

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

Document de synthèse de la recherche conduite par le consortium ENERDATA - LET¹

La prise en compte des contraintes climatiques et énergétique est solidement installée au sommet de l'agenda des politiques publiques. De la loi sur l'air et l'usage rationnel de l'énergie (1996) à la transition écologique et énergétique (2012), en passant par la loi « Solidarité et renouvellement urbain » (2000) et bien sûr le Grenelle de l'environnement, les ambitions demeurent, notamment pour le secteur des transports. Pour évaluer les possibilités d'atteindre le « facteur 4 » dans ce secteur à l'horizon 2050, le PREDIT 3 a lancé des recherches dès le début des années 2000. L'équipe constituée par ENERDATA et le LET a proposé, dès 2007, trois scénarios contrastés. Le premier (Pégase) montrait qu'avec une croissance économique tendancielle de 1,9%/an, les progrès technologiques (véhicules électriques, bio-carburants...) ne pouvaient assurer, au mieux, que la moitié du chemin, un facteur 2. L'autre moitié supposait que soit réalisé, pour les marchandises et les voyageurs, un massif report modal vers les transports collectifs, sur la route comme sur le fer.

Le second scénario (Chronos²) envisageait donc de lourds investissements en infrastructures et une hausse tendancielle du coût généralisé de la route (moindres vitesses et taxation accrue). Le troisième scénario (Hestia) imaginait une contrainte plus forte sur la croissance de la mobilité, notamment le transport aérien. Il supposait une préférence généralisée pour la proximité, c'est-à-dire une profonde transformation des préférences individuelles et collectives. La suite de ce travail de prospective a été lancée dans le cadre du PREDIT 4, un an après qu'une violente crise financière eut provoqué une récession suivie d'une phase de croissance économique réduite, encore d'actualité six années plus tard.

Dans la recherche conduite de 2009 à 2013 (voir la liste des rapports ci-dessous), il a donc été nécessaire de revoir les scénarios pour tenir compte d'hypothèses différenciées de croissance économique. En outre, certains objectifs du Grenelle ont été battus en brèche : le Schéma national des infrastructures de transport (SNIT) a été largement revu à la baisse par la commission « Mobilité 21 », le fret ferroviaire a fortement reculé avant de se stabiliser à 60% de son niveau de 2001 ; les lignes de TCSP ne se sont pas développées aussi rapidement que prévu, le transport aérien a très vite repris sa croissance après 2009 alors que le trafic TGV plafonne. Par ailleurs, l'écotaxe PL n'a pu être mise en place dans sa configuration initiale. Enfin, changement de décor majeur, les contraintes budgétaires qui pèsent sur les finances publiques se sont accentuées ce qui change totalement la donne. Il n'est plus possible de programmer des investissements tous azimuts dans les transports collectifs.

Ces nouveaux scénarios et ce nouveau contexte sont précisés dans une première partie (1). Sur cette base, une seconde partie analyse les nouveaux défis auxquels se heurtent les politiques publiques en

¹ Version corrigée et complétée en 2014

² Le Grenelle de l'environnement contenait beaucoup de mesures proches du scénario Chronos (développement des TGV, des TER et des tramways, promotion du véhicule électrique, éco-taxe PL...)

mettant le doigt sur la question la plus délicate, celle des coûts de la mobilité. La notion de « vitesse généralisée sociale » aide à comprendre cette nouvelle donne (2). Sur cette base réaliste, nous présentons dans une dernière partie les recommandations de la recherche pour les politiques publiques à l'horizon 2050 (3).

Liste des rapports de recherche de l'étude ENERDATA-LET 2009-2013

Tous ces rapports peuvent être consultés et téléchargés sur la base de données ISIDOREDD <http://isidoredd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/document.xsp?id=Temis-0080688> et sur le site du Predit. www.predit.prd.fr

Rapport n°1 : Crise économique et scénarios de mobilité durable, Septembre 2010, 69 pages

Rapport n°2 : Spatialiser les environnements urbains et périurbains dans une logique « ville post carbone », Décembre 2011, 37 pages

Rapport n°3 : Définition des contenus des politiques publiques : des « *policy packages* » aux « *policy paths* », Mai 2013, 37 pages

Rapport n°4 : Evaluation des politiques publiques, Août 2011, 56 pages

Rapport n°5 : En quoi les politiques de transports de voyageurs (urbains et interurbains) peuvent aider à surmonter la crise ? Juin 2013, 50 pages

Rapport n°6 : Explorer en quoi les nouvelles technologies routières peuvent nous aider à surmonter la crise, Janvier 2012, 41 pages

Rapport n°7 : Spatialisation des flux inter-régionaux, mai 2012, 57 pages

Rapport n°8 : Quantifier les scénarios de mobilité durable sur l'ensemble de l'Union Européenne, Avril 2012, 24 pages

Rapport n°9 : Adapter les politiques publiques à leur échelon de pertinence, Juin 2012, 18 pages

1) De nouveaux scénarios et un nouveau contexte pour les politiques publiques

La mobilité est entrée dans un nouvel âge. Il ne s'agit pas d'une révolution soudaine consécutive à la brutale crise financière et économique que nous traversons. Ce n'est pas non plus la résultante des seules contraintes climatiques et énergétiques. Prolongements de tendance (Schäfer & alii, 2000, 2009) et inflexions (Goodwin 2012, Madre 2012) se conjuguent depuis le début du siècle³. Mais comme nous allons le voir dans un premier temps, avec les nouveaux scénarios, la crise accélère cette transition, en révélant, par exemple, les limites du transport ferré (voir rapports n°5 et n°9). Ce qui nous conduira dans un second temps à rappeler que la crise, notamment celle des finances publiques, remet en cause les généreuses subventions à la mobilité assurées par les budgets publics de tous les échelons du millefeuille administratif (voir rapport n°4).

³ Plafonnement du trafic automobile depuis 2002, plafonnement des trafics TGV depuis 2009, fort développement de l'aérien avec les compagnies *low cost*, covoiturage, domination confirmée du transport routier de marchandises...

a) Trois scénarios prenant en compte la crise économique et financière

Les scénarios de mobilité durable présentés en 2007 dans le cadre du PREDIT 3⁴, ont été construits et quantifiés sur la base d'une croissance économique relativement soutenue sur l'ensemble de la période, autour de 1,5%/an en moyenne. Le choix avait été fait de conserver, pour chaque scénario, le même taux de croissance économique. Il ne s'agissait pas d'être réaliste, mais de mieux faire émerger le rôle des autres facteurs de la mobilité. Le facteur croissance économique est particulièrement décisif, du fait du couplage entre croissance et mobilité des personnes et des marchandises. Il était donc préférable de le stabiliser. C'est ainsi que nous avons pu mettre en lumière le rôle clé de l'élasticité « distance/PIB » d'une part et « vitesse/PIB » d'autre part. La même croissance économique, associée à des valeurs différentes de ces variables clés donne des résultats sensiblement différents en termes de mobilité. Les trois familles de scénarios avaient donc pour but de souligner le rôle de ce qui, par rapport à la croissance économique, peut apparaître comme des « signaux faibles ».

En 2008 est survenue l'actuelle crise économique et financière, d'une ampleur sans doute jamais vue depuis le précédent des années 1930. A sa suite, un scénario de stagnation économique pourrait se produire comme au Japon depuis le début des années 1990. Ici comme là-bas, l'importance de la crise bancaire et financière, la difficulté à sortir de la spirale du surendettement conduiraient les acteurs privés à réduire durablement leur consommation et leurs investissements, sans que les déficits publics réussissent à enrayer le phénomène.

Il est donc nécessaire d'intégrer cet élément dans les scénarios initiaux qui doivent être revisités dans leurs dimensions macro et microéconomiques. Un changement de taux de croissance de l'économie est susceptible d'impacter les scénarios de mobilité durable et leurs enseignements de trois façons :

- Pour les scénarios Pégase et Chronos, qui reposent entre autres sur des élasticités des vitesses moyennes de déplacement au PIB, les hypothèses de croissance affectent « mécaniquement » la demande de vitesse et donc les volumes de trafic et les parts modales, c'est-à-dire *in fine* les consommations d'énergie et les émissions de GES
- Pour tous les scénarios, les hypothèses/projections retenues sur les volumes d'immatriculations neuves, les parcs, le développement des infrastructures ferroviaires,... doivent être mises en cohérence avec le rythme de la croissance du PIB
- Pour tous les scénarios, le volume du trafic de marchandises est déterminé par la croissance économique de la France, de ses voisins européens et du reste du monde.

Ce qui doit être précisé en effet, ce sont les modifications de structure qui pourraient accompagner un ralentissement durable de la croissance. En quoi les modes de vie et les comportements de mobilité, mais aussi les choix des entreprises (production, distribution, localisation...) pourraient-ils être modifiés par la nouvelle donne ?

