ferroviaire, 0,2% pour les transports urbains.
- Scénario Chronos : 0,3% pour la route, 1% pour le ferroviaire et 0,1% pour les transports urbains
- Scénario Hestia : 0,15% pour la route, 1,1% pour le ferroviaire et 0,15% pour les transports urbains

Ces chiffres, par le fait même qu'ils semblent irréalistes, nous aident à comprendre l'ampleur des changements à entreprendre dans la définition des budgets publics. Il sera nécessaire d'organiser un transfert massif des financements de la route vers le rail. Ce transfert ne sera pas seulement opéré de façon indolore au sein des budgets publics, il sera nécessaire de trouver ces financements au sein même du système de transport. Les usagers de la route seront donc obligés de payer plus pour se déplacer, que ce soit sous la forme de péage ou de taxes sur l'énergie.

Le besoin de financement ne concernera pas que les infrastructures. Les dépenses de fonctionnement auront aussi besoin d'argent public car lorsqu'un voyageur bascule de l'automobile vers les transports collectifs, il demande à la collectivité de substituer un travail rémunéré, celui des salariés de la firme de transport, à un travail non rémunéré, celui qu'il effectuait en tant que chauffeur du véhicule. Cette remarque est importante car elle pointe d'emblée le fond du problème, à savoir le transfert de coût que représente le passage du mode privé au mode collectif. Il est donc probable que nous aurons affaire à une rationalisation des dépenses publiques pour le transport collectif. Contrairement à certaines attentes, le développement des transports collectifs se fera sur les axes ou une massification est possible. Mais dans le même temps, des fermetures de lignes ou réductions de service sont à envisager là où les taux de remplissage seront trop faibles.

### **3.2) Comment les comportements s'adaptent-ils à la hausse des coûts de la mobilité?**

De façon générale, un monde dominé par les contraintes énergétiques et climatiques se traduira par une hausse des coûts de la mobilité. Que cela se fonde sur une baisse des vitesses et/ou sur une hausse des prix, le coût généralisé des déplacements va croître sensiblement.

Dans TILT, les différents budgets de ménages sont conçus comme un système de vases communicants où ce que l'on paye pour un certain choix de transport prend sur les possibilités de réaliser d'autres choix en matière de transport.

En d'autres termes, le modèle suppose que le budget est défini comme l'addition des budgets consacrés au transport en urbain, en région et à longue distance (pour chaque mode différent). A l'intérieur du budget de chaque échelle géographique, nous retrouvons les éléments liés à la distance, au prix des modes et à la répartition modale. En somme, le budget du ménage dédié au transport (au total) est défini par les passagers-kilomètres en courte distance, en régional et en longue distance, multipliés par le prix de chaque mode utilisé et la répartition modale pour chaque échelle géographique.

Le budget du ménage dédié au transport est conçu comme une « caisse unique ». De ce fait, si nous réalisons des gains sur le transport à courte distance (CD), il est possible de retrouver des réinvestissements dans le transport régional ou à longue distance (LD). Cependant, il est aussi

possible d'avoir des réinvestissements susceptibles d'intervenir sur l'ensemble du budget du ménage (nourriture, logement, loisirs, etc.)

A titre d'exemple, si le prix du litre d'essence atteignait, d'un jour à l'autre, 3 euros le litre (soit le double qu'aujourd'hui), la plupart des conducteurs français auraient du mal à se déplacer. Un conducteur moyen français roule 12 791 kilomètres par an, en payant environ 1600 euros par an en dépenses d'utilisation de véhicules (hors assurance et amortissement). Si ce prix augmentait de 25%, soit environ 2000 euros par an (ce qui équivaut à un litre d'essence à 3 euros), sans qu'une offre importante de transport en commun soit mise en place (pour soulager les effets de cette hausse du pétrole) on voit tout de suite qu'il serait plus coûteux de réaliser certaines activités, notamment celles impliquant de longues distances. Les choses se corsent si l'on considère un ménage bi-motorisé qui soit dans la moyenne du revenu net par ménage (environ 40 000€ par an). Il est fort probable qu'en réponse à un doublement du prix de l'essence, un ménage bi-motorisé choisisse de réduire son kilométrage total afin de garder son pouvoir d'achat sur d'autres rubriques ou qu'il choisisse de réduire ses dépenses (en loisirs, par exemple) pour garder son niveau de mobilité en voiture (le déménagement est une option aussi, nous l'aborderons dans la section suivante).

