

*Centre universitaire d'étude
des problèmes de l'énergie*

ENERGIE ET TRANSPORTS AU XXI^e SIECLE : QUELS ENJEUX?



**Actes
de la Journée du Cuepe 1999 et
du 3^{ème} colloque du cycle de formation du Cuepe 97-99**

édités par
Jean-Luc BERTHOLET, Myriam GARBELY et Bernard LACHAL
avril 1999



Actes de la Journée du Cuepe 1999 et
du 3^{ème} colloque du cycle de formation du Cuepe 97-99

ENERGIE ET TRANSPORTS AU XXI^e SIECLE : QUELS ENJEUX ?

édités par

Jean-Luc BERTHOLET, Myriam GARBELY et Bernard LACHAL

Avril 1999

Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (Cuepe),
19, avenue de la Jonction, CH - 1205 Genève
Tél. : (41 22) 705 72 30 - Fax : 705 72 00 - Internet : <http://www.unige.ch/cuepe>

Avertissement

Ces actes ont été édités à partir du matériel envoyé par les auteurs. La technique d'impression n'a malheureusement pas toujours rendu les gris clairs dans leur juste valeur. En conséquence, la lecture de certains graphiques en souffre, particulièrement aux pages 8, 11, 47, 93 et 97.

TABLE DES MATIERES

AVANT PROPOS	1
CONFERENCES	3
<i>Transport-énergie et développement</i>	5
Didier Bosseboeuf, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), Paris.	
<i>Les réalités de l'énergie et de la pollution dans les transports terrestres</i>	29
Michel Frybourg, Président du Groupe ENEOS, Paris	
<i>L'évolution technique et la consommation énergétique. Transport quotidien de personnes et de marchandises</i>	39
Claude Lamure, Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS), Lyon.	
<i>Politique énergétique et environnementale dans les transports : les instruments économiques</i>	59
Philippe Thalman, Institut de recherche sur l'environnement construit (IREC), Ecole polytechnique fédérale de Lausanne	
<i>Comment favoriser un report modal de l'automobile vers les transports publics ? Les résultats d'une recherche franco-suisse</i>	65
Vincent Kaufmann, Institut de recherche sur l'environnement construit (IREC), Ecole polytechnique fédérale de Lausanne	
<i>Les impacts de la consommation d'énergie des transports sur l'environnement : une évaluation économique</i>	83
Claude Jeanrenaud, Institut de recherches économiques et régionales (IRER), Université de Neuchâtel	
<i>Auf dem Weg zum nachhaltigen Verkehr? Perspektiven von Verkehrspolitik und Verkehrsforschung in der Schweiz</i>	91
Felix Walter, Directeur du programme national de recherche 41« Transport et environnement, interactions Suisse – Europe » , ECOPLAN, Berne	
PROGRAMME DE LA JOURNEE	105
LISTE DES PARTICIPANTS	107

AVANT PROPOS

Cette manifestation constitue le troisième colloque du cycle de formation du Cuepe 97-99 «Quels systèmes énergétiques pour le XXI^e siècle?» et la traditionnelle journée annuelle du Cuepe. Ce colloque clôt la deuxième partie du cycle consacrée à la consommation d'énergie au siècle prochain.

Maîtriser la consommation d'énergie dans les transports est un des enjeux majeurs de la politique énergétique - aussi bien en Suisse, où un tiers de l'énergie est consommée par le secteur des transports, qu'au niveau mondial, où ce secteur connaît un taux de croissance particulièrement élevé.

On ne saurait nier la grande utilité du système des transports pour l'économie et la société. Mais force est de constater que le développement du trafic de personnes et marchandises est en passe d'atteindre les limites du supportable en matière de charge sur l'environnement et sur la santé de l'homme, en matière de consommation d'énergie, de capacités des infrastructures et de coûts. Si l'on veut maintenir une mobilité souhaitable pour la société, ces limites doivent être considérées comme des signaux sérieux pour les orientations futures de la politique des transports. De nouvelles solutions pour maîtriser le trafic et ses impacts environnementaux sont nécessaires.

Le colloque se propose d'aborder la problématique des besoins d'énergie dans les transports en partant du lien entre la demande de mobilité, les moyens de transports et leur consommation d'énergie. On donnera une description de l'évolution de la mobilité, du rôle des transports dans le développement ainsi que de la consommation d'énergie qui permet de satisfaire ce besoin de mobilité.

Dans une perspective d'avenir, on examinera la question de la maîtrise de la consommation d'énergie dans les transports et de son impact sur l'environnement sous différents angles: quelles sont les innovations techniques prévisibles et leurs conséquences sur le trafic, l'énergie, l'environnement et l'économie ? Ces nouvelles technologies contribueront-elles à remplacer le transport physique de personnes et à rationaliser le transport de marchandises ? Quels sont les changements sociaux importants (style de vie, urbanisme) qui influenceront le développement de la mobilité future ? Quels sont les instruments en mesure d'influencer le comportement en matière de mobilité ?

Ces questions seront abordées principalement dans un contexte Suisse et européen, tout en donnant également quelques éclairages sur les problèmes spécifiques aux pays du Sud. La journée se terminera par une table ronde, lors de laquelle nos invités et le public débattront des enjeux des demandes d'énergie dans les transports.

CONFÉRENCES

Transport-Energie et développement

Didier Bosseboeuf,

ADEME

27, rue Louis Vicat, F-75737 Paris cedex 15

e-mail : Bosseboeuf@ademe.fr

Les débats relatifs à l'effet de serre et aux pollutions locales et régionales posent la question de la « non soutenabilité » du développement à long terme des transports (Replodge 1992; Godart 1990; Dron 1995; Walsh 1993 etc.), quel que soit le niveau de développement. Seuls quelques exemples bien connus, comme les villes états de Hongkong et Singapour (kenworthy et Newmann 1995), permettent d'être un petit peu plus optimiste. Les solutions commencent à être bien documentées, quand bien même elles mériteraient d'être confrontées à la pratique, et la maîtrise de l'énergie joue un orle prépondérant dans ce dispositif. Mais celle-ci doit être conçue de plus en plus en relation avec les politiques de transports dont les options sont de plus en plus en contradiction avec la M.E. L'ambition de cette intervention est d'analyser les conséquences du développement économique sur les consommations d'énergie du transport afin de souligner le caractère stratégique du transport dans la problématique énergie.

- en caractérisant les évolutions passées et futures des consommations transport dans le Monde qui montreront des disparités entre pays et zones géographiques et le déplacement spatial des consommations de l'OCDE vers les PVD.

- en évoquant les principales raisons de la croissance inéluctable des trafics et des parcs, ainsi que la déformation structurelle en faveur de la route, dans la mesure où la demande d'énergie est avant tout déterminée par les paramètres du transport.

1. Le transport : Le secteur clef de l'efficacité énergétique

1.1. La consommation d'énergie du transport : un quart de la consommation mondiale.

Il est de plus en plus facile de justifier le caractère stratégique du transport dans la consommation finale par quelques indicateurs.

D'abord au niveau micro-économique, les transport constituent une activité très intensive en énergie par rapport aux autres secteurs : Les dépenses énergétiques représentent plus de 15% dans les coûts du transport routier et de l'aviation, alors qu'elles ne représentent que quelques % dans les industries fortes consommatrices et 5% dans le logement.

Au niveau mondial, les études comparatives montrent qu'au cours du développement, la répartition par secteur de la consommation finale varie "As a country become rich, the industry declines its importance in the energy demand and the transport grows" (Dunkerley 1980). En 1996, la consommation du secteur transport (hors soute maritime) représente 1/4 des usages finaux de l'énergie au niveau mondial. Cependant, il existe de fortes disparités entre zone et pays de cette part relative, ceci pour une année donnée ou en évolution (Tableau 1.1.).

Dans les pays industrialisés, en vingt ans, la consommation de transport est passée d'un quart du bilan final à un tiers du bilan, avec une dispersion de l'ordre de 10 points entre le Japon et les USA. L'Europe de l'Ouest se situe à mi-chemin entre ces deux situations. Dans l'OCDE, la part du secteur transport est en hausse continue depuis le premier choc pétrolier et cette tendance s'accélère depuis le contre-choc pétrolier. Les pays d'Europe de l'Est représentent un particularisme très prononcé puisque le transport ne représente qu'un sixième du bilan et a été stable depuis vingt ans. Cette situation pourrait rapidement changer avec le passage à l'économie du marché.

Dans les PVD, le transport consomme un quart du bilan en énergie finale et l'industrie est le secteur le plus consommateur. Ici encore, on constate de très fortes disparités entre pays. Par contre, la part de la consommation transport n'augmente pas forcément dans les besoins primaires à cause de la croissance de l'électricité et peut même baisser dans les usages finaux comme en Amérique latine, en Afrique en Asie du Sud et dans certains PVD asiatiques.

Tableau 1.1. : Part de la consommation transport (1) dans les usages primaires et finaux pour une sélection de pays.