Pour répondre à ces questions, trois scénarios types d'articulation entre crise et croissance économiques ont été élaborés en distinguant pour chacun d'eux la période 2010-2025 d'une part et 2025-2050 d'autre part. L'objectif de cette segmentation est de tenir compte des impacts de la crise à court et moyen termes que nous résumons en première approximation à un taux de croissance. Comme le montre le tableau n°1, les trois scénarios correspondent à des taux de croissance s'élevant respectivement à +1,0 ou -0,5% sur les 15 prochaines années, des taux volontairement plus faibles

⁴ Scénarios PEGASE, CHRONOS et HESTIA in " Comment satisfaire les objectifs internationaux de la France en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution trans-frontières" rapport final PREDIT 3 / GO 11 « Politiques de transports »

que celui de 1,5% retenu dans l'étude de 2007. A la suite de ces quinze années, un certain retour à la croissance se manifeste dont la forme et l'ampleur conduisent à qualifier les scénarios dont les noms, comme Pégase, Chronos et Hestia se réfèrent aussi à la mythologie grecque.

- Le scénario Chronos devient « Pénélope ». Il correspond à un taux de croissance de 1% dans les 15 prochaines années comme dans les 25 années qui suivent. Il s'agit d'un scénario « à la japonaise », en référence à la situation que ce pays connaît depuis près de 25 ans. Suite à la crise des marchés mobiliers et immobiliers au tout début des années 90, le Japon a vu son taux de croissance moyen baisser à un niveau proche de 1 à 1,5% par an. La digestion de la période de spéculation a été très longue et il s'y ajoute des phénomènes structurels comme le vieillissement et le repli démographiques. Il en résulte une consommation peu dynamique. L'Etat doit en permanence soutenir la demande mais au prix de déficits qui ont conduit la dette publique à dépasser les 200% du PIB ! Comme Pénélope qui défaisait la nuit ce qu'elle avait tissé dans la journée, l'économie japonaise avance au ralenti. C'est le scénario d'une croissance durablement remise en cause dans son principe même, quelque chose qui se rapproche des thèses de la croissance zéro.
- Le scénario Hestia devient « Cassandre » car il est le plus pessimiste. Il envisage une croissance négative pour les 15 prochaines années (-0,5%), suivie d'un rebond modeste, +1,5% par an au cours des 25 années suivantes. Autant dire que par rapport au scénario tendanciel présenté en 2007, la croissance perdue d'ici à 2025 ne serait pas retrouvée dans la période suivante. Le niveau de vie en 2050 ne serait que de 35% supérieur à celui de 2010 au lieu de 48% dans le scénario Pénélope et de 80% dans les scénarios 2007. Cela parce que la séquence crise-croissance serait plus marquée, avec son cortège de chômage et d'inégalités. C'est un scénario qui se rapproche beaucoup de ce qu'a connu la Grande-Bretagne au cours de la période 1920-1960 : quinze années de repli liées aux conséquences financières de la Première Guerre mondiale et de la crise de 1929, suivies de 25 années de croissance faible qui ont conduit le Royaume-Uni à s'appauvrir durablement par rapport à ses voisins français, allemands ou néerlandais.
- Le scénario Pégase devient « Phénix » car la croissance économique, après une quasi-disparition (0% pendant 15 ans) renaît ensuite de ses cendres pour atteindre 3% par an pendant 25 ans, un peu sur le modèle de la France des années 1933-1973 qui a vu les trente Glorieuses succéder à plus de 10 années de croissance faible ou négative du fait de la crise puis de la guerre. L'effet de rattrapage permet dans ce cas-là de combler le retard accumulé dans la première phase. Le PIB se retrouve en 2050 plus de deux fois supérieur à celui de 2010, alors qu'un taux de croissance stable de 1,5% pendant 40 ans ne permet qu'une hausse de 80%.

Tableau 1 : Les trois scénarios crise-croissance par comparaison au scénario tendanciel

		Tx. de croissance 2010-2025.	Tx. de croissance 2025-2050.	Ratio PIB 2050/ PIB 2010
Sc1	Penelope	1%	1%	1,5
Sc2	Cassandre	-0,5%	1,5%	1,3
Sc3	Phénix	0%	3%	2,1
Scénarios 2007	PégaseChronosHestia	1,5%	1,5%	1,8

Derrière ces évolutions du PIB, se profilent des transformations structurelles des facteurs de croissance. Celles qui nous intéressent au premier chef au regard de la mobilité des personnes touchent à la démographie, à l'emploi et aux budgets-temps.

En matière démographique, une baisse relative - ou une moindre croissance - de la population active est un facteur de réduction de la croissance potentielle à long terme. On peut ainsi envisager une réduction de l'indicateur conjoncturel de fécondité qui passerait de 1,9 à 1,7 à partir de 2015 (hypothèse basse INSEE), en rupture avec les tendances les plus récentes. Dans le même temps, la perspective d'une progression du chômage, pourrait faire descendre le flux migratoire à 50 000 / an (hypothèse basse INSEE) contre près de 100 000 actuellement.

En matière d'emploi, l'inadaptation croissante de l'appareil productif français pourrait pousser de fait le chômage à la hausse, avec un taux de chômage structurel pouvant atteindre 15% de la population active en 2025, et pourrait se traduire par une évolution négative de l'élasticité productivité/formation de la main d'œuvre qui tomberait à 1,5 (contre 1,8 dans le passé récent).

Du côté des budgets-temps, il faut relier ces évolutions sur la population active et l'emploi à l'évolution du temps de travail dans le cycle de vie, soit 1700 heures /an de travail effectif en 2025, mais seulement 1600 en 2050. L'âge de la retraite pourrait être en moyenne de 65 ans en 2025-2050. Le tableau 2 résume les différences entre les scénarios 2007 (avant crise) et la nouvelle famille de scénarios (après crise).

Tableau 2: Eléments caractéristiques des 3 scénarios de crise-croissance

	PEGASE / PHENIX		PENELOPE / CHRONOS		HESTIA / CASSANDRE	
	2025	2050	2025	2050	2025	2050
Fertilité (enfants / femme)						
Avant crise	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Après crise	1,9	1,9	1,7	1,7	1,8	1,7
Immigration (milliers / an)						
Avant crise	80,0	100,0	80,0	100,0	80,0	100,0
Après crise	50,0	150,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Heures travail / an						
Avant crise	1 702	1 833	1 702	1 833	1 702	1 833
Après crise	1 739	1 833	1 739	1 739	1 656	1 610
Emploi / population en âge de travailler						
Avant crise	85%	85%	85%	85%	85%	85%
Après crise	77%	90%	83%	83%	75%	83%
Indice de productivité du travail (100 = 2000)						
Avant crise	153	214	153	214	153	214
Après crise	142	227	138	196	136	194
PIB (indice 100 = 2000)						
Avant crise	146	212	146	212	146	212
Après crise	117	239	127	165	105	149
PIB / habitant (indice 100 = 2000)						
Avant crise	135	187	135	187	135	187
Après crise	109	206	120	155	99	138

b) Moindre progression et hausse du coût de la mobilité

Les différences de taux de croissance économique se traduisent en différents niveaux de mobilité, pour les personnes comme pour les marchandises, ce qui se traduit par des émissions de CO₂ qui changent d'un scénario à l'autre, surtout lorsque l'on compare les scénarios d'avant crise (2007) à ceux de l'après-crise. Mais comme le montre le tableau 3, bien que les flux de voyageurs et de frets soient généralement plus faibles dans les nouveaux scénarios (sauf Phénix en 2050), les impacts sur les émissions de CO₂ sont relativement modestes.

Tableau 3: Emissions de CO₂ et mobilité des personnes et des marchandises

	Pégase	Phénix	Chronos	Pénélope	Hestia	Cassandra
	2025	2050	2025	2050	2025	2050
Voyageurs :	milliers	de km	par an et	par	personne	
Avant crise	18,0	20,4	17,8	19,4	16,2	16,2
Après crise	16,7	21,1	17,0	17,8	16,2	16,2
Marchandises :	milliards	de Tkm	par an			
Avant crise	415	526	416	528	371	420
Après crise	361	568	368	448	332	369
Emissions	de CO₂	millions	de tonnes	par an		
Avant crise	80	69	69	46	66	43
Après crise	68	67	65	42	59	36

Ainsi, dans le scénario Pénélope, les émissions de CO₂ en 2050 sont de 9% inférieures à celles du scénario Chronos (42 millions de tonnes au lieu de 46) alors que la croissance économique a été presque deux fois plus faible (+ 50% de PIB sur 40 ans au lieu de +80%, cf. Tableau 1). On voit donc qu'il serait vain d'espérer que la crise économique, ou la moindre croissance, résolve à elle seule la question des émissions de CO₂; dans le scénario Chronos, les émissions de CO₂ en 2050 représentent 39% des émissions de 2000 alors que l'on atteint 35% avec Pénélope. Pour Pégase/Phénix et Hestia/Cassandra, les émissions de CO₂ de 2050 représentent 58 et 57% d'une part, et 39 et 31% d'autre part des émissions de 2000.