Dans la même ligne de raisonnement, et toujours à titre d'exemple, supposons que d'un jour à l'autre, la gratuité des transports en commun (TC) parisiens soit décidée. Cette politique publique, *a priori* intéressante pour la promotion d'une mobilité plus « verte », permettrait aux ménages de cette ville de faire des économies à hauteur d'environ 600 euros par an. Du fait qu'ils dépensent moins en TC, il est fort probable qu'une partie de ces ménages décide d'accéder à des modes qui offrent un choix plus grand d'opportunités (en allant plus loin grâce à la vitesse qu'ils offrent). Ceci est surtout possible du moment où un aller-retour à Barcelone, au hasard, coûte environ 100€.

Même si ces exemples sont, volontairement, caricaturaux, ils offrent un aperçu de ce que signifie l'évolution des budgets des ménages et/ou des caractéristiques intrinsèques à chaque mode (prix, vitesse, offre, etc.) en présence de politiques publiques de transport (ou des chocs systémiques) dans un système de vases communicants. Ce qui est important à retenir de cette logique est l'existence d'impacts croisés entre modes, entre échelles géographiques et entre rubriques du budget total des ménages. La suite de l'analyse en dépend.

Comme nous l'avons déjà soulevé, le jeu de vases communicants au niveau des budgets ménage n'est pas le seul qui opère dans les choix des agents économiques. En effet, un arbitrage qui mérite aussi un peu d'attention est celui lié au choix des localisations par rapport à un changement systémique. Comme nous le soulignerons ensuite, c'est le cœur du problème d'une différenciation accrue des comportements de mobilité par rapport au revenu.

- Dans le scénario Chronos, les ménages réagissent à cette situation par une hausse de la part relative de leur budget consacrée aux transports. La mobilité est tellement importante que d'autres consommations sont réduites en part relative. C'est le propre d'un bien inférieur. Quand le revenu diminue, ce qui est la conséquence de la hausse

des prix de l'énergie, la part du budget consacrée aux biens inférieurs augmente. D'une certaine façon, cela est aussi lié à la contrainte qui va peser sur la mobilité à longue distance. Comme nous l'avons indiqué dans la partie précédente, la préférence pour la vitesse est le propre d'une économie de variété où les biens supérieurs occupent une part croissante du revenu. Logiquement, lorsque celui-ci diminue, ce sont les biens inférieurs qui reviennent sur le devant de la scène. Ainsi les contraintes sur la mobilité se traduisent par une demande forte de mobilité locale et régionale, fût-ce au prix d'une hausse de la part du budget des ménages consacrée à la mobilité. Les comportements s'adaptent en acceptant le coût de la maîtrise collective de la mobilité. Par rapport à notre ratio  $\eta$ , cela signifie que la hausse du dénominateur (coût généralisé) est acceptée car la rareté rend plus désirables les opportunités présentes au numérateur.

- Dans le scénario Hestia, la logique est quelque peu différente. La hausse du coût généralisé modifie les comportements d'une autre façon. Un tri est fait entre les opportunités. Non seulement la mobilité de longue distance est réduite par rapport aux autres scénarios, mais il en va de même pour la mobilité régionale. Tout se passe comme si les ménages cherchaient toujours à maximiser le ratio  $\eta$ , mais sous contrainte de ne pas faire croître le coût total de la mobilité. Le dénominateur étant fixé, une sélection entre les mobilités est opérée au numérateur de façon à ne pas dégrader le ratio. Le résultat est une préférence pour les activités aisément accessibles, ou, ce qui revient au même, une préférence pour la proximité. Comme le montre la figure 6, la mobilité urbaine, y compris en voiture particulière, demeure donc à un niveau élevé, le même qu'en 2000. Il est donc vain de penser que la préférence pour la proximité signifie un monde sans voiture. Mais cela n'empêche pas un fort développement des transports collectifs.