	Transport (2)		Transport (3)		Industrie (2)		resi-tertia- autres (2)		non énergétique	
	1973	1996	1973	1996	1973	1996	1973	1996	1973	1996
Monde	23	27	18	19	36	33	33	34	7	8
OCDE	26	33	20	23	34	27	32	31	8	9
USA	32	37	24	26	30	26	31	29	7	8
Japon	17	27	14	19	49	35	18	26	15	12
Eur Ouest	19	29	15	21	36	26	37	36	8	9
Eur Est	16	17	13	13	50	21	28	53	6	8
PVD	22	24	17	19	28	44	45	26	4	6
OPEP	32	33	20	22	27	28	36	31	5	7
Amérique du Sud	39	37	29	29	2	31	23	23	7	9
Afrique subsahara	31	34	22	19	41	39	25	22	3	4
Afri du Nord et MO	28	33			26	28	40	33	5	6
Asie du Sud	28	22	22	15	47	50	17	21	8	7
PVD Asie de l'Est	10	15	8	11	23	53	65	26	2	5
dont Chine	3	9	2	7	13	60	8	28	1	3
dont Inde	28	21	22	14	49	54	15	20	8	6

Source : Auteur d'après base de données ENERDATA

(1) : équivalence à la consommation, hors soute maritime, (2) : par rapport à la consommation finale; (3) par rapport aux besoins primaires

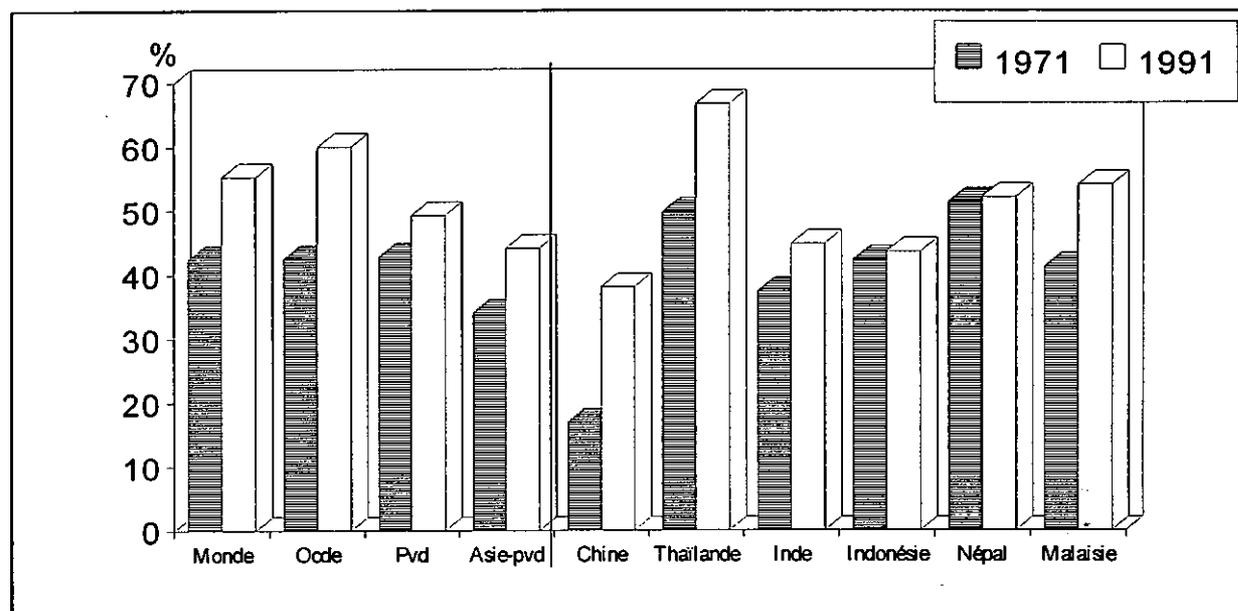
1.2. Le secteur transport est « le noyau dur » des consommations pétrolières.

Le secteur transport est quasi dépendant des produits pétroliers pour l'énergie commerciale et est considéré comme "captif des produits pétroliers". Depuis le premier choc pétrolier, cette dépendance pétrolière est quasi-stable et représente plus de 95 % des consommations, sans qu'il y ait de différence notable selon les zones où les pays (excepté l'Inde et la Chine). Rappelons que cette quasi-dépendance n'a pas toujours été aussi élevée, y compris dans les pays industrialisés lorsque le ferroviaire jouait encore un rôle significatif et consommait du charbon.

Les caractéristiques du secteur transport font que le secteur transport est le "noyau dur" des consommations pétrolières. Alors que le pétrole est tendanciellement évincé des autres

secteurs à cause des substitutions énergétiques, l'absence de substitution significative y compris à long terme, renforce le caractère stratégique de ce secteur. Comme la CME l'indique, "le marché du transport a été quasiment le seul secteur de croissance pour l'industrie pétrolière pendant les vingt dernières années (CME 1992 p. 60). Ainsi, au niveau mondial, la part des produits pétroliers du secteur transport n'a cessé d'augmenter dans le bilan total des produits pétroliers (figure 1.1.) depuis 1973.

Figure 1.1. : Part du transport dans les usages finaux des produits pétroliers.



Source : Auteur d'après base de données Enerdata.

Cette tendance est cependant caractéristique de la période postérieure au premier choc pétrolier. En effet, **dans les pays industrialisés, la part des usages pétroliers du transport dans la consommation pétrolière a baissé de 1950 à 1970** lorsque le fuel pénétrait dans les maisons ou l'industrie au détriment du charbon. Les usages transport représentent plus de la moitié des consommations pétrolières mondiales (55 % en 1991 contre 42 % en 1971). Ce phénomène est encore plus marqué dans les pays de l'OCDE (60 % contre 42 %) que dans les PVD (de 48% à 42%).

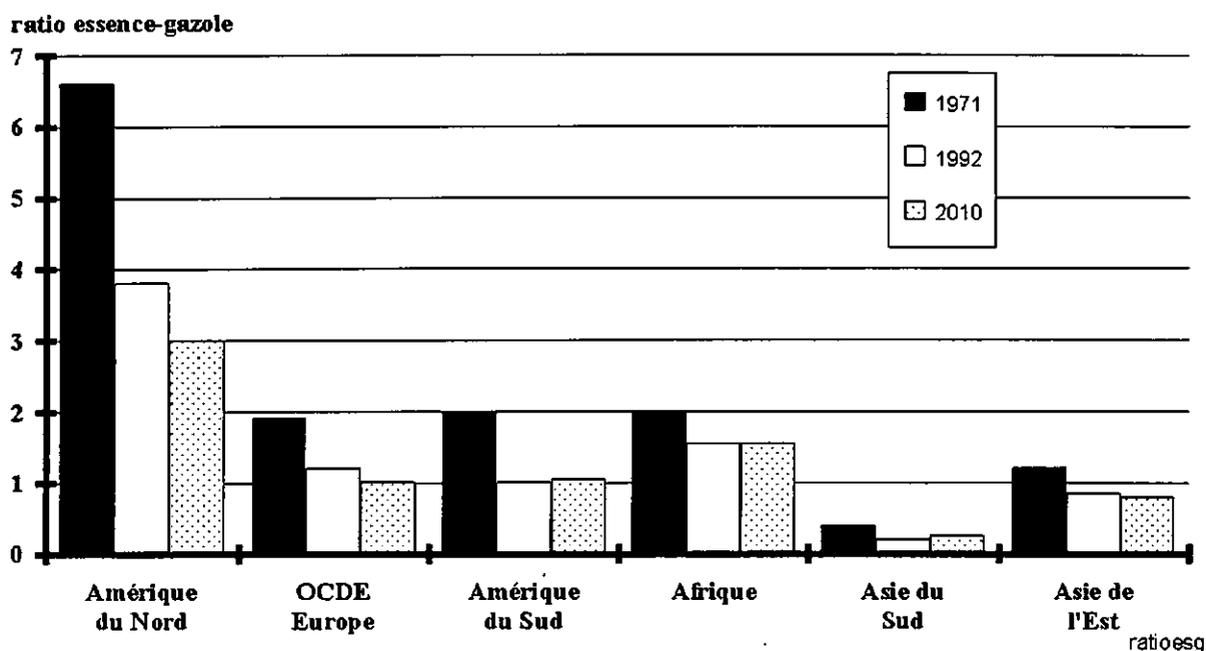
1.3. Le gazole est le carburant le plus consommé

Contrairement à la perception commune, la consommation d'essence n'a pas toujours été supérieure à celle du gazole dans les pays industrialisés. En Asie du Sud et de l'Est (hors Japon), actuellement le gazole est le produit le plus consommé. Ce niveau élevé du gazole "carburant de la croissance" (Biroi 1993) est lié à la part importante des véhicules utilitaires dans le parc tant que la phase de motorisation individuelle rapide n'a pas encore atteint sa maturité. **Dans tous les pays industrialisés, la part du gazole augmente dans le temps** et représente environ un tiers des consommations des carburants en 1992 excepté aux Etats-Unis (17% en 1992) et plus de 45% dans les pays fortement diésélisés comme la France.

On peut considérer qu'un schéma où le gazole était dominant aux tous premiers stades du développement du système de transport, relayé par une prédominance de l'essence au fur et à mesure de la pénétration des véhicules individuels apparaissait justifier. Mais les substitutions et la croissance du transport routier de marchandises sur la période récente perturbent ce schéma, qui ne peut plus être appliqué tel quel dans les PVD, qui substituent vers le gazole

vers le gazole avec 20 ans d'avance par rapport au pays industrialisés pour un niveau de développement similaire. La figure 1.2., montre que la relation entre gazole et essence et développement économique sera différente de celles qu'ont connu les pays industrialisés.

Figure 1.2. : Evolution du ratio essence-gazole par grandes régions (1971-2010).



Source : AIE (1995) "Energy Outlook p. 254

Le carburéacteur est également en forte croissance en relation avec le développement du tourisme et des voyages d'affaires aériens.

Si cette situation perdure, le "recentrage du pétrole sur ces principaux marchés" comme le transport et la croissance différenciée des principaux carburants vont affecter la structure de production de produits raffinés et le prix relatif des carburants. Cette modification structurelle devrait s'amplifier.

1.4. Les préoccupations environnementales amplifient cette vision stratégique.

La montée des préoccupations environnementales renforce l'intérêt de la compréhension des évolutions de la consommation d'énergie du transport, le secteur transport étant générateur de multiples externalités. L'émergence des préoccupations environnementales, régionales et mondiales impliquent les Etats, y compris les PVD de façon beaucoup plus large que la pollution atmosphérique locale. Ainsi, la Chine et l'Inde se placent respectivement aux 3ème et 7ème places, dans la hiérarchie des pays contributeurs aux émissions globales de CO2. Cependant, la lutte contre la pollution atmosphérique apparaît encore un luxe dans ces pays, exceptés dans des cas extrêmes, où elle apparaît intolérable dans certaines mégalo-poles.