Pour les 3 scénarios, nous obtenons donc un facteur de réduction compris entre 2 et 3. Une croissance plus faible nous rapproche du résultat souhaité : le facteur 4. Mais n'oublions pas que les scénarios se distinguent non seulement par le taux de croissance économique, mais par l'évolution des modes de vie. C'est pourquoi, dans les scénarios Hestia-Cassandra, la mobilité des voyageurs ne change pas de 2025 à 2050 et les flux de marchandises progressent beaucoup moins fortement que dans les deux autres scénarios, ce qui pourrait provenir d'une hausse tendancielle des coûts de la mobilité du fait des contraintes croissantes sur les finances publiques.

Se projeter à l'horizon 2050, ce n'est donc pas prévoir l'avenir mais comprendre ce que sera dans les prochaines décennies le nouveau contexte de la mobilité (voir rapport n°3). Il sera caractérisé, en France comme en Europe (voir rapport n°8) par des modifications dont nous observons déjà les premiers signes, difficiles à décrypter car ils vont dans deux directions apparemment opposées.

- Du fait de la rareté de l'énergie et des contraintes sur les budgets publics, il faudra sans doute payer plus pour se déplacer. Des redevances d'usage vont progressivement se généraliser, pour les véhicules en circulation, PL demain, VL ensuite ; mais aussi pour les véhicules en stationnement (dépénalisation du stationnement). Qu'on le veuille ou non, la route va rejoindre les autres industries de réseau pour sortir progressivement, avec le développement des redevances, de la catégorie des services non marchands.
- Par le fait même, vont se développer des usages plus collectifs de la route (covoiturage, autocars...) qui réduiront les coûts de la mobilité pour les particuliers et pour les budgets publics. Y compris en remettant en cause notre rapport à l'automobile (propriété, voiture solo, puissance, poids...).

Ce que nous révèle le scénario *Cassandra*, c'est l'émergence possible d'un autre rapport à la mobilité et aux moyens de transport. Si de nombreux jeunes adultes rechignent aujourd'hui à passer le permis de conduire et préfèrent investir dans les smartphones, c'est parce que ce type d'outil leur paraît plus à même de les inscrire dans une logique plus collaborative et plus multimodale de la mobilité.

Conjointement à cette évolution des préférences et des comportements individuels, se développent de fortes contraintes sur les finances publiques ce qui conduit à se poser quelques questions simples sur le coût des projets, notamment de LGV, comparé aux services qu'ils apportent à la collectivité. Les projets de nouvelles LGV étaient au cœur du Grenelle de l'environnement. La loi Grenelle 1 qui, avant même le SNIT, listait ces projets de LGV, a été rappelons-le votée à l'unanimité de l'Assemblée nationale. Or ces projets ne constituent pas toujours la bonne réponse aux demandes de mobilité. L'amélioration du service ferroviaire ne passe pas forcément pas la grande vitesse ni même dans certains cas par la hausse de la vitesse moyenne. Quand il s'agit, comme entre Rouen et Paris, ou Orléans et Paris, ou Toulon et Marseille, de transporter quotidiennement des navetteurs ce qui compte est la fréquence, pas fondamentalement la vitesse. De plus cette vitesse peut se révéler très coûteuse pour les voyageurs d'une part et pour la collectivité d'autre part. Les LGV sont-elles destinées à développer une hypermobilité individuelle quotidienne (200 à 300 km/jour) au prix de subventions publiques peu soutenables ?

Du fait de ces évolutions, la question n'est plus de trouver des fonds publics ou privés pour développer chaque mode de transport. Des choix doivent être faits, qui prennent en compte les coûts privés et sociaux des différents modes de transport en regard des services qu'ils procurent (voir rapport n°5). Aborder ainsi, frontalement, la question des coûts est indispensable pour se préparer aux évolutions que recèle la transition écologique et énergétique.

2) La vitesse généralisée sociale : un outil pour la transition écologique

Dans un ouvrage paru en 1973⁵, au moment où se diffusaient les thématiques du Club de Rome, Ivan Illich revenait sur les implications de la crise de l'énergie. Il y développait l'idée qu'une relation inverse existait entre consommation d'énergie et équité : plus la demande de vitesse et donc la consommation d'énergie augmentait pour la minorité privilégiée, plus se développaient les

⁵ I. Illich, *Energie et équité*, Seuil, 1973, 60 pp. Ce petit opuscule reprenait des articles publiés précédemment dans le journal *Le Monde*.

inégalités. Son raisonnement le conduisait à la conclusion suivante : « *Il est temps de prendre conscience qu'il existe, dans le domaine des transports, des seuils de vitesse à ne pas dépasser. Faute de quoi, non seulement l'environnement physique continuera d'être saccagé, mais encore le corps social continuera d'être menacé par la multiplication des écarts sociaux creusés en lui et miné chaque jour par l'usure du temps des individus* » (op. cit. pp. 41-42).

Cette approche critique de la recherche de la vitesse, à tout prix, a retenu notre attention car au cœur des trois scénarios se trouve la relation entre mobilité et croissance économique et plus précisément entre accroissement du niveau de vie et demande de vitesse. Ainsi, dans le scénario Hestia, l'élasticité vitesse-PIB devient nulle à l'horizon 2050 pour les voyageurs. Comment fonder une telle hypothèse ? La notion de vitesse généralisée nous donne des éléments de réponse théoriques et pratiques qui soulignent la logique et les limites de la préférence pour la vitesse.

a) La vitesse généralisée : un concept écologique qui échappe à ses concepteurs

L'ambition du discours « catastrophiste » d'Illich explique son succès médiatique, notamment auprès des intellectuels qui aiment les raisonnements contre-intuitifs et les approches multidimensionnelles. Dans cette citation en effet, comme dans tout l'ouvrage, I. Illich surfe d'abord sur les craintes liées aux pénuries de ressources et à la dégradation de l'environnement. Mais il va plus loin en révélant une réalité cachée, la nécessité d'en finir avec la recherche de vitesse non seulement pour des raisons écologiques mais aussi pour des raisons sociales et sociétales. La recherche de vitesse serait en effet à la source d'inégalités sociales mais aussi d'une dérive sociétale repérable dans un mésusage de cette ressource rare qu'est le temps. Pour étayer son raisonnement, I. Illich affirme que « *Passé un certain seuil (de vitesse), la production de l'industrie du transport coûte à la société plus de temps qu'elle lui en épargne* » (p.30) ; « *A présent, les gens travaillent une bonne partie de la journée pour payer les déplacements nécessaires pour se rendre à leur travail. Le temps dévolu au transport croît dans une société en fonction de la vitesse de pointe des transports publics* ».

Ce qui est séduisant dans ce type de discours est le recours implicite à la notion d'effet pervers que l'on peut aussi qualifier d'effet indésirable, involontaire ou inattendu. A. Hirschman (1991) a montré que la rhétorique réactionnaire, mais aussi la rhétorique progressiste, avaient tendance à abuser de cette notion d'effet pervers qui revient à dire que les hommes et les sociétés scient inconsciemment la branche sur laquelle ils sont assis. R. Boudon (1977) a fait la même remarque en soulignant qu'il faut se défier de la généralisation, de la transformation d'une relation valide localement en une loi générale. Ainsi, I. Illich a raison de souligner que l'usage excessif de l'automobile peut ici ou là conduire à des pertes de temps liées à la congestion. D'une certaine façon, les politiques de réduction de la vitesse et même du trafic automobiles conduites dans la plupart des grandes agglomérations lui donnent raison. Mais peut-on généraliser le raisonnement et dire que le temps gagné avec la vitesse de déplacement est toujours plus que compensé par le temps de travail accru nécessaire pour obtenir le revenu destiné à payer la mobilité ? C'est tout l'objet de la notion de vitesse généralisée.