De façon générale, quel que soit le scénario retenu, un monde où la mobilité s'oriente plus vers la proximité est aussi un monde où il est nécessaire d'accepter une certaine promiscuité, dans les transports collectifs bien sûr mais aussi dans les transports individuels. Compte tenu de la hausse du coût des déplacements automobiles, il est en effet fort probable que le covoiturage se développera afin de partager les coûts entre plusieurs occupants. Ce changement de comportement ne sera pas le moindre. Espace éminemment privé, symbole de l'autonomie de l'individu, la voiture sera pour partie socialisée. Ce qui sera sans doute à l'origine d'une autre évolution des comportements dont nous laissons l'examen à nos collègues sociologues ou psychologues.

## Conclusion

Le premier résultat de notre exercice de prospective est simple. Il est inscrit dans le scénario tendanciel. Pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur des transports, la première des solutions à mettre en œuvre est celle d'une rapide diffusion des nouvelles technologies. Elles peuvent nous aider à faire plus de la moitié du chemin à parcourir. Mais depuis le début des années 2010, la pénétration des véhicules électriques ou hybrides est très faible dans le parc automobile français. Nous sommes aujourd'hui très éloigné des hypothèses faites au moment du lancement du Grenelle de l'environnement et dans la première étude ENERDATA-LET. Les ventes de voitures particulières ont fortement baissé en France depuis la fin de la prime à la casse en 2011 et l'entrée en récession. Il en va de même des trafics et des émissions liées au trafic routier (Voir le rapport n°5). Mais les véhicules achetés sont essentiellement des véhicules thermiques. Pour que les effets de la technologie se diffusent dans le parc, il faudrait que les acheteurs d'automobiles changent radicalement leurs préférences. On n'en prend pas le chemin !

Il se pourrait donc que nous soyons obligés d'insister sur l'autre partie du chemin. Pour cela nous devons évaluer les inflexions consécutives à des changements de comportement. L'intérêt des pistes que nous avons présentées ici n'est pas d'être réaliste, mais de montrer ce que sont les fondements microéconomiques d'une autre optimisation dans les choix individuels de mobilité. Lorsque des « macromotives » viennent imposer leur loi aux comportements individuels, nous avons maintenant une idée de ce que cela signifie. Et nous nous rendons aisément compte que cela équivaldrait à une rupture par rapport aux tendances passées, c'est-à-dire présentes.

- Une première rupture concerne le transport aérien. Etant donné les fortes potentialités de croissance des trafics, et malgré les progrès techniques attendus, le transport aérien va devenir un gros consommateur d'énergie fossile. Que faut-il faire face à ce risque ? Sanctuariser le transport aérien, au nom de la modernité, et symétriquement faire peser des contraintes encore plus lourdes sur les autres secteurs, notamment le transport routier de voyageurs ? Ou au contraire placer le transport aérien sous tutelle afin qu'il ne se révèle pas prédateur par rapport aux autres activités de transport ? Voilà en tout cas un beau dilemme pour les politiques publiques !
- Une seconde rupture accompagne le développement, plutôt contraint, de la préférence pour la proximité. Quel que soit le scénario, le trafic local de voyageurs va rester important y compris en voiture particulière. Ce trafic de voyageurs va entrer de plus en plus en conflit avec le trafic de marchandises, qui sera lui aussi marqué par une préférence pour la proximité.

En tenant compte du coût associé à ces deux ruptures, on comprend pourquoi Thomas Schelling, chargé dès les années 80 de réfléchir pour les Etats-Unis aux enjeux environnementaux, indiquait que le plus difficile à obtenir en matière de réduction des gaz à effet de serre serait l'accord international sur les objectifs. Cet accord suppose en effet que les pays riches accomplissent la plus grande partie des efforts. Le sommet de Copenhague en décembre 2009 nous a montré qu'il avait vu juste.

## Références

ADEME- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (2003), *Les Energies et Matières Renouvelables en France - Situation et perspectives de développement dans le cadre de la lutte contre le changement climatique*, Débat National pour l'Energie. Site ADEME : [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

Alternative Fuels Contact Group (2003), *Market development of alternative fuels*,

BANISTER, D, HICKMAN, R and STEAD, D (2006) Looking over the Horizon: Visioning and Backcasting (VIBAT)

BANISTER, D., D. Stead, P. Steen, J. Akerman, K. Dreborg, P. Nijkamp, R. Schleicher-Tappeser (2000), *European Transport Policy and Sustainable Mobility*. Spon, London.