La contribution aux émissions du secteur transport est en augmentation dans les PVD comme dans les pays industrialisés dont cependant les émissions globales diminuent. La différence fondamentale est la tendance déclinante des émissions globales polluantes (CO) ou stabilisation (HC, NOx) alors qu'elles augmentent dans les PVD. Cependant, les émissions du secteur transport, même si elles peuvent baisser en valeur absolue, augmentent partout leur contribution dans le temps.

En évolution à l'horizon 2020, sur les 4 polluants (CO, HC, NOx, CO₂), la part des PVD dans le total des émissions transport s'accroîtra et les émissions en niveau absolu croîtront (sauf pour le CO), ce qui n'est pas le cas pour les pays industrialisés (sauf pour le CO₂) (tab 1.2.). Au niveau mondial, on peut raisonnablement estimer les émissions selon le type de véhicule (OCDE 1995). En 2020, les voitures resteront la source dominante de CO (65%), les motocyclettes seront contributrices de HC à hauteur de 32%, fait largement ignoré. Les camions seront les principaux responsables des émissions de Nox (64%). 40 % des émissions de CO₂ proviendront des voitures et 45% des camions.

De même que pour l'énergie, les PVD contribueront au XXI^e siècle à une plus large part des émissions.

Tableau 1.2. : Projections des émissions mondiales de polluants du transport routier par zones géographiques (1990-2010). indice 100 = 1990

	PVD avancés (1)		Autres PVD (2)		OCDE et Pecos		Total
	1990	2010	1990	2010	1990	2010	2010
CO (indice)	100 15%	70 20%	100 18%	51 17%	100 67%	47 63%	152
HC (indice)	100 13%	145 22%	100 14%	94 15%	100 73%	77 63%	94
NOx (indice)	100 8%	172 14%	100 21%	148 30%	100 71%	79 56%	101
CO₂ (indice)	100 7%	235 12%	100 13%	175 17%	100 80%	123 71%	140

Source : Walsh 1993

2. Fortes disparités entre zones géographiques et pays. Le déplacement spatial de la consommation vers les PVD.

2.1. De fortes disparités des consommations transport par habitant.

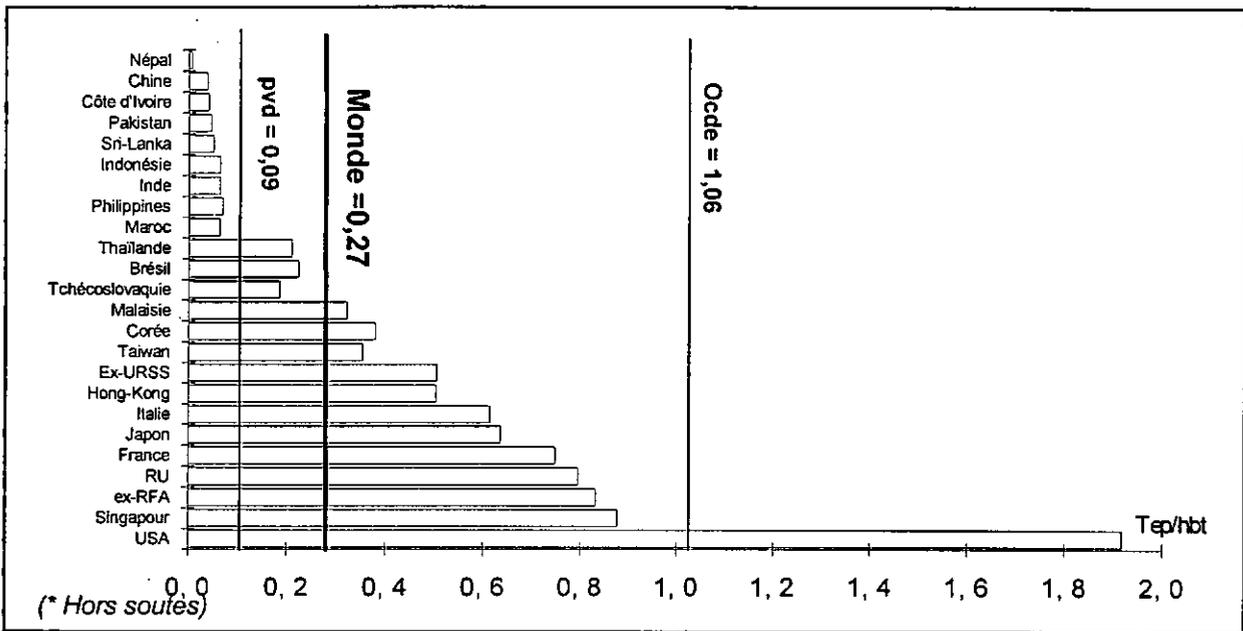
Il existe un facteur 12 entre la consommation d'un habitant de l'OCDE et d'un PVD (fig 2.1.).

Ce ratio s'échelonne de 0,02 tep/hab. à 1,9 tep/hab. selon une typologie en 4 groupes de pays. Les pays industrialisés forts consommateurs d'Amérique du Nord, les pays industrialisés d'Europe qui consomment plus de 0,7 tep/hab., les pays de l'Est et les PVD nouvellement industrialisés qui consomment plus de 0,2 tep/hab et les PVD les moins favorisés (< 0,1 tep/hab.). Eventuellement, les PVD producteurs de pétrole pourraient être séparés.

Ces disparités de la consommation transport par habitant sont plus fortes que les disparités observées sur la consommation totale énergétique et des autres secteurs.

Sur longue tendance, le ratio augmente partout au Nord sur la période mais les disparités entre pays auront tendance à diminuer au cours du temps. En moyenne la consommation par habitant des PVD en 1996 (0,09 tep/hab.) est équivalente à celle du Japon et de l'Italie en 1950, mais reste inférieure à celle qu'ont connu les pays européens en 1950. Sur l'ensemble du Monde, on peut montrer que la consommation par habitant continuera de croître partout jusqu'en 2010, avec un rythme plus fort dans les PVD (AIE 1995) et les disparités resteront très importantes puisqu'un Américain consommera 25 fois plus qu'un Indien en 2010.

Figure 2.1.: Disparité des niveaux de consommation transport par habitant pour une sélection de pays (1996).



Source : Auteur d'après base de données Enerdata.

On retrouve de telles **disparités au niveau des émissions par tête** selon les pays quel que soit le type de polluants. Ainsi, dans les pays de l'OCDE, la moyenne des émissions de CO2 par habitant est de 5,9 t/hab. aux USA; 2,4 t/hab. pour la CEE. Elle est inférieure à 1 t/hab. dans les pays de l'Est; de l'ordre de 2 t/hab. dans les pays du Sud de l'Europe et au Japon.

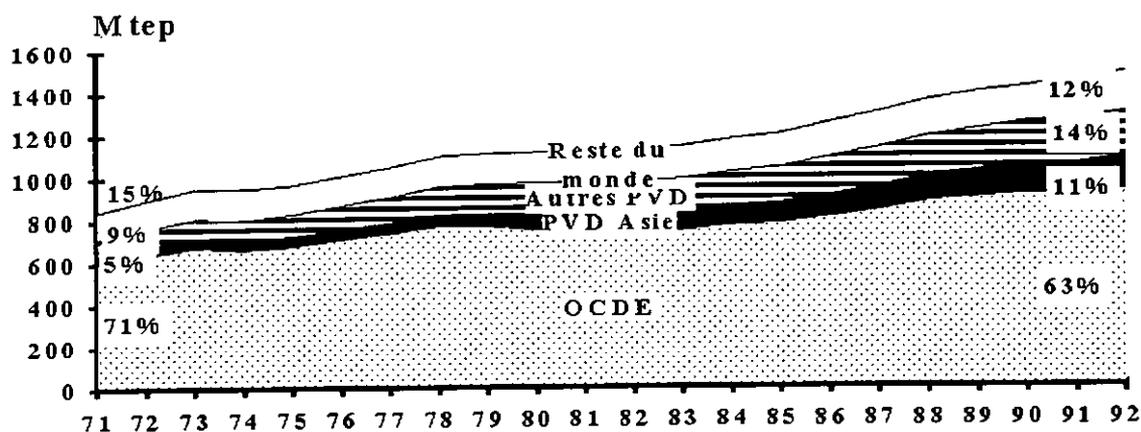
Bien entendu le rythme de la croissance économique et les écarts de revenu par habitant expliquent en grande partie les évolutions constatées.

2.2. Le déplacement des consommations vers les PVD

La contribution des pays industrialisés a été prépondérante dans l'évolution de la consommation mondiale du transport. En 1992, les pays de l'OCDE consomment 0,93 Gtep soit les deux tiers du total avec 16% de la population, les PVD 371 Mtep et les PVD asiatiques 160 Mtep soit 11% de la consommation avec 56% de la population mondiale et 43% de la consommation des PVD (figure 2.2.). Cependant, la consommation d'énergie du transport des PVD est sous-estimée dans la mesure où les estimations proposées n'incluent que la consommation d'énergie commerciale.

Au niveau mondial, le rythme de croissance annuel de la consommation transport a toujours été très soutenu, 2,4 % depuis le premier choc pétrolier. L'effet du contre-choc pétrolier a relancé le taux de croissance de la consommation de transport (3,1 % par an). En moyenne, la croissance a toujours été plus forte dans les PVD asiatiques (6,7% par an) que dans les autres PVD (+ 5,3% de 1972 à 1992), de même après le contre-choc pétrolier (7,2% et 5% respectivement), mais les pondérations masquent des situations extrêmement diversifiées.