La notion de vitesse généralisée, dont la paternité est souvent attribuée à I. Illich, a en fait été développée par J.P. Dupuy⁶ suite à des discussions entre ces deux auteurs. Derrière cette idée de vitesse généralisée, on retrouve le raisonnement ci-dessus : pour connaître la vitesse réelle d'un déplacement, il faut prendre en compte le temps du déplacement mais aussi le temps passé à

⁶ Pour plus de précisions se reporter à l'excellent article de Frédéric Héran, *A propos de la vitesse généralisée des transports, un concept d'Ivan Illich revisité*, Revue d'économie régionale et urbaine, A. Colin, 2009-3, Juillet, pp.449-470

travailler pour obtenir le revenu qui va permettre de payer le coût monétaire du déplacement. Comme l'a montré F. Héran, il existe trois notions connexes :

- le **coût généralisé**, notion développée dès les années 1960 par les économistes. Le coût généralisé donne en valeur monétaire le coût total d'un déplacement (coût monétaire plus coût du temps) ;
- le **temps généralisé** qui indique en heure ou en minutes le temps total nécessaire pour le déplacement, soit le temps de trajet lui-même plus le temps de travail pour obtenir l'argent nécessaire ;
- la **vitesse généralisée (Vg)** qui rapporte la distance d'un déplacement au temps total passé pour effectuer le déplacement et pour obtenir le revenu nécessaire. Elle se définit ainsi :

$$Vg = 1 / [(1/V) + (k/w)]$$

Nous constatons d'abord que puisqu'il s'agit d'une vitesse, nous sommes en présence d'une moyenne harmonique où entrent en jeu la vitesse physique de déplacement (V) mais aussi le pouvoir d'achat du salaire horaire (w) en termes de kilomètres (k = coût kilométrique). Cette formule montre que la vitesse généralisée ne peut augmenter indéfiniment. Quand V tend vers l'infini, la vitesse généralisée évolue comme le rapport k/w. Pour accroître la vitesse généralisée, il faut donc ou bien réduire k ou bien accroître w. Symétriquement, même avec une valeur très élevée de V, la vitesse généralisée peut décroître si le coût kilométrique progresse plus vite que le salaire horaire. Nous avons là les variables clés qui fondent les hypothèses de nos scénarios.

- Dans le scénario Pégase-Phénix, la demande de vitesse subsiste car le ratio k/w continue de diminuer. Le salaire réel continue à croître plus vite que le coût kilométrique. La demande pour les modes rapides comme l'avion et le TGV se développe. Et même si la vitesse physique n'augmente pas, la hausse du ratio k/w tend à faire augmenter la vitesse généralisée et donc la demande de mobilité.
- Dans les scénarios Chronos-Pénélope d'une part et Hestia-Cassandra d'autre part le contexte est différent. D'abord la croissance économique est plus faible ce qui pèse sur la progression des salaires. Ensuite les coûts de la mobilité augmentent. Au lieu de baisser comme dans le scénario tendanciel, le ratio k/w se stabilise, voire augmente, ce qui fait baisser la vitesse généralisée. Mécaniquement la demande de mobilité s'en trouve réduite car le coût de certains déplacements devient supérieur à l'utilité qu'ils procurent.

Reprenons l'analyse de F. Héran avec le vocabulaire de R. Boudon pour comprendre en quoi I. Illich et J.P. Dupuy ont forgé un concept qui s'adapte parfaitement à nos scénarios car il peut aussi bien justifier que remettre en cause la préférence pour la vitesse. :

- Il est vrai que dans certains cas et pour certains déplacements, la vitesse généralisée diminue pour le plus grand nombre. C'est ce qui a causé la fin, probablement définitive, de l'aviation commerciale supersonique. En 2000, un aller-retour Paris-New-York en Concorde (vitesse moyenne 2000 km/h) coûtait environ 12 000 euros pour 12 000 kilomètres, soit 1 euro le kilomètre. Cependant, en termes de vitesse généralisée, pour un smicard qui gagnait en 2000 environ 6 euros nets de l'heure, cela revenait à une vitesse d'environ 6km/h, guère plus que la marche à pied. Il lui fallait plus d'une année de travail pour acheter un billet. C'est ce qu'I. Illich voulait démontrer. L'aviation commerciale supersonique n'est pas durable.
- Par contre, au même moment, pour ce même smicard, la vitesse généralisée d'un vol subsonique vers New-York (vitesse moyenne 800 km/h) qui valait 600 euros aller-retour

(0,05 euro par kilomètre) était un peu supérieure à 100 km/h. Une vitesse très supérieure à la vitesse de la marche à pied ou de la bicyclette. Nous sommes là dans une situation contraire à ce que voulait démontrer I. Illich, mais qui explique le succès confirmé du transport aérien et sa démocratisation, même en période de crise. Encore aujourd'hui, un vol aller-retour vers New-York coûte à un Smicard environ 3 semaines de travail.

Ainsi, en utilisant une définition rigoureuse de la vitesse généralisée, on découvre que le concept a échappé aux objectifs de ses créateurs. Il existe des situations où même une personne percevant le salaire minimum peut accroître sensiblement la vitesse généralisée de certains de ses déplacements. Si une utilité forte est attachée à l'activité liée à ce déplacement (emploi, vie sociale, loisirs...), alors la demande de mobilité va croître. La variable clé n'est pas V mais le rapport k/w . Toute diminution de ce rapport, donc toute hausse de w s'accompagnant d'une moindre hausse ou d'une baisse de k va déboucher sur une croissance de la vitesse généralisée (même si V est stable) et donc sur une demande de mobilité. Une demande d'autant plus forte que la mobilité pourra donner accès à des activités nouvelles, répondant bien à la préférence pour la variété. Il n'est donc pas surprenant que la mobilité progresse peu ou prou comme notre revenu, car cette mobilité est la condition permissive du développement de « l'économie de la variété » (Gronau R. & Hamermesh D. 2001, Crozet 2009)⁷.

Sur ces bases théoriques, nous pouvons donner quelques exemples pratiques très suggestifs pour les politiques publiques. Faisons les hypothèses suivantes :

- une vitesse physique (V) moyenne de 5km/h pour la marche à pied, de 14km/h pour le vélo, de 40km/h pour l'automobile, de 200km/h pour le TGV et de 800km/h pour l'avion ;
- un coût kilométrique (k) nul pour la marche à pied, de 0,01 ct d'euro par km pour le vélo, de 22 cts pour la voiture, de 15 cts pour le TGV et de 10 cts pour l'avion ;
- un salaire horaire net de 10 euros, un peu moins que le salaire horaire moyen.

Il en résulte les valeurs suivantes pour la vitesse généralisée :

- marche à pied : 5km/h
- vélo 13,8km/h
- automobile 21,3 km/h
- TGV 50 km/h
- avion 100 km/h

Contrairement à ce qu'avancait I. Illich, le développement de l'automobile, mais aussi celui du TGV et de l'avion ont bel et bien offert au plus grand nombre une progression sensible de la vitesse généralisée de déplacement.

Mais n'oublions pas l'intérêt de l'intuition d'I. Illich : la vitesse généralisée progresse moins vite que la vitesse physique. Même si nous avons une vitesse infinie, la vitesse généralisée évoluerait comme le rapport k/w . Ce dernier est donc crucial pour éclairer le fait que pour une même vitesse, il suffit que w progresse pour que la vitesse généralisée augmente. Ainsi, pour une vitesse moyenne de 40km/h et pour un coût kilométrique constant de 22 cts/km, la vitesse généralisée passe de 21,3 à 32,8 km/h quand le salaire horaire passe de 10 à 40 euros : de quoi entretenir la fringale de mobilité des populations aisées ! De ce point de vue, il est compréhensible que la demande sociale soit forte dans un pays en croissance, hier pour les autoroutes, aujourd'hui pour les TGV et le transport aérien. Le problème est que ces demandes se trouvent, pour certaines d'entre elles comme les TGV, confrontées à des coûts croissants pour la collectivité alors même que cette même collectivité doit déjà financer le développement des transports collectifs du fait des rendements décroissants de

⁷ La progression de la mobilité des marchandises s'inscrit aussi dans la logique de l'économie de variété. Lorsque ce ne sont pas les voyageurs qui se déplacent pour consommer tel ou tel bien ou service, ce sont les marchandises qui se rapprochent des consommateurs grâce à une mobilité qui n'est pas moindre que celle des voyageurs !

l'automobile en zone urbaine. En effet, quand la vitesse routière moyenne en zone urbaine est de 25km/h, la vitesse généralisée de l'automobile tombe à 15km/h (pour un coût kilométrique de 25 cts d'euros et un salaire horaire net de 10 euros), soit une vitesse proche de la bicyclette.