BANISTER, D., PUCHER, J., LEE-GOSSELIN (2005), M. *Making sustainable transport politically and publicly acceptable: Lessons from the EU, USA and Canada*. Book Chapter. (<http://www.itls.usyd.edu.au/>)

BANISTER, D., STEAD, D., STEEN, P., ÅKERMAN, J., DREBORG, K., NIJKAMP, P. and SCHLEICHER-TAPPESEER, R. (2000) *European Transport Policy and Sustainable Mobility*. London.

BAUMOL, W.T. (1973) Income and Substitution Effects in the Linder Theorem. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 87, No4 (Nov. 1973), pp. 629-633

BECKER, G. GLAESER, K. & MURPHY, M. (1999) Population and Economic. *The American Economic Review*, Vol. 89, No. 2, Papers and Proceedings of the One Hundred Eleventh Annual Meeting of the American Economic Association (May, 1999), pp.145-149

BORIO C. & FILARDO A. (2007) *Globalisation and inflation: New cross-country evidence on the global determinants of domestic inflation*. BIS Working Papers No 227

CHANAS L. (1997), *Le développement durable : de la théorie à la pratique – Le cas du transport routier*, Mémoire pour le DEA d'Economie des Transports, présenté et soutenu le 25/9/1997, 96p.

CLEMENT K. (1995) *Backcasting as a Tool in Competitive Analysis*. University of Waterloo. ISBM Report 24

- COMBES, P.P. LAFOURCADE, M. THISSE, J.F. TOUTAIN, J.C. (2008) The rise and fall of spatial inequalities in France: a long-run perspective. Working paper N° 2008-54. Paris School of Economics
- CROZET Y. (2002), *Prospective pour une mobilité durable*, Transports, n°416, pp. 413-424.
- CROZET Y., JOLY, I., (2004), *Budgets temps de transport: les sociétés tertiaires confrontées à la gestion paradoxale du « bien le plus rare*. Les Cahiers Scientifiques du Transport N° 45/2004 - Pages 27-48
- CROZET Y., MUSSO P., MARLOT G. (coord.) (2003), *Réseaux, Services, Territoires : Horizon 2020*, Editions de l'Aube, La Tour d'Aigues, 272 p.
- CROZET, Y. JOLY, I.(2004). "Budgets Temps de Transport: Les Sociétés Tertiaires Confrontées à la Gestion Paradoxale du Bien le Plus Rare." Les Cahiers Scientifiques du Transport 45 (2004): 27-48.
- FOLKE, C. Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses *Global Environmental Change* 16 (2006) 253–267
- GOODWIN Ph. (2012), Peak travel, peak car and the future of mobility, ITF, OCDE, October 2012
- HICKMAN R., BANISTER D. (2005) *Towards a 60% Reduction in UK Transport Carbon Dioxide Emissions: A Scenario Building Backcasting Approach*.
- HICKMAN R., BANISTER D. *VIBAT Study*. <http://www.ucl.ac.uk/~ucft696/vibat2.html>
- HOLLING, C.S. Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems* (2001) 4: 390–405  
<http://www.efit.gov.uk/docs/2007/climatechange/index.htm>  
[http://www.ucl.ac.uk/~ucft696/documents/eceee\\_paper\\_04.05%20final1.pdf](http://www.ucl.ac.uk/~ucft696/documents/eceee_paper_04.05%20final1.pdf)
- HULME, M. NEUFELDT, H. COLYER, H. RITCHIE, A. ADAM 2009. Adaptation and Mitigation Strategies: Supporting European Climate Policy. The Final Report from the ADAM Project. Revised June 2009. Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, UK
- IPCC Glossary Working Group III, p. 818" (PDF). <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/ar4-wg3.pdf>. Consulté le 2010-11-26.
- KATO, H. ITO, K. SHIBAHARA, N. HAYASHI, Y. Estimating the amount of additional mass transit needed to reduce CO2 emissions from regional passenger transport in Japan. WCTRS 2010, Lisbon.
- KEYNES, J.M. (1937) Some economic consequences of a declining population, *The Eugenics Review*, Vol. 29, pp. 13-17.
- LET-ENERDATA (Y. CROZET, H.G. LOPEZ-RUIZ, B. CHATEAU, V. BAGARD), (2008) Comment satisfaire les objectifs internationaux de la France en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution transfrontières? Programme de recherche consacré à la construction de scénarios de mobilité durable. Rapport final. PREDIT, Paris.