Figure 2.2. : Evolution de la consommation finale du transport par grande zone géographique (1971-1992)



(1) hors soutes maritimes

Source : Base de données ENERDATA

Les différences par sous-périodes sont extrêmement frappantes (tab 2.1.). L'OCDE bien adaptée aux mécanismes de marché augmente peu sa consommation en période de marasme et de hausse des prix pétroliers élevés, mais retrouve une croissance forte après le contre-choc pétrolier. L'Amérique latine apparaît en "opposition de phase" (Orfeuil 1993) certainement parce qu'elle compte des pays pétroliers exportateurs. L'Afrique et les pays de l'Est ont une croissance faible qui témoigne de leur crise. Par contre, le comportement des PVD asiatiques semble être voisin de celui de l'OCDE (hors Chine et Inde) puisque la croissance annuelle passe de 4,9 % entre 1980 et 1985 à 7,2% après le contre-choc.

Tableau 2.1. : Taux de croissance annuel moyen (TCAM) de la consommation d'énergie du secteur transport pour une sélection de pays.

Pays/Zones	TCAM (%)	1973-92	1973-80	1980-85	1985-92
•Monde		2,4	2,3	1,5	3,1
•OCDE		1,9	1,5	0,9	2,5
	USA	1,0	0,5	0,9	1,5
	Japon	3,7	3,6	1,6	5,2
• Europe de l'Est		1,5	0,6	1,6	2,5
	Ex URSS (1)	0	1,4	-2,0	-0,4
	Hongrie	2,4	6,6	-0,2	0,2
	Pologne	-0,2	1,4	-2,0	-0,4
•PVD		5,3	7,2	3,2	5,0
Amérique Latine		3,5	11,8	0,7	3,6
Afrique		3,7	5,0	3,2	2,8
•PVD Asiatiques		6,7	7,4	4,9	7,2
	Chine	11,0	20,5	6,0	5,6
	Thaïlande	7,1	3,5	7,0	10,9
	Inde	3,5	3,4	4,0	3,3

Source: auteur d'après base de données Enerdata, (1) 1990 pour les pays de l'Est

Le rythme d'accroissement des PVD paraît donc très élevé mais est du même ordre de grandeur que celui des évolutions constatées dans la période de motorisation rapide des pays

industrialisés. Ainsi, au Japon, en Italie ou en Suède, la croissance de la consommation transport a été de plus de 7% pendant les années cinquante et de 9% dans les années soixante.

Les travaux les plus récents de la prévision de la demande d'énergie (CME 1998, AIE 1997, modèle Poles 1998), s'accordent pour amplifier ce **"déplacement spatial"**. **Le surcroît attendu de la demande pétrolière d'ici 2020 sera plus important au Sud qu'au Nord aussi bien en valeur absolue que relative.** Dessus (1993), avec des hypothèses jugées plutôt prudentes, a estimé que la consommation du transport routier serait multipliée par 6 entre 1980 et 2060 (**annexe 1**). La contribution de la zone asiatique, qui était de 7 % de la consommation mondiale transport en 1988, serait de 27 % en 2020 et de 41 % en 2060. Bien sur, la validité de ces prévisions repose sur la fiabilité des estimations de parc dans les grands pays à forte démographie et sous-motorisés ainsi que sur les hypothèses de saturation de parc dans certains PVD.

Si le diagnostic de long terme de la demande énergétique des transports présente un certain consensus, **les implications sur les grands équilibres et singulièrement l'adéquation offre/demande pétrolière et sur les cours du pétrole sont controversés.** Pour Orfeuil (1993), "une image d'un monde en développement avec 500 millions de véhicules n'apparaît donc incompatible avec les grands équilibres". La CME (Bekkeheien 1995) considère qu'à l'horizon 2020, "the coming demand surge is expected to be met by adequate supplies at moderate prices" liées à la libéralisation du secteur pétrolier. Nous considérons que ces scénarios ignorent les possibilités de crise et nous trouvons discutable l'argumentation que l'OPEP, divisée et affaiblie, ne serait plus en mesure d'imposer ses conditions, alors qu'elle représenterait une part croissante de l'offre (45% contre 39% actuellement). En revanche, Dessus (1993), confrontant ses résultats avec les capacités de production, considère que les prix des produits pétroliers augmenteront fortement. **L'annexe 2** présente l'évaluation la plus récente d'une évolution possible des prix du brut (Criqui 1999).

3. Pourquoi les besoins de transport croissent-ils inéluctablement ?

La demande énergétique étant principalement une demande induite, ce sont avant tout les paramètres ou les déterminants de l'activité transport qui expliquent la croissance des consommations.

Les besoins de transports sont nés dans le domaine des marchandises, des « différences de potentiel » des territoires et contribuent aujourd'hui à redéfinir la vocation des territoires (charbon local versus charbon australien, agriculture de l'île de France qui alimentait Paris versus acteur du commerce mondial céréalier). Le développement du commerce mondial oriente au moins autant les transports que la richesse produite. En outre l'évolution vers les produits à haute valeur ajoutée oriente la demande vers les modes les plus souples et les plus rapides (route, air), malgré leur performance énergétique médiocre.

Cette différence de potentiel oriente également la mobilité personnelle : si l'on en croit les vérifications empiriques de la théorie développée par Zahavi, dans les transports quotidiens, tout ce passe comme si on cherche à maximiser au maximum les opportunités spatiales, c'est à dire maximiser les distances parcourues, sous la contraintes de deux budgets : un budget temps de l'ordre de 60 à 80 minutes); un budget monétaire (ne pas dépasser 15 à 20% de son revenu). Les vérifications empiriques (Orfeuil etc.) montrent évidemment des écarts par rapport à cette loi qui ce veut intemporelle et spatiale. Ainsi dans les pays industrialisés, c'est d'abord la contrainte de budget temps qui est d'abord saturée, alors que c'est plutôt la

contrainte monétaire qui restent forte pour les PVD. Dans les pays du Nord, la politique foncière, les salaires et la disponibilité commerciale amènent les populations à vivre dans des espaces plus larges qui contribuent à l'étalement urbain, ceci d'autant plus que l'infrastructure de transport permet de maintenir ou d'accroître les vitesses de déplacements, au prix de modes plus énergivores.

3.1. Evolution du niveau et de la structure du parc routier: le facteur clef de l'évolution des consommations d'énergie.

Clairement, l'évolution de la consommation d'énergie dans les transports dépend avant tout de l'évolution du niveau et de la structure des trafics routiers. La couverture statistique de la mobilité au niveau mondial (déplacement par jour, passagers, pkm etc.) et du trafic de marchandise (tkm) en particulier routier est très mauvaise. De telle sorte que nous ne retiendrons comme indicateur d'activité le parc routier ou le taux de motorisation.

C'est avant tout le niveau du parc qui a influencé la demande d'énergie. On sait qu'il existe un lien puissant mais non absolu, entre développement et parc de véhicules routiers. Ce lien s'apparente à une courbe logistique en « S ». Cependant, en phase de saturation, l'évolution de la consommation dépend également des changements de structure du parc. Ce mouvement général peut être fortement modulé par l'histoire (rôle des chemin de fer au Japon, Chine et Indes, densité des villes européennes), les contraintes géographiques, les politiques transports restreignant l'accès à l'automobile (Danemark) ou son usage (Singapour) ou la présence de constructeurs etc.

La forte motorisation actuelle des PVD est du même ordre de grandeur que celle qu'ont connu les pays de l'OCDE dans leur phase de motorisation rapide. Nous avons emprunté à Orfeuill (1994) une reconstitution sur longue période (1948-1990) des taux de croissance du parc de véhicules routiers (tableau 3.1 et annexe 3 pour une évaluation plus récente Bensaid 1999).

Tableau 3.1. : Evolution du parc de véhicules routiers (1) par grandes zones géographiques (1948-1990).

	parc 1990 millions	TCAM 1948/1960	TCAM 60/73	TCAM 73/80	TCAM 80/90
PVD	81,7	6,9	8,1	7,7	6,1
Afrique	12,9	8,9	6,8	3,3	5,2
Amérique latine	36,2	4,7	8,4	10,1	3,1
Asie (hors Japon)	32,6	10,9	8,9	6,0	11,9
OCDE	439	7,0	6,1	4,7	2,6
Monde	568	6,8	6,9	5,0	3,2

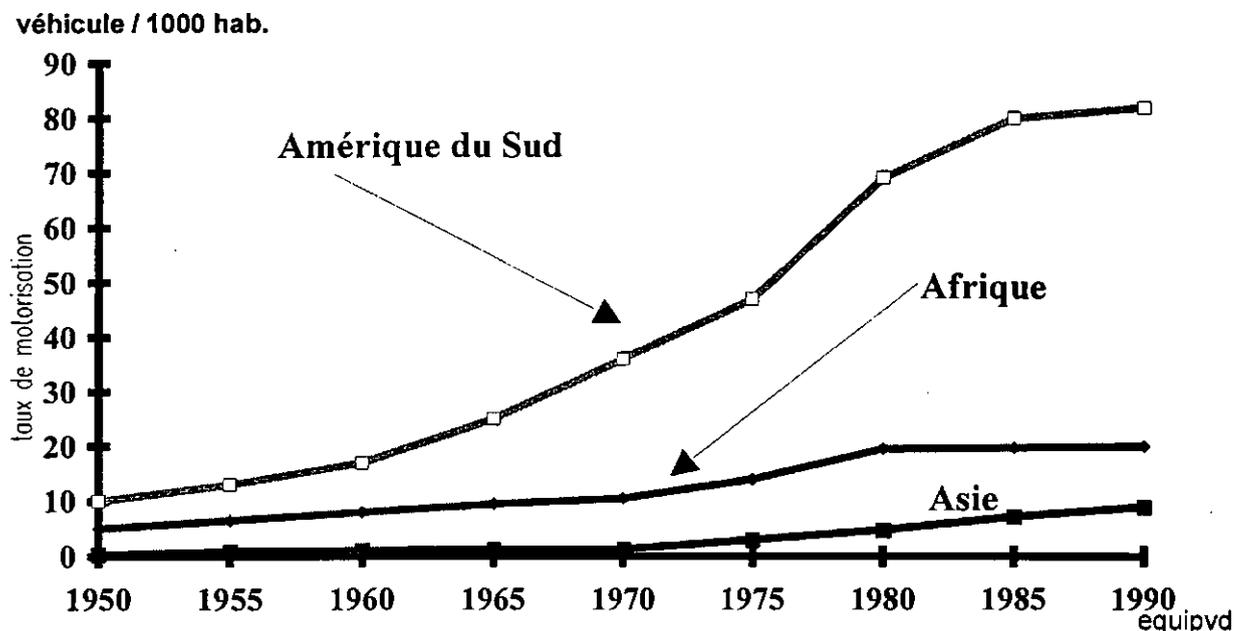
Source : auteur d'après Orfeuill 1994, argus

(1) : automobile + utilitaires hors motocycles

Une comparaison intéressante consiste à analyser le taux de motorisation entre les pays asiatiques et l'Amérique latine où le niveau de développement par habitant est globalement similaire (figure 3.1). Elle montre une dynamique inverse à partir du 1^{er} choc pétrolier. Entre les deux chocs pétrolier, la croissance a été beaucoup plus forte en Amérique latine, liée à une industrie de production, la proximité du modèle américain et la disponibilité pour certains pays du revenu de la rente pétrolière (Venezuela etc.). Sur la fin de période, la récession a entraîné un ralentissement très net de la croissance du parc. A l'opposé, la croissance du parc des PVD asiatiques, déjà forte dans les années 1970, s'est encore accélérée pour atteindre une

croissance à deux chiffres dans les années quatre vingt, seule zone dans le monde à connaître de telles performances qu'a permis la croissance économique.