Les deux roues pourraient donc, comme on le voit dans les pays d'Europe du Nord, occuper une part de marché beaucoup plus grande qu'aujourd'hui, mais pas pour tous les types de déplacements. Dès que les distances dépassent quelques kilomètres, les deux-roues non motorisés perdent de leur pertinence. Aussi, dans les grandes agglomérations, est-il nécessaire de développer de nouvelles voiries ou d'améliorer les anciennes, non pas en centre-ville, mais dans certaines périphéries. Mais il faut aussi développer les transports collectifs dans le centre-ville et à tout le moins de la périphérie vers le centre-ville. Or les transports collectifs, comme les voiries routières urbaines, sont gourmands en subventions publiques. Ainsi, le maintien de la vitesse généralisée pour les utilisateurs des transports collectifs comme pour les utilisateurs de l'automobile suppose un accroissement des dépenses publiques. C'est la face cachée de la demande de vitesse, physique ou généralisée.

b) La « vitesse généralisée sociale » et la transition écologique et énergétique

Pour tenir compte du coût social de la demande de vitesse physique, il est possible de calculer une « vitesse généralisée sociale » en ajoutant au coût privé k le coût des subventions publiques et les coûts externes. Ainsi la notion de vitesse généralisée, une fois enrichie, va devenir puissamment discriminante quand il s'agit de choisir entre des projets concurrents.

Revenons à une citation d'I. Illich : « *Passé un certain seuil (de vitesse), la production de l'industrie du transport coûte à la société plus de temps qu'elle lui en épargne* ». La notion de vitesse généralisée permet tout à fait de prendre en compte cette dimension collective et non plus seulement individuelle du coût de ce qu'il appelle l'industrie du transport. Il suffit pour cela de remplacer dans la définition de la vitesse généralisée la valeur k par une valeur K_s qui représente non plus le coût kilométrique pour un individu mais le coût kilométrique pour la société, On obtient ainsi un indicateur de « vitesse généralisée sociale » (V_{gs}) qui se définit ainsi.

$$V_{gs} = 1 / [(1/V) + (K_s/w)]$$

Illustrons l'intérêt de cette notion en reprenant l'exemple de certains projets de LGV. La valeur k que nous avons choisie précédemment pour le coût kilométrique du TGV (0,15 euro par kilomètre) est celle que ressent l'utilisateur. Mais si, comme dans le cas du projet de LGV PACA, il faut verser par voyageur-kilomètre 0,35 euro de subvention pour les infrastructures et éventuellement l'exploitation⁸, alors le coût kilométrique social devient 0,50 euro par kilomètre, plus les coûts externes (bruit, émissions de polluants...). Dans ce cas, la vitesse généralisée pour l'individu qui a un salaire horaire de 10 euros reste de 50 km/h, mais la vitesse généralisée sociale est seulement de 23 km/h en retenant pour la collectivité un salaire horaire moyen de 13 euros par heure (2200 euros par mois). Cette valeur de 23 km/h est à rapprocher de ce que peut coûter pour une même destination un TER ou un autocar.

⁸ Quand la commission « Mobilité 21 » a fait remarquer que certains projets de LGV risquaient de coûter très cher à la collectivité en subventionnement de l'infrastructure, elle s'inscrivait implicitement dans cette logique de vitesse généralisée sociale. Voir aussi le rapport sur l'évaluation de la performance des TGV en France (Crozet 2013).

- Un train classique qui transporte 50 personnes présente un coût kilométrique social par passager de 0,40 euro⁹. Si sa vitesse physique de déplacement est de 80 km/h, alors la vitesse généralisée sociale, pour un salaire horaire de 13 euros, est de 23 km/h, comme le TGV très subventionné. Le TER, bien que subventionné, est donc plus économe pour un rendement identique, et cela malgré un taux de remplissage faible.
- Pour un autocar qui circule à 30 km/h de moyenne, le coût social est proche de 0,10 euro (le coût direct pour l'utilisateur est d'environ 0,07). Pour un salaire horaire moyen de 13 euros, la vitesse généralisée sociale serait de 24 km/h, mais de 36 km/h s'il circule à 50 km/h. Le développement de l'offre d'autocars sur autoroutes a donc du sens dans la perspective de la transition écologique et énergétique.

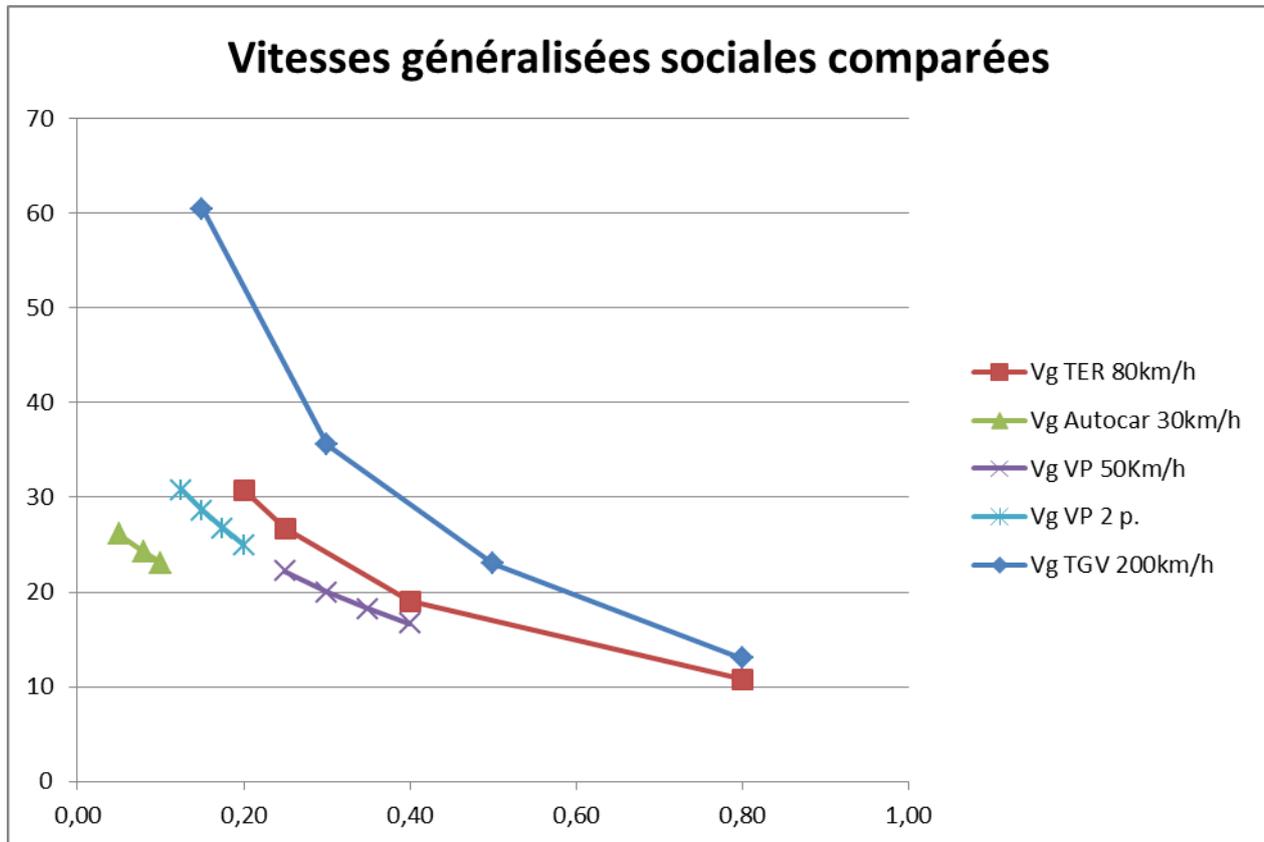
Voilà qui éclaire les enjeux de la transition écologique et énergétique en y intégrant la question des finances publiques. La remise en cause du tout TGV, tout comme l'arrêt de certains projets d'autoroutes ou de nouveaux aéroports sont le moyen implicite de s'interroger sur la vitesse généralisée sociale des options alternatives de services de transport. **Pour rejoindre Paris depuis Orléans ou Rouen, les TER ou trains inter-cités ont pour la collectivité un meilleur rendement que le TGV.** C'est donc sur ces bases qu'il faut s'interroger sur les priorités des politiques de mobilité en réalisant un bilan comparatif des vitesses généralisées sociales. Un exemple est donné ci-dessous à titre indicatif.

Nous allons comparer quatre modes de transport, le TGV, le TER, l'autocar et la voiture particulière. Pour chacun nous avons défini une vitesse physique de, respectivement 200, 80, 50 et 30 km/h. Puis, pour le même niveau de salaire horaire moyen, nous avons envisagé différents niveaux de coût kilométrique social pour observer comment évolue la vitesse généralisée sociale de chaque mode. La figure 1 compare pour chaque mode les niveaux de vitesse généralisée associés à différents niveaux de coût social par passager-km. On constate sans surprise que le TGV offre la meilleure vitesse généralisée pour un coût kilométrique de 0,15 euro. Mais dès que ce coût augmente du fait des subventions pour l'infrastructure, alors un TGV dont le coût kilométrique social atteint 0,50 euro offre une vitesse généralisée sociale de 23 km/h. C'est le même résultat qu'un TER roulant à 80 km/h et comptant 50 personnes à bord (soit un coût kilométrique de 0,40 euro).