- LET-ENERDATA. (2008) *Scénarios de mobilité durable sous contrainte d'un facteur 4*.  
www.let.fr
- LINDER, S. (1970), *The Harried Class of Leisure*, New-York and London Columbia, University Press.
- LOPEZ-RUIZ H.G. (2009) *Environnement & Mobilité 2050: des scenarios pour le facteur 4 (-75% de GHG en 2050)*. PhD thesis. University of Lyon, October 2009.
- LOPEZ-RUIZ H.G. (2010) *Recommendation for Adaptation Strategies to Mitigation*. IEEE. Intelligent Transportation Systems.
- LOPEZ-RUIZ, H.G. & CROZET, Y. (2011) *La voie étroite du « facteur 4 » dans le secteur des transports : quelles politiques publiques, pour quelles mobilités ?* RTS (Recherche Transports Sécurité), *à paraître*.
- LOPEZ-RUIZ, H.G., CROZET, Y. *Sustainable Transport in France: Is a 75% Reduction in Carbon Dioxide Emissions Attainable?* Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Board of the National Academies. ISSN 0361-1981. Issue Volume 2163 / 2010. pp 124-132.
- McKINNON, A.C. (2007) *CO2 Emissions from Freight Transport in the UK*. UK Commission for Integrated Transport, London.
- McKINNON, A.C. (2007) *The Decoupling of Road Freight Transport and Economic Growth Trends in the UK: An Exploratory Analysis*. Transport Reviews, Vol. 27, No.1, 2007 pp.37-64.
- MADRE J.L. et alii (2012), *Are we heading towards a reversal of the trend for ever greater mobility?* ITF, OCDE, October 2012
- PHELPS, E.S. (1973) *The Harried Leisure Class: A Demurrer*. The Quarterly Journal of Economics, Vol. 87, No. 4 (Nov., 1973), pp. 641-645.
- SCHADE, W. HELFRICH, N. & PETERS, A. *A Transport Scenario for Europe until 2050 in a 2-Degree World*. WCTR2010, LISBON.
- SCHÄFER, A., et al. (2009), *Transportation in a Climate-Constrained World*, MIT Press, Cambridge Massachusetts.
- SCHAFFER, A., Victor, D.G., (2000), *The future mobility of the world population*, Transportation Research Part A 34 171-205 09, National Academy of Engineering.
- SCHAFFER, A., VICTOR, D.G.,(2000) *The future mobility of the world population* Transportation Research Part A 34 171-205
- SCHELLING, Th.. 1978. *Micromotives and Macrobehaviors*. Norton
- SCHIPPER, L, NG, W-S, GOULD, B & DEAKIN, E. 2010. *Carbon in Motion 2050 for North America and Latin America*. Prepared for the Institute for Transportation Policy Studies, Japan.
- SCHIPPER, L., C. Marie-Lilliu, and R. GORHAM, *Flexing the Link Between Transport and Greenhouse Gas Emissions*. 2000, International Energy Agency: Paris.

- SPERLING, D. and LUTSEY, N. (2009), Energy efficiency in Passenger Transportation, The Bridge, Summer 20. National Academy of Engineering.
- SPERLING, D. and LUTSEY, N. (2009), Energy efficiency in Passenger Transportation, The Bridge, Summer 20. National Academy of Engineering.
- STERN, N. (2006) *Stern Review: The economics of climate change*. HM Treasury.
- TAKATS, E. (2010) Ageing and asset prices. BIS Working Papers No 318. Août 2010
- UBBELS, B. & VERHOEF, E.T. (2006). Acceptability of road pricing and revenue use in the Netherlands. *European Transport \ Trasporti Europei* 32 69-94.
- VENABLES, A.J. (2005) Spatial disparities in developing countries: cities, regions, and international trade. *J Econ Geogr* (2005) 5 (1): pp. 3-21
- ZAHAVI, Y. TALVITIE, A.(1980) "Regularities in Travel Time and Money Expenditures." *Transportation Research Records* 750 (1980): 13-19.
- ZAHAVI, Y., (1981) *The UMOT-Urban Interactions*. DOT-RSPA-DPB 10/7. US Department of Transportation, Washington, DC.
- ZAHAVI, Y., Talvitie, A., (1980) *Regularities in travel time and money expenditures*. *Transportation Research Record* 750, 13-19.