Figure 3.1.: Evolution de taux de motorisation dans les PVD (1950-1990).



Source : Orfeuil 1993 p.37

Afin de compléter notre analyse, il faudrait prendre en compte les estimations du taux d'équipement des modes non motorisés. En Chine, le taux d'équipement en bicyclette a augmenté d'un facteur 50 entre 1952 et 1985. En Inde, il y a 25 fois plus de bicyclettes que de voitures. Cependant, les gouvernements tentent de décourager la pénétration de ces modes non motorisés, argumentant sur leur rôle dans la congestion et la connotation coloniale, particulièrement des rick-shaws.

3.2. Les effets explicatifs des écarts de taux d'équipement - Croissance économique et taux d'équipement.

Les comparaisons internationales montrent une forte relation entre le taux d'équipement et le revenu. Pour un pays donné, le taux d'équipement croît au fur et à mesure du développement et l'ensemble des pays se situe sur une tendance en croissance. Cependant, l'analyse en coupe transversale montre des disparités importantes selon les pays. Il existe donc des alternatives à une motorisation telle qu'elle se développe aux USA.

Le développement économique favorise la pénétration des automobiles par rapport aux véhicules utilitaires. Si l'on établit le rapport entre les voitures et le parc total, on constate, au delà des variations par pays, une assez forte relation entre niveau de développement et la proportion de voitures. En moyenne en Europe, il y a 88 voitures pour 100 véhicules routiers avec un maximum pour l'Allemagne (93 %). Les Etats-Unis ont un taux plus faible (76%) lié à la forte pénétration des véhicules utilitaires légers notamment à usage privé. L'exception concerne le Japon 0,63, qui correspond au taux moyen des PVD. En Asie, la Chine paraît un cas singulier à relier à l'économie planifiée. Aux exceptions près, la proportion de voitures croît avec le développement économique.

Lorsque que l'on compare les élasticités-revenu du parc de véhicules au PIB sur un échantillon de PVD, on constate par les analyses longitudinales des résultats contrastés selon les périodes et les pays (tableau 3.2.). La tendance la plus claire est celle des PVD d'Amérique latine qui illustre le cas d'effet cliquet du parc puisque même en période de récession le parc a cru ou a explosé comme au Mexique alors que le PIB/hab. stagnait. Une seconde zone assez typique est celle de l'Asie du Sud où l'élasticité est finalement assez faible par rapport à ce que l'on présuppose généralement et diminue dans le temps.

Tableau 3.2. : *Elasticité-revenu du taux de motorisation des véhicules routiers au PIB/hab. des principaux parcs de véhicules routiers des PVD*

PVD hors Asie	Elasticité période 1960-1973	Elasticité 1973-1990	PVD asiatiques	Elasticité 1960-1973	Elasticité 1973-1990
Algérie		3,5	Arabie Saoudite		-4,8
Egypte		1,1	Bangladesh		0,6
Argentine	2,5	-2,5	Corée	2,0	2,4
Brésil	1,1	1,5	Inde	3,6	1,5
Colombie	1,5	3,1	Indonésie	2,6	2,0
Mexique		6,6	Malaisie		1,2
Venezuela	2,3	-0,8	Pakistan		1,3
			Philippines	2,5	0,6
			Thaïlande	1,8	1,5

Source : Orfeuill 1993 p 32

Par contre, les analyses transversales (tableau 3.3.) montrent que l'élasticité-revenu du parc africain est toujours inférieur à l'unité, celle des pays d'Amérique latine proches de l'unité pour la partie pauvre et supérieure à l'unité pour les pays les plus aisés et très inférieure à l'unité pour les pays asiatiques les plus aisés.

Tableau 3.3. : *Elasticité revenu du parc de véhicules dans les PVD (analyse transversale)*

Afrique sub-saharienne	Amérique Latine	Asie
De -300 à 300-500 : 0,5	De -1000 à 1000-1500 : 0,9	De - 500 à 500-1500 : 3,0
De 300-500 à 500-1000 : 0,8	De 1000-1500 à 1500-2000 : 1,2	De 500-1500-2500 : 0,6
De 300 à 500-1000 : 0,75	De 1500-2000 à + 2000 : 1,8	De 1500-2500 à 5000 : 0,5
Magrebh : 0,75	De - 1000 à + 2000 : 1,4	

Source : Orfeuill 1993

L'annexe 4 présente les éléments de synthèse où l'on compare l'indice de motorisation et du PIBppa/hab. Supposons que le citoyen moyen du monde est a un indice 100 pour ces 2 indices. On constate que dans l'OCDE, l'indice du taux de motorisation est supérieur à l'indice du PIB (corrige des ppa). Les Etats-Unis apparaissent très surmotorisés par rapport à leur pouvoir d'achat (indice 627 contre 421). Au Japon, il y a équilibre. L'Europe de l'Ouest est surmotorisée mais moins que les USA. **En Asie en développement, la comparaison des indices indique clairement la sous-motorisation comme en Inde (2 contre 24) ou en Corée 129 et 190 thaïlande 23 et 106.** A revenu similaire de l'Asie, l'Amérique latine est moins sous-motorisée.

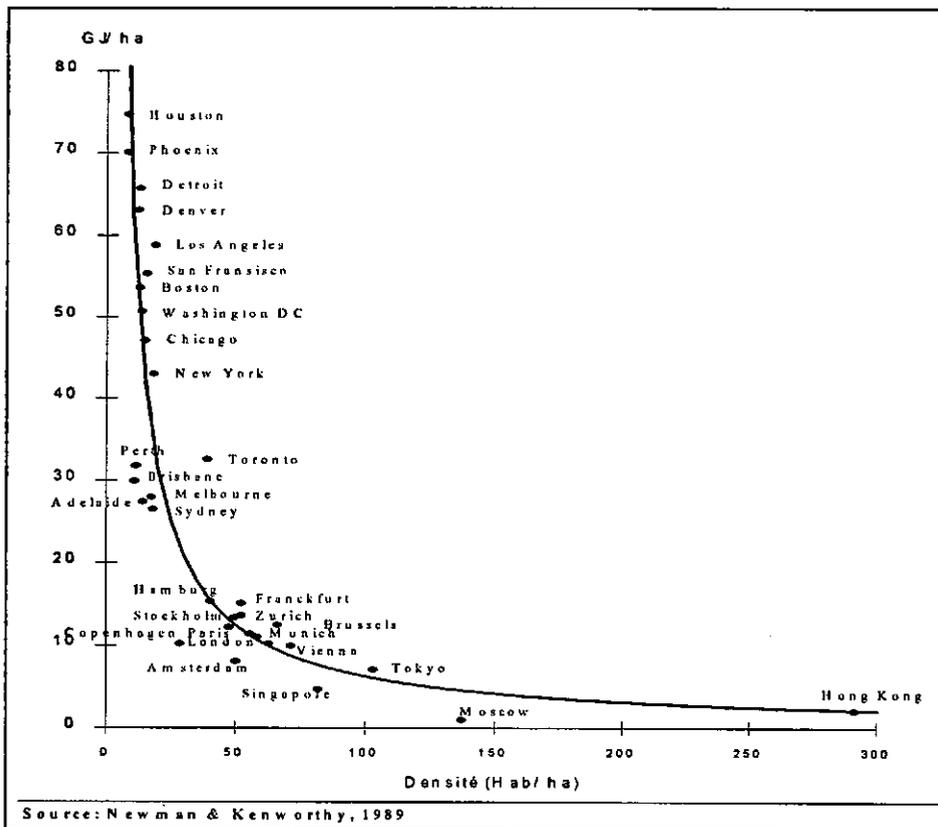
Outre le revenu, les recherches montrent l'importance des déterminants spatiaux (région, type d'habitation, type de logement), démographiques (âge et sexe du chef de ménage, nombre de personnes au foyer) et socio-économiques (nombre d'actifs, revenus des ménages, classe socioprofessionnelle du chef de famille...) sur la détermination de la motorisation.

3.3. un déterminant fondamental : l'urbanisme

déterminants précités, intuitivement, il est tentant de faire jouer à l'urbanisation, un rôle central dans la détermination des taux de motorisation.

Newman and Kenworthy (1989, 1995) à partir d'un échantillon d'une quarantaine de grandes villes internationales (figure 3.2.) ont montré que plus la densité de la population augmente, plus la consommation par habitant diminue dans des proportions tout à fait spectaculaires. Les disparités de consommation par habitant sont énormes puisque celle-ci peut varier d'un facteur 25 (75 G J/hab./ha. à Houston contre 3 G J/hab./ha. à Hongkong). Les écarts s'expliquent par le temps passé dans les modes motorisés.