Notons au passage que l'automobile, lorsqu'on intègre les coûts d'infrastructure et les coûts externes, voit sa vitesse généralisée sociale diminuer à 20 km/h, voire atteindre 16 km/h quand le coût kilométrique atteint 0,4 euro. Par contre, l'autocar tire son épingle du jeu. Même avec une hypothèse de vitesse faible (30 km/h) il fait généralement mieux que la voiture individuelle si bien sûr le taux de remplissage est suffisant. Notons que pour la voiture particulière, si le taux d'occupation monte à deux personnes, alors la vitesse généralisée sociale dépasse les 25 km/h, plus que les TER et TGV subventionnés. Un résultat paradoxal car il montre que la route est un mode de transport très adapté si le taux de remplissage des véhicules (autocar et automobiles) est élevé.

⁹ Seulement 0,20 euro s'il y a 100 personnes à bord et 0,80 euro s'il n'y a que 25 personnes à bord. Pour le TGV nous avons supposé que le taux de remplissage est élevé (85%), si ce n'est pas le cas la vitesse généralisée sociale est encore plus faible, elle peut tomber à 12 km/h si le taux de remplissage est de 40% !

Figure 1 : Vitesses généralisées sociales comparées



C'est le premier enseignement majeur de la notion de vitesse généralisée sociale. Elle permet de comprendre pourquoi l'automobile, avec les systèmes de covoiturage, « fait de la résistance ». En outre, et contrairement aux idées reçues, depuis de nombreuses années, la vitesse généralisée ressentie de l'automobile n'a cessé de progresser du fait d'une hausse des salaires beaucoup plus rapide que la hausse du coût de l'automobile et même que les prix du carburant. Rappelons qu'**avant** le choc pétrolier de 1973, un smicard achetait 3 litres de carburant avec une heure de travail. Il en achète aujourd'hui 6 litres (Crozet 2012), alors même que la consommation unitaire des véhicules a baissé de près de 50%. Il peut donc faire presque 4 fois plus de kilomètres avec le même temps de travail.

Cela signifie que si l'objectif des politiques publiques est de réduire le trafic automobile ou plus précisément les émissions de gaz à effet de serre liées à ce trafic, il sera nécessaire d'envisager une hausse de la fiscalité sur les carburants plus éventuellement une tarification de la voirie. Ces deux éléments constitueraient un moyen, **si c'est bien ce que l'on souhaite**, de réduire la vitesse généralisée de l'automobile pour favoriser les autres modes. Mais ces derniers, à l'exception des modes doux, coûtent cher en subventions. La même vitesse généralisée sociale peut être atteinte avec une part de coût privé croissante dans le coût social. N'oublions pas que lorsque le revenu augmente il en va de même pour la vitesse généralisée. Il n'y a donc pas de raison par exemple de généraliser pour tous la gratuité des transports collectifs, urbains ou interurbains.

Face à la transition écologique et énergétique, les ajustements qui nous attendent ne seront pas anodins. Il faut le dire et s'y préparer. S'il faut vraiment que nous divisions par deux notre consommation d'énergie, si le facteur 4 est vraiment un objectif clé, **il faut en annoncer la**

contrepartie inévitable sous forme de hausse des prix et de baisse des subventions à la mobilité. Comme nous allons le voir (voir Rapport n°4), l'action sur les coûts est la plus efficace. C'est aussi la plus délicate en termes d'acceptabilité. Raison de plus pour ne pas biaiser. De même que l'isolation des logements n'est rationnelle que si l'énergie est coûteuse, plus qu'aujourd'hui, de même la voiture à 2 ou 3 litres aux cent kilomètres va de pair avec un litre de carburant à 3 euros. Les discours lénifiants sur les progrès techniques qui rendraient indolores la transition ne sont plus de mise. Un discours responsable rappelle que le coût de la mobilité motorisée, comme celui de l'énergie, va augmenter.

Mais si nous devons nous défier des discours lénifiants sur la technique, il faut aussi se garder du catastrophisme qui ne sert qu'à encourager une vision punitive de l'écologie. En matière d'approvisionnement pétrolier, il est courant de faire planer le risque de rareté absolue : la fin du pétrole, souvent associée, pour le souhaiter ou le regretter, à la fin de l'automobile ! Mais cet horizon-là recule régulièrement. Si des ruptures doivent survenir, ce ne sera pas sous la forme du rationnement. Avec la hausse du coût de la mobilité, la rationalisation de l'usage des modes de transport, notamment par l'économie collaborative, entretiendra la demande pour la variété des activités. De ce fait, différentes formes d'habitat (urbain, périurbain, rural...) continueront à exister (voir rapport n°2). Face à une situation de hausse tendancielle des contraintes sur la mobilité, les formes urbaines et les localisations changeront marginalement, mais les comportements vont s'adapter. Non pas en réduisant drastiquement la mobilité, mais en optimisant les mobilités de façon à ce que l'utilité d'un déplacement reste supérieure à son coût.

Là où des ruptures pourraient apparaître, c'est dans la mobilité à longue distance. Si les taux de croissance des trafics aériens devaient se poursuivre au rythme actuel dans les 20 ou 30 prochaines années, cela représenterait, en termes d'émissions de CO₂ et de pression sur les énergies fossiles, un risque non négligeable, pour la planète comme pour les compagnies aériennes. C'est dans ce domaine, plus que dans la mobilité locale, que des ruptures pourraient survenir. Mais le PREDIT ne traite pas du transport aérien, il n'apparaît donc pas dans nos recommandations

3) Recommandations pour les « policy packages »

Fort contributeur aux émissions de gaz à effet de serre, le secteur des transports se caractérise, à la différence de l'industrie, par le caractère très décentralisé des émissions. Ces dernières résultent de décisions de mobilité prises par des millions 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*) a proposé 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 de 2007, 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. G. Lopez-Ruiz (2009) a repris ce raisonnement dans sa thèse en associant aux scénarios des ensembles cohérents de mesures destinées à réduire, avec plus ou moins de succès selon les cas, les émissions de GES.

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. Dans cette dernière partie, nous allons donc d'abord rappeler les différents « paquets » de politiques publiques puis nous montrerons comment elles s'articulent dans les différents scénarios.

a) Des « paquets » de politiques publiques adaptés à chaque scénario.

Nous ne pouvons ici détailler le contenu de chacune des politiques publiques étudiées. Pour plus de détail on se reportera au rapport n°4. Au total, 62 mesures ont été listées, regroupées en 4 grandes catégories : les mesures économiques et tarifaires, les mesures réglementaires, les investissements dans les infrastructures, les mesures de gestion de la mobilité. Conformément à la logique propre à chaque scénario, rappelée dans l'encadré ci-dessous, chaque mesure est appliquée avec une intensité plus ou moins forte dans les différents scénarios.

Les grandes lignes des trois scénarios

Pégase/Phénix met plutôt en œuvre des mesures touchant à la technologie (véhicule électrique, véhicule hybride, véhicule léger...). Dans ce scénario, domine l'idée que la technologie nous permettra d'atteindre les objectifs fixés en matière environnementale grâce à des moteurs plus performants (*downsizing...*) ou à des substitutions énergétiques, comme par exemple le remplacement du moteur thermique par un moteur électrique. Les habitudes des consommateurs, en termes de distances parcourues par an ou de modes de transports utilisés, changent peu. Il en va de même pour la logistique et les flux de marchandises

Chronos/Pénélope donne la priorité à des mesures visant à réduire les vitesses moyennes de déplacement sur la route, et favorisant corrélativement le report modal des personnes et des marchandises. Tout est fait pour que le transport soit réalisé au moyen de modes ayant la plus faible empreinte carbone : modes collectifs *versus* modes individuels, modes non routiers *versus* modes routiers. Pour le transport des voyageurs, les transports en commun et le train à grande vitesse se substituent progressivement à la voiture et l'avion. Pour le transport des marchandises, le ferroviaire et les voies d'eau se substituent progressivement au camion.

Hestia/Cassandre privilégie des mesures visant à réduire le besoin de mobilité des personnes et des marchandises. C'est une vision très différente des deux précédents scénarios renvoyant à l'idée d'une société plus sobre, moins consommatrice de biens et services, et dans laquelle le besoin de transport diminue significativement. Cela s'accompagne d'une redensification des villes, mais ce n'est pas la seule façon d'y parvenir. Par exemple, une organisation sociale performante et le développement de l'économie collaborative (par exemple le covoiturage) peuvent diminuer les émissions par tête tout en conservant un mode d'habitat relativement dispersé.

Chaque mesure envisagée est mise en œuvre selon 4 intensités possibles, auxquelles on affecte à chacune une note :

- pas de mise en œuvre = 0,
- mise en œuvre légère = 1
- mise en œuvre moyenne = 2
- mise en œuvre forte = 3

Si l'on prend l'exemple de la taxe CO₂, on dira par exemple qu'une taxe de 50 € la tonne correspond par exemple à une mise en œuvre légère, une taxe de 150 € à une mise en œuvre moyenne, et une taxe au-delà de 300 € à une mise en œuvre conséquente.