Figure 3.2. : Influence de la densité et de l'urbanisation sur la consommation transport par habitant.



L'industrialisation et l'urbanisation s'accompagnent mutuellement lors du développement économique, mais l'urbanisation exerce un certain nombre d'influences indépendantes sur l'utilisation d'énergie. Jones (1991) montre, à partir d'une analyse économétrique sur 57 PVD, qu'une augmentation de 10 % de la population urbaine entraîne un accroissement de la consommation d'énergie commerciale par habitant de 4,5 % et de 3,5 % d'énergie totale reflétant les substitutions. Imaginons quelques instants, les conséquences sur la demande pétrolière si l'Inde et la Chine atteignaient les taux d'urbanisation de l'OCDE ?

L'approche **Budget-Energie-Transport (BET)** (Orfeuill 1980, 1984) et maintenant des BEED, confirme les travaux précédents. Basés sur la comparaison de sept agglomérations françaises, les résultats mettent en évidence que la consommation de carburants par unité consommatrice tous modes confondus, croît fortement à mesure que l'on s'éloigne du centre d'une agglomération vers les communes de banlieue extérieure. Si le BET par ménage est de

1700 gep par jour, les variations autour de cette moyenne sont tout à fait considérables. La consommation énergétique transport par ménage est multipliée par 3, et par personne multipliée par un facteur 2 entre un ménage habitant le centre-ville et un ménage péri-urbain. Un homme actif consomme 2,7 fois plus qu'une femme active et 6,4 fois plus qu'une ménagère. Un ménage motorisé consomme 11 fois plus qu'un ménage sans voiture. La localisation résidentielle, la motorisation, le revenu, sont les principaux déterminants des écarts de BET. Ces écarts sont essentiellement dus aux différences de composition des ménages, aux distances à parcourir en raison du déficit en emplois, en commerces et services de zones et plus accessoirement à la place que tient l'automobile dans les distances à parcourir. Ce concept a été appliqué également dans les PVD, comme à Sfax (Tunisie) sur la mobilité quotidienne (Orfeuil 1986) et montre des écarts de BET entre ménage plus faibles que dans les pays industrialisés par le fait que les modes principaux sont les transports collectifs et les deux roues, modes moins consommateurs.

Dans les pays industrialisés, la demande de carburants routiers évolue en fonction du niveau du parc mais de plus en plus en fonction de ces effets de structure de par la saturation du taux d'équipement. Les substitutions énergétiques, la montée en gamme et l'âge du parc sont les principaux déterminants qui ont eu un impact sur la structure du parc. La multimotorisation affecte plus la structure de la consommation par carburant que le niveau de consommation (au moins en France). D'autres effets de structure sont plus spécifiques aux utilitaires. Ces effets de structure sont souvent corrélés. Bien entendu la composition par type de véhicule du parc a eu un effet également important comme la percée des petits utilitaires. On vérifie bien que la structure du parc par type de véhicule évolue en fonction du niveau de développement où les utilitaires perdent de leur importance au détriment des véhicules individuels.

4. Les principales conséquences du développement économique sur les consommations énergétiques du transport.

Au niveau le plus agrégé, on dispose de deux approches sans doutes complémentaires pour évaluer la relation énergie-transport et développement :

1) Les études économétriques (Dhal, Stener, Godwin, Rae 1994 etc.) montrent, au delà des fortes disparités sur les résultats, que l'élasticité de la demande de carburant à la croissance économique est supérieure à 1 dans les PVD où la motorisation individuelle croît plus vite que l'économie, elle est plutôt inférieure à l'unité dans les pays industrialisés au fur et à mesure que l'on s'approche de la saturation. L'élasticité de court terme de la demande de carburant au prix et de l'ordre de -0,3, mais comprise entre 0,7 et 0,9 à long terme, du fait de la prise en compte des anticipations de prix par les constructeurs.

2) Utilisée pour les analyses de la relation entre la croissance économique et la consommation d'énergie, **l'intensité énergétique** est un indicateur simple d'utilisation mais dont l'interprétation reste limitée particulièrement pour l'analyse du secteur transport pour des raisons comptables, car le transport individuel est exclu de la valeur ajoutée des transports.

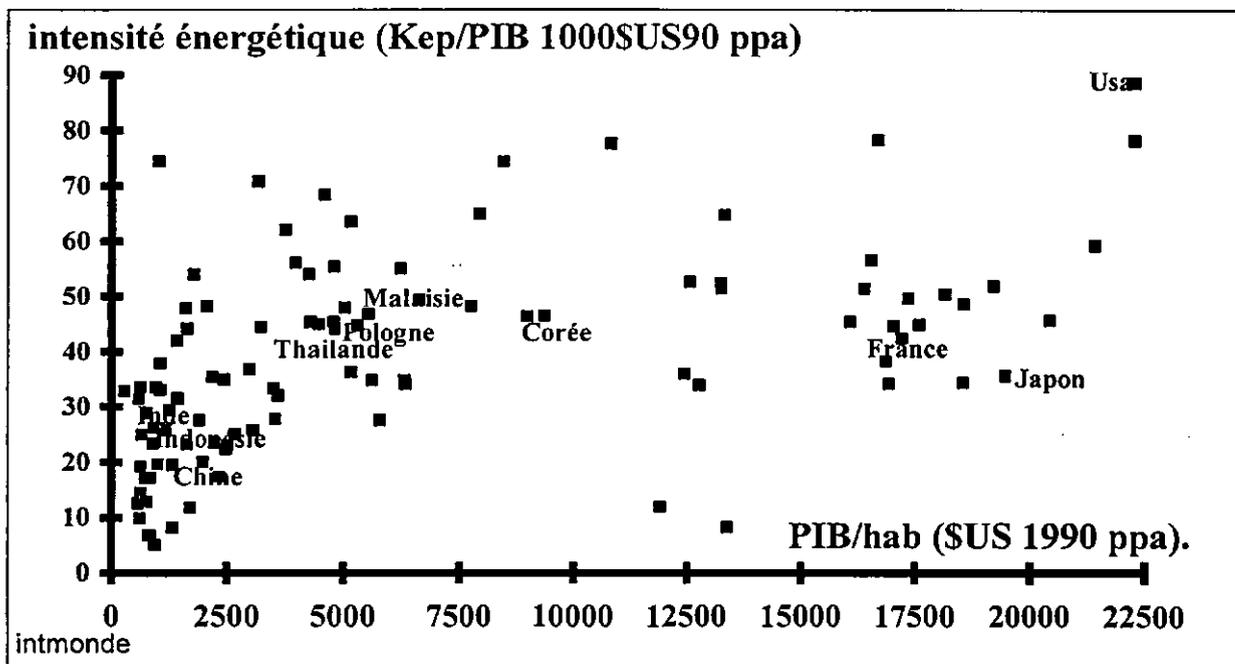
4.1. L'intensité énergétique du secteur transport augmente pratiquement partout dans le monde sauf en Amérique du Nord et en Inde !!

De même que les consommations par habitant ont montré de grands écarts, la comparaison des niveaux d'intensité énergétique du transport (kep/PIB 1000 \$US 90 ppa) pour l'année 1992, indique des différences importantes selon les pays puisque l'on retrouve un facteur 9

entre les USA et les PVD (figure 4.1). En Asie, le Japon deux fois plus riche par habitant que la Corée a une intensité plus faible que la Corée.

Les analyses spécifiques au transport sur des périodes très longues susceptibles de mettre en évidence un profil d'évolution en cloche (effet apprentissage) comme le montrent les analyses globale ou dans l'industrie, n'existent pas. Rien ne prouve que ce profil soit aussi clairement identifiable dans les transports, ou que l'on se situe sur la partie descendante du profil. Ainsi, au Japon, l'intensité énergétique croît jusqu'au second choc pétrolier, puis se stabilise. Dans la plupart des pays européens, elle est stable ou croît jusqu'au second choc pétrolier, et réaugmente ensuite après le contre-choc pétrolier. Les pays de l'Est ont une intensité pratiquement stable depuis les années 1980, malgré une croissance du mode routier individuel.

Figure 4.1. : Intensité énergétique du transport dans le Monde (1) (1992).



(1) : 105 pays; sont principalement exclus les îles et les pays pétroliers du Moyen-Orient
 Source : Auteur d'après base de donnée Enerdata

Lorsque l'on raisonne par grandes zones géographiques, en moyenne dans le monde, aujourd'hui, 1000 US\$90ppa de richesse produite nécessitent une consommation de transport de 54 kep, de 61 kep dans l'OCDE, de 36 dans les PVD pris globalement et de 27 en Asie du Sud et de 29 kep en Asie de l'Est. Dans les pays industrialisés (tableau 4.1.), seule l'Europe a vu son efficacité énergétique se dégrader et se singularise par rapport aux autres pays de l'OCDE. Il est vrai que les niveaux de référence sont beaucoup plus élevés pour un pays comme les USA qui a vu son intensité baisser de - 22 % en vingt ans. Les PVD sont dans une phase de croissance de l'intensité énergétique quelle que soit la zone géographique considérée exceptée l'Asie du Sud. Les pays d'Asie à revenu intermédiaire ont une croissance de l'intensité énergétique moins prononcée que celle des pays nouvellement industrialisés. Les pays du Moyen-Orient se distinguent par la croissance impressionnante de l'intensité énergétique (400%) liée à la présence de pays pétroliers producteurs.

Tableau 4.1. : Evolution de l'intensité énergétique (kep/1000 \$US 1990 ppa) par grandes zones (1973 1992).