Les mesures et leur intensité sont données dans les tableaux ci-après selon les 4 catégories (instruments économiques, réglementation, investissements, gestion de l'activité transport), pour les trois scénarios de mobilité durable. Ce tableau permet de comprendre la façon dont les paquets de mesure ont été construits dans chacun des scénarios, dans le respect de leurs logiques propres.

Tableau 4 : Intensité de mise en œuvre des mesures de type instruments économiques

<i>Instruments économiques</i>	Pégase Phénix	Chronos Pénélope	Hestia Cassandra
Taxe CO2 (TGAP)	1	2	3
Carte carbone individuelle			2
Permis négociable CO2 transport de marchandises		2	1
Taxation des camions à la tonne-km		3	
Subventions au transport multimodal		3	
Subvention aux abonnements TC		3	1
Modulation des taxes et subventions sur les ENR	1	1	1
TIPP	1	3	3
Subventions au véhicule électrique	3	1	1
Bonus / malus fonction du niveau d'émission CO2	2	1	1
Incitations en faveur des hybrides pour les VUL / PL urbains	2	2	1
Incitations en faveur des hybrides pour les VP	2	2	1
Vignettes variables en fonction des taux d'émission	1	1	
Péage sur les voies urbaines rapides		3	1
Péage sur les artères urbaines		3	1
Péage sur les autoroutes		3	1
Tarifcation du stationnement sur le lieu de travail		3	1

Tableau 5 : Intensité de mise en œuvre des mesures de type réglementaire

<i>Réglementation</i>	Pégase Phénix	Chronos Pénélope	Hestia Cassandra
Normes CO2 pour les voitures particulières	2	2	1
Normes CO2 pour les VUL	2	2	1
Inclusion du CO2 dans la norme Euro, véhicules industriels	2	2	1
Affichage du CO2 des prestations de transport voyageur		2	1
Affichage du CO2 des prestations de transport marchandises		2	1
Normes CO2 avions	1	3	1
Réallocation des voiries urbaines VP/modes doux/TC		2	3
HOV (high occupancy vehicles lanes)		3	1
Restriction d'accès aux véh. conventionnels en zone urbaine		3	1
Règles d'urbanisme (parking)			3
Règles d'urbanisme (commerces)			3
Règles d'urbanisme (POS, COS)			3
Abaissement des limites de vitesse route		3	2
Réglementation taille et puissance max PL	1	3	
Réglementation taille et puissance max VL	1	3	

Tableau 6 : Intensité de mise en œuvre des mesures de type investissements

<i>Investissements</i>	Pégase	Chronos	Hestia
Extension des infrastructures ferroviaires classiques		3	1
Extension des infrastructures LGV et gares		3	1
Extension du réseau multi-modal route/fer, route/VE		3	1
Embranchements ferroviaires pour les grands chargeurs		3	1
Investissement pour usages différenciés des autoroutes	3	1	1
Investissement routier pour le transport collectif	1	3	1
Plateformes d'interconnexion route / TC		3	2
Infrastructure véhicule électrique (recharge)	1	1	1
Investissement dans les infra aéroportuaires et aéronautiques		1	1
Investissement multi-modaux air/fer		3	1
Plateforme portuaire bien connectée à l'arrière pays (non routier)		3	1
Investissements voies navigables		3	1

Tableau 7 : Intensité de mise en œuvre des mesures de type gestion des transports

<i>Gestion / Management</i>	Pégase	Chronos	Hestia
Services de co-voiturage, PDE		3	2
Services d'auto-partage		1	3
Eco-conduite voitures	2		
Outils de navigation	1		
Amélioration vitesse commerciale des TC		3	2
Accroissement des fréquences des TC		3	2
Extension des dessertes		3	2
Nouvelles offres de transport collectif routier		3	2
Développement des services à bord des TC		2	2
Incitation au télétravail			3
Eco-conduite camions	1		1
Outils de navigation camions	1		1
Amélioration de la vitesse commerciale du ferroviaire		3	2
Optimisation livraison des marchandises en ville		2	2
Platooning transport routier marchandises	2	1	1
Incitations au circuit court producteur/consommateur			3
Zones industrielles embranchées ferroviaire/fluvial		3	2

Les scénarios se distinguent assez nettement quant à leur impact sur le système prix/coût. Pégase est de loin le scénario qui génère le moins de modifications de ce système. Le renchérissement à la hausse du système prix/coût est nettement plus élevé dans Chronos et Hestia, que dans Pégase. Si l'on regarde quels impacts sur le système prix/coût ont les mesures à fort impact environnemental, on constate que l'augmentation de la fiscalité (taxe CO₂, TIPP, carte carbone individuelle) renchérissement de façon significative le transport.

A l'inverse, les normes mises en place sur les voitures ou les véhicules utilitaires parviennent à être absorbées par les constructeurs si bien que ce type de mesure conduit finalement à diminuer le coût du transport s'il n'y a pas en même temps une hausse sensible des coûts de l'énergie.

b) Analyse de l'impact des politiques publiques

Bien évidemment, des mesures fortes sur la taxation ont un fort impact négatif sur le système prix/coût même si elles ont dans le même temps un fort impact positif sur l'environnement. Les politiques publiques doivent donc arbitrer entre des deux impacts en tenant compte de l'acceptabilité plus ou moins forte des mesures en question. C'est ce que montrent les tableaux ci-dessous. Pour chacun des scénarios, ils donnent les résultats sur l'environnement, sur l'acceptabilité et sur le système prix/coûts pour les 20 mesures ayant le plus grand impact sur l'environnement.

Tableau 8 : Les notes d'impact des 20 mesures les plus importantes dans Pégase-Phénix

	Environnement	Acceptabilité	Prix/coût
1 - Taxe CO2	530	-120	65
2 - Bonus/malus	384	-16	-36
3 - Subvention véhicule électrique	351	-41	6
4 - Normes CO2 voitures	300	-27	-16
5 - Augmentation TIPP	274	-82	84
6 - Usages différenciés autoroutes	180	19	-15
7 - Normes CO2 VUL	150	11	-10
8 - Subvention voitures hybrides	149	2	2
9 - Normes CO2 camions	128	11	0
10 -Eco-conduite	91	-3	-10
11 - Subventions biocarburants	90	-32	46
12 - Subvention VUL hybrides	84	24	-8
13 - Outils de navigation	83	4	-5
14 - Vignette liée au taux d'émission	72	-5	15
15 - Infrastructure véhicule électrique	39	-6	6
16 - <i>Platooning</i> transport marchandise	24	-16	-20
17 - Réglementation sur la puissance des PL	12	-4	-20
18 - Outils de navigation camions	12	16	-5
19 - Réglementation sur la puissance des VL	11	-8	0
20 - Eco-conduite camions	8	-4	-5

Tableau 9 : Les notes d'impact des 20 mesures les plus importantes dans Chronos-Pénélope

	Environnement	Acceptabilité	Prix/coût
1 - Taxe CO2	1060	-241	130
2 - Augmentation TIPP	822	-247	252
3 - Normes CO2 voitures	300	-27	-16
4 - Abaissement limites de vitesse sur route	285	-77	9
5 - Permis négociable CO2 marchandise	280	-168	60
6 - Taxation camions à la tkm	264	-124	75
7 - Augmentation des péages d'autoroutes	252	-126	75
8 - Bonus/malus	192	-8	-18
9 - Subvention voitures hybrides	150	2	2
10 - Normes CO2 VUL	149	11	-10
11 - Nouvelles offres transport collectif routier	144	31	-15
12 - Normes CO2 camions	128	11	0
13 - Augmentation fréquence des TC	120	2	84
14 - Subvention véhicule électrique	117	-14	2
15 - Augmentation de la vitesse des TC	108	2	-36
16 - Covoiturage, PDE	90	6	-30
17 - Subventions biocarburants	89	-32	46
18 - Subvention VUL hybrides	84	24	-8
19 - Extension des pistes cyclables	83	2	10
20 - Péage voies urbaines	74	-50	60

Tableau 10 : Les notes d'impact des 20 mesures les plus importantes dans Hestia-Cassandra

	Environnement	Acceptabilité	Prix/coût
1 - Taxe CO2	1590	-361	195
2 - Augmentation TIPP	822	-247	252
3 - Carte carbone individuelle	552	-176	108
4 - Urbanisme (parking)	198	-9	27
5 - Bonus/malus	192	-8	-18
6 - Abaissement limites de vitesse sur route	190	-52	6
7 – Auto-partage	156	41	30
8 - Normes CO2 voitures	150	-14	-8
9 - Permis négociable CO2 marchandise	140	-84	30
10 - Urbanisme (POS, COS)	136	-9	-27
11 - Urbanisme (commerces)	135	-30	3
12 - Incitation au télétravail	126	-27	0
13 - Extension des pistes cyclables	125	4	15
14 - Subvention véhicule électrique	117	-14	2
15 - Nouvelles offres transport collectif routier	96	21	-10
16 - Subventions biocarburants	90	-32	46
17 - Augmentation des péages d'autoroutes	84	-42	25
18 - Augmentation fréquence des TC	80	1	56
19 - Subvention voitures hybrides	75	1	1
20 - Normes CO ₂ VUL	75	6	-5

Plus de 60 mesures permettant de réduire les émissions de CO₂ ont donc été notées selon 3 critères (impact CO₂, acceptabilité, coût). De ce classement, certaines mesures apparaissent comme incontournables pour réaliser les objectifs de réduction des émissions de CO₂ dans le secteur du transport. Le tableau suivant identifie quelles sont ces mesures phares, pour chacun des scénarios. Certaines se retrouvent dans les 3 scénarios.

Tableau 11 : Les mesures phares pour la réduction des émissions de CO₂ dans le transport

		Pégase Phénix	Chronos Pénélope	Hestia Cassandra
Mesures visant les 3 scénarios	Augmentation TIPP ou TICPE	X	X	X
	Taxe CO ₂	X	X	X
	Normes CO ₂ voitures	X	X	X
Mesures visant scénarios	Subvention véhicule électrique	X	X	X
	Bonus/malus	X	X	X
	Normes CO ₂ VUL	X	X	X
	Normes CO ₂ camions	X	X	X
	Subvention voitures hybrides	X	X	X
Mesures visant 1scénario	Subventions biocarburants	X	X	X
	Permis négociable CO ₂ marchandise		X	X
	Augmentation des péages sur autoroute		X	X
	Abaissement des limites de vitesse sur route		X	X
	Augmentation de la fréquence des TC		X	X
	Augmentation des vitesses des TC		X	X
	Vignette liée au taux d'émission	X		
	Usages différenciés autoroutes	X		
	Subvention VUL hybrides	X		
	Infrastructure véhicule électrique (recharge)	X		
	Incitation au télétravail	X		
	Eco-conduite	X		
	Platooning transport marchandise	X		
	Réglementation sur la puissance max des voitures	X		
	Taxation des camions à la t.km		X	
Covoiturage, PDE		X		
Péage artères urbaines		X		
Nouvelles offres de transport collectif routier		X		
Carte carbone individuelle			X	
Urbanisme (parking)			X	
Extension des pistes cyclables			X	
Auto-partage			X	
Urbanisme (POS, COS)			X	
Urbanisme (commerces)			X	

Ce dernier tableau souligne le rôle clé des mesures économiques et tarifaires. Pour les énergies carbonées, largement utilisées pour la mobilité, et plus largement pour toutes les mobilités motorisées, qui coûtent cher aux administrations publiques, l'utilisateur ne doit pas être anesthésié. La

rareté des fonds publics est durable, à tous les sens du terme. Elle invite à ce que soient mis en place des mécanismes de régulation de la demande d'intervention publique. Le secteur des transports est celui où cette logique s'applique aisément.

- Pour les transports collectifs, l'usager doit être prévenu que les prix des billets et des abonnements vont augmenter, éventuellement en tenant compte des revenus comme cela se pratique déjà localement. A l'exception de certains publics, il ne s'agit plus de baisser le coût du transport, fût-il collectif, pour en favoriser l'usage (voir rapport n°5).
- Pour les modes de transport individuels motorisés, il sera nécessaire, partout où cela est possible, de mettre en place des systèmes de redevance ou de tarification qui auront le double avantage d'apporter des recettes et de révéler la disposition à payer et donc l'utilité réelle du déplacement. Ils inciteront à un usage collectif de l'automobile (voir rapport n°9)
- Les collectivités territoriales, qui gèrent en France l'immense majorité du million de kilomètres de routes, doivent acquérir la possibilité d'instaurer non pas des taxes, mais une redevance d'usage (voir rapport n°9). Ce principe doit à terme s'étendre aux véhicules particuliers. Pour des raisons d'acceptabilité, une telle mesure peut dans un premier temps être en partie compensée par une baisse de la TICPE (ex TIPP). **Le principe est que l'on paye un prix et non pas une taxe pour l'usage des routes.** Le développement des véhicules hybrides et électriques rend encore plus évidente cette substitution de la redevance à la TICPE.

Parallèlement à cette hausse progressive du coût de la mobilité, les politiques publiques doivent continuer à promouvoir les mesures qui réduisent les émissions de gaz à effet de serre.

- Renforcer les incitations au renouvellement du parc automobile pour que le progrès technique fasse baisser la consommation moyenne des véhicules et donc les émissions de CO₂ (voir rapport n°6). Les progrès techniques pour les véhicules légers sont au cœur de la baisse importante des émissions qu'envisagent les scénarios pour les passagers.
- Les trafics de marchandises constituent un point dur. Le transport ferroviaire ne peut se substituer largement à la route (voir rapport n°7) et les véhicules lourds ne peuvent aisément passer à la traction électrique. D'où la nécessité de poursuivre l'amélioration des standards et de mettre en place une redevance d'usage qui rationalisera l'usage des PL.
- En ce qui concerne les transports collectifs, les TGV et trains régionaux ne doivent être développés qu'au sein de leur zone de pertinence (voir rapport n°5). L'investissement public dans les infrastructures doit être jugé à l'aune des services qui en découlent. Pour certains transports collectifs, il est plus judicieux d'utiliser la route, qui existe et est entretenue.

Références

- 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/>)
- BOUDON R. (1990) « L'art de se persuader des idées douteuses, fragiles ou fausses », Paris, Fayard, 460p
- CROZET Y. (1997), *Analyse économique de l'Etat*, Collection Cursus, 2^{ème} édition A. Colin
- CROZET Y. 2009, *The prospect for inter-urban travel demand*, 18th Symposium of International Transport Forum, OECD, Madrid 16-18/11/2009, 28 pages, www.internationaltransportforum.org
- CROZET Y. (2012) 2012, *Financement de la mobilité, vous n'avez encore rien vu !* in *Infrastructures et mobilité*, Octobre 2012
- CROZET Y. (2013) *High Speed Rail performance in France : from appraisal methodologies to ex-post evaluations*, Discussion paper 2013-26 ITF-OCDE, prepared for the round table on "The Economics of Investment in High Speed Rail", 18-19 December 2013, New Delhi, 34 pages, www.internationaltransportforum.org
- DURON Ph, 2013, *Mobilité 21, pour un schéma national de mobilité durable*, rapport au ministre chargé des transports, de la mer et de la pêche, 88p., www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/CM21
- GOODWIN Ph. (2012), *Peak travel, peak car and the future of mobility*, ITF, OCDE, October 2012, www.internationaltransportforum.org
- GRONAU R., HAMERMESH D. (2001), *The Demand for Variety Transportation: a Household Production Perspective*, National Bureau of Economic Research, working paper n°8509
- HERAN F. (2009), *A propos de la vitesse généralisée des transports, un concept d'Ivan Illich revisité*, *Revue d'économie régionale et urbaine*, A. Colin, 2009-3, Juillet, pp.449-470
- HICKMAN R., BANISTER D. (2005) *Towards a 60% Reduction in UK Transport CarbonDioxide Emissions: A Scenario Building Backcasting Approach*. VIBAT Study. <http://www.ucl.ac.uk/~ucft696/vibat2.html>.
- HIRSCHMAN A. (1991), *Deux siècles de rhétorique réactionnaire*, Fayard 1991, 295p.
- ILLICH I., 1974, *Energy and Equity*, Harper and Row, Ideas in Progress, 83 pages
- 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. www.predit.prd.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 scénarios pour le facteur 4 (-75% de GHG en 2050)*. Thèse de doctorat. Université Lyon 2, October 2009,
- 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. (2010) 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) *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. & alii (2012), Are we heading towards a reversal of the trend for ever greater mobility? ITF, OCDE, October 2012, www.internationaltransportforum.org

MAURICE J. & CROZET Y. éd (2007), *Le calcul économique dans le processus de choix collectif des investissements de transport*, collection Méthodes et Approches dirigée par G. Brun, *Economica*, 454 p.

87, No. 4 (Nov., 1973), pp. 641-645

SCHÄFER, A., et al. (2009), *Transportation in a Climate-Constrained World*, MIT Press, Cambridge Massachusetts.

SCHAFER, A., Victor, D.G., (2000), The future mobility of the world population, *Transportation Research Part A* 34 171-205 09, National Academy of Engineering.