(1) kep/milliers de \$US 1990 ppa (2) kep/milliers de \$US 1990	1973 (1)	1973 (2)	1992 (1)	1992 (2)	$\Delta 92/73$ (1)	$\Delta 92/73$ (2)
MONDE	58	63	54	62	- 6,9 %	- 1,6 %
OCDE	71	64	61	55	- 14,1 %	- 14,1 %
OCDE Europe	42	36	46	40	+ 9,5 %	+ 11,1 %
CEE	41	36	45	40	+ 9,7 %	+ 11,1 %
Amérique du Nord	111	110	87	86	- 21,6 %	- 21,9 %
Europe de l'Est (avec URSS)	60	66	82	92	+ 36,6 %	+ 39,7 %
Europe de l'Est (sans URSS)						
PVD	31	56	36	72	+ 16,1 %	+ 28,6 %
Amérique du Sud	40	89	42	92	+ 5,0 %	+ 3,3 %
Amérique Latine	40	91	46	103	+ 15 %	+ 13,2 %
Afrique	32	73	37	85	+ 15,6 %	+ 16,4 %
Maghreb	25	42	33	63	+ 32 %	+ 50 %
Afrique sub-saharienne	34	82	38	85	+ 11,7 %	+ 3,7 %
PVD Asie	26	63	26	61	0 %	- 3,2 %
Moyen-Orient	20	14	80	63	+ 400 %	+ 450 %
Asie du Sud	30	100	27	90	- 10 %	- 10 %
Asie de l'Est et du Sud-Est	29	34	29	39	0 %	+ 14,7 %
Asie NIC	37	52	42	58	+ 13,5 %	+ 11,5 %
Asean 4	31	107	34	118	+ 9,7 %	+ 10,2 %
Chine	1	2	17	36		+ 80 %
Inde	36		29	87	- 19,5 %	- 13 %

Asean 4 : Corée, Thaïlande, Malaisie, Philippines, Asie NIC : Corée, Hongkong, Taiwan, Macao, Singapour

Asie du Sud : Inde, Pakistan, Bangladesh, Népal, Maldives, Bhoutan

Source : Auteur d'après base de données ENERDATA

Conclusion : nous sommes loin du développement durable, mais il existe des alternatives à la route.

Il y a un lien fort mais non absolu entre consommation d'énergie transport et PIB. Le lien est puissant : les écarts de consommations d'énergie pour les transports entre pays riches et pauvres sont encore plus marqués que pour le PIB ou les consommations d'énergie totales. Les analyses plus fines par modes et des équipements consommateurs révèlent :

- une croissance plus rapide des modes les plus consommateurs (route aérien);
- une croissance des véhicules routiers plus consommateurs; l'automobile et les petits utilitaires au détriment des modes non motorisés (marche, bicyclettes et informels etc.) et des véhicules plus efficaces (bus, motos, etc);
- une croissance des usages les plus consommateurs (déplacements urbains et déplacements court liés à l'urbanisation);
- une croissance des motifs loisirs et d'achat dans les pays industrialisés plus favorables aux déplacements automobiles, alors qu'ils restent orienté vers le domicile-travail et l'école dans les PVD, prioritairement encore réalisés en transport collectifs.

Les prix actuels des produits pétroliers et leur perspectives n'incitent pas au Nord comme au Sud, à la prise en compte de l'efficacité énergétique. Mais cette dynamique de long terme, notamment relatif aux contraintes climatiques interdit de considérer les tendances actuelles comme soutenables. Ces contradictions entre court et long terme sont de plus en plus vivaces et sans doute les contraintes économiques (externalités, équité sociales devraient peser pour assurer la transition.

Clairement le développement technologique et les transferts vers le Sud évolueront favorablement et les évolutions de consommations spécifiques des véhicules ne seront pas l'enjeux majeur.

La sous tarification des transports notamment en milieu urbain qui engendre l'inefficacité économique poussent les recherche du côté de l'urbanisme (péages urbains etc.). Au Sud, il faudra maîtriser l'évolution rapide de la motorisation qui engendrera des congestions très fortes, les contraintes budgétaires ne permettant pas à l'infrastructure de suivre, notamment parce qu'il n'y a pas toujours de réseau ferroviaire alternatif. On peut espérer que des fiscalités et tarifications reflétant mieux les coûts seront d'autant plus facilement à mettre en place que l'automobile sera pour plusieurs décennies encore minoritaire dans la population. L'allocation de la voirie prioritaire aux modes non mécanisés et du transport collectif de tous types (y compris informels, intermédiaires etc.) devra être supportée.

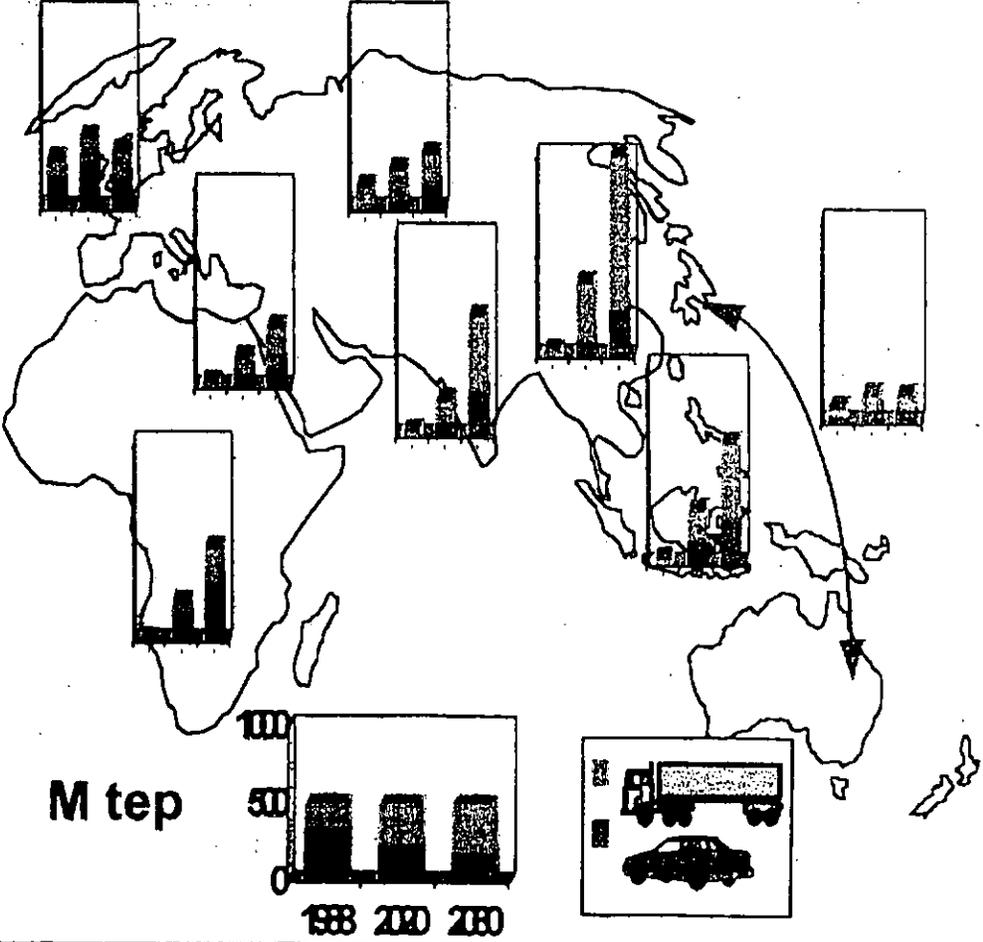
Enfin au Nord comme au Sud, la préparation de l'avenir impliquera la substitution au pétrole notamment en fonction des contextes locaux (biomasse ici, électricité par là).

A un niveau de revenu comparable, on peut montrer des écarts de consommation par habitant très fort. Ceci suggère qu'il n'y a pas de lien absolu et déterminé entre transport et énergie. Il y a donc des alternatives à la croissance des consommations. En dehors des contraintes de long terme géographiques ou d'utilisation des sols, les politiques de transport et bien sur les politiques énergétique et environnementale sont susceptibles de réduire cet écart. On peut trouver des exemples dans le sud ou la Corée développe un modèle où la motorisation automobile est faible en rapport à son développement économique, le réseau de ferroviaire est en expansion et le système de bus interrégionaux performant, malgré des constructeurs nationaux performants tournés vers l'exportation.

Parce que la pollution engendrée par les activités de transports sont locales, régionales mais également mondiale, l'étude des phénomènes explicatifs de l'évolution de la demande d'énergie dans les PVD doit préoccuper ces pays et doit également interpeller les pays industrialisés, d'autant plus que la sécurité d'approvisionnement pourrait être remise partiellement en cause. **Nous sommes loin d'un "développement durable".**

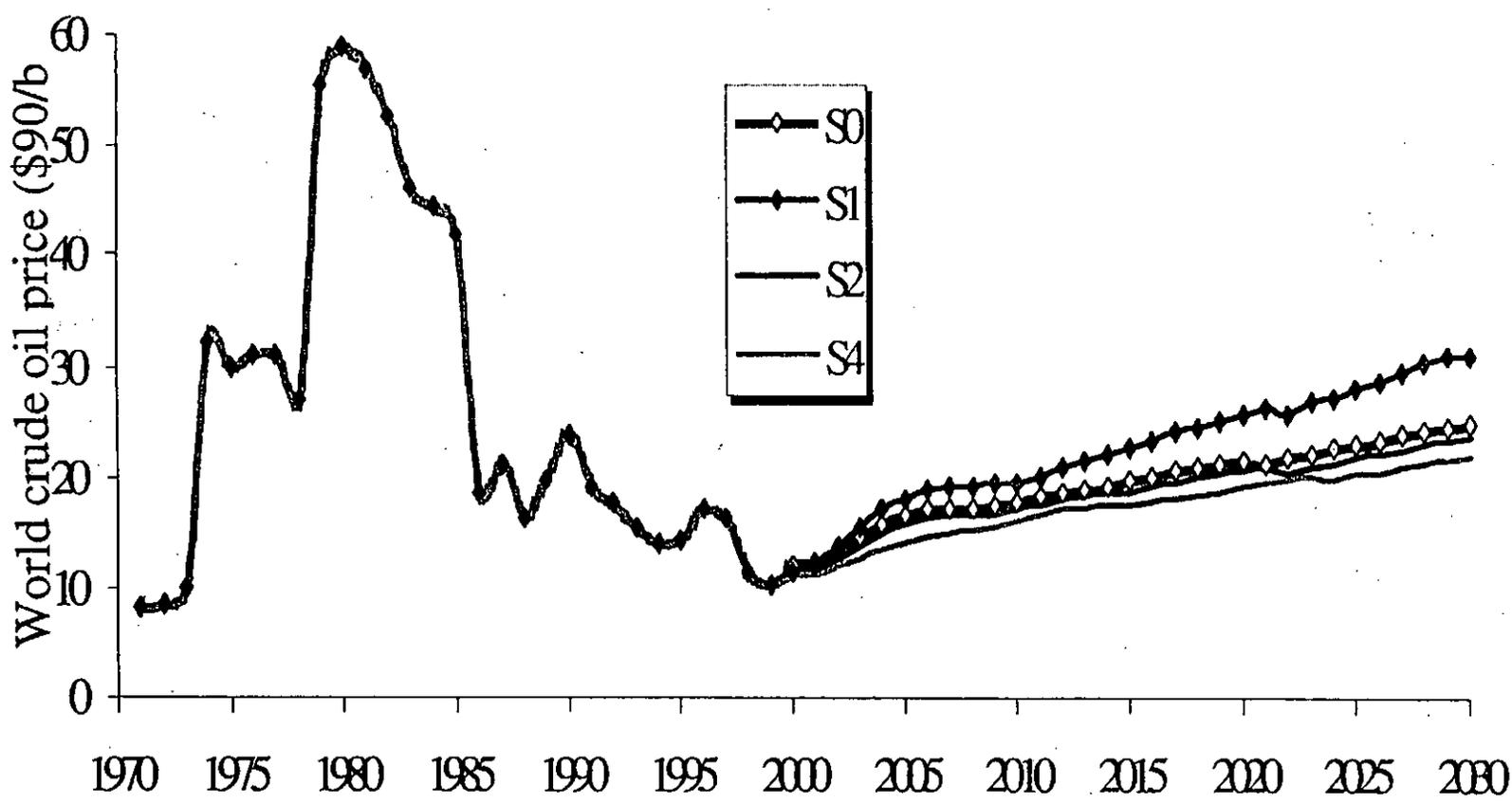
TRANSPORTS ROUTIERS : LE MOTEUR A EXPLOSION !

**TOTAL
MONDE**
1988 :
1,12 Gtep
2020 :
2,76 Gtep
2060 :
5,06 Gtep

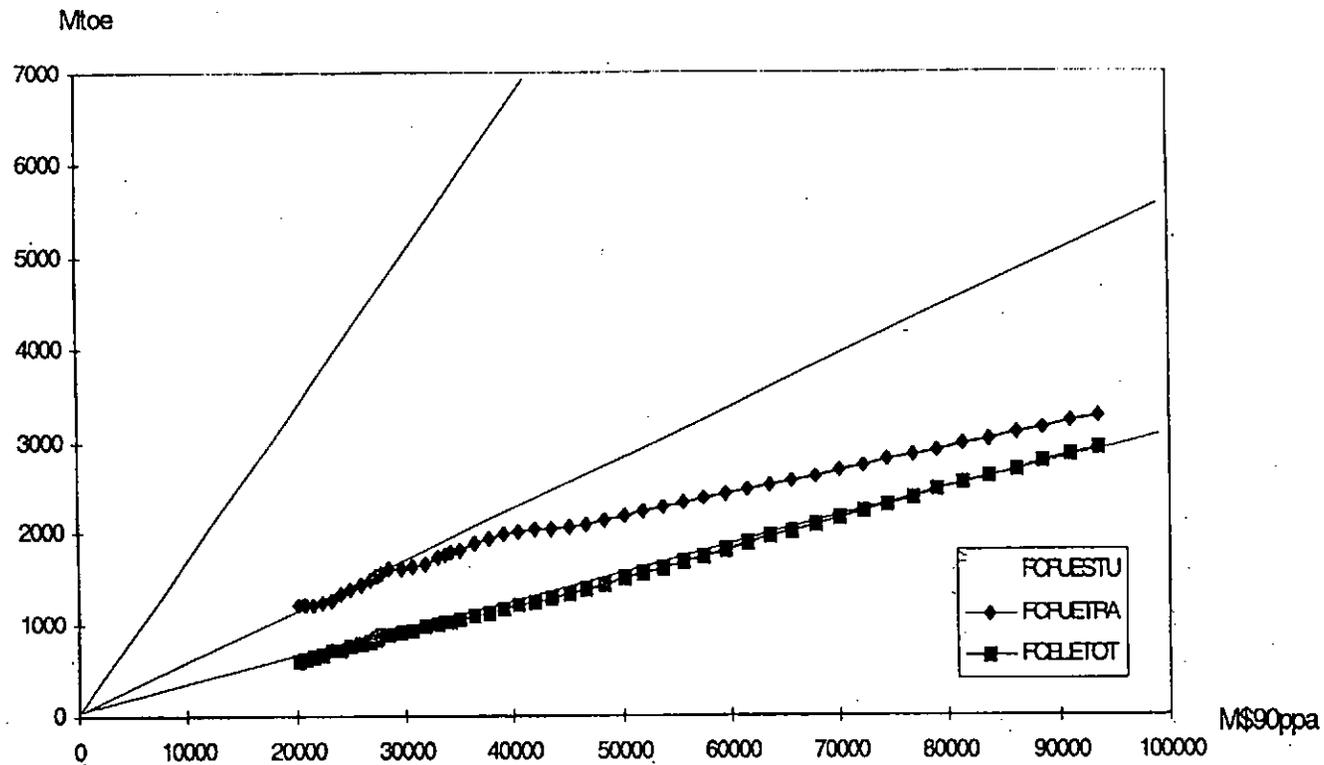


Source B. DESSUS N; MARTINEZ C. BARBIER ECOTECH

Crude oil prices in four scenarios

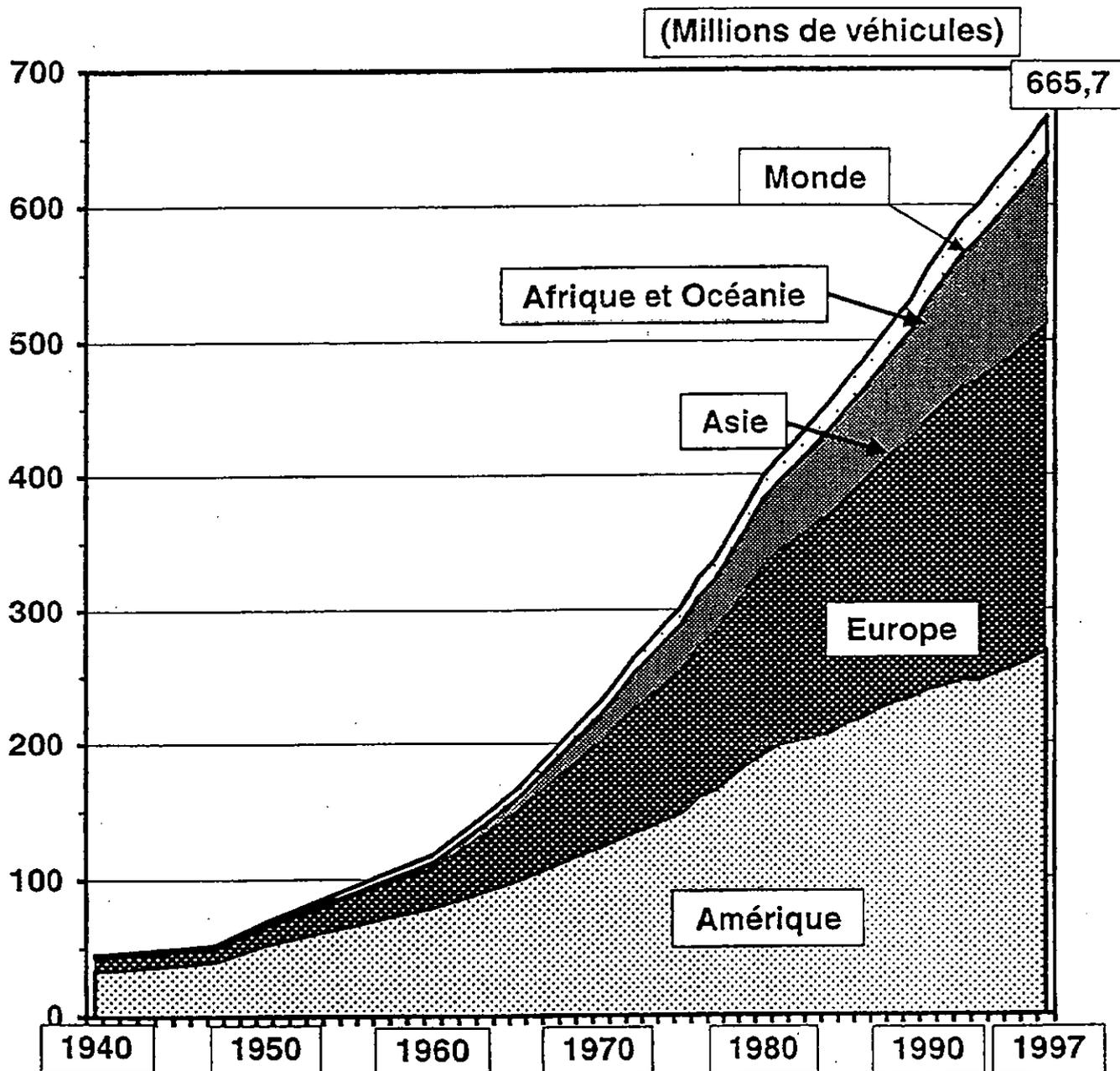


Patterns of Energy Services vs GDP world 1980-2030



Annexe 3.

- Le parc automobile mondial (*) -



(*) : tous véhicules.

Source : C.C.F.A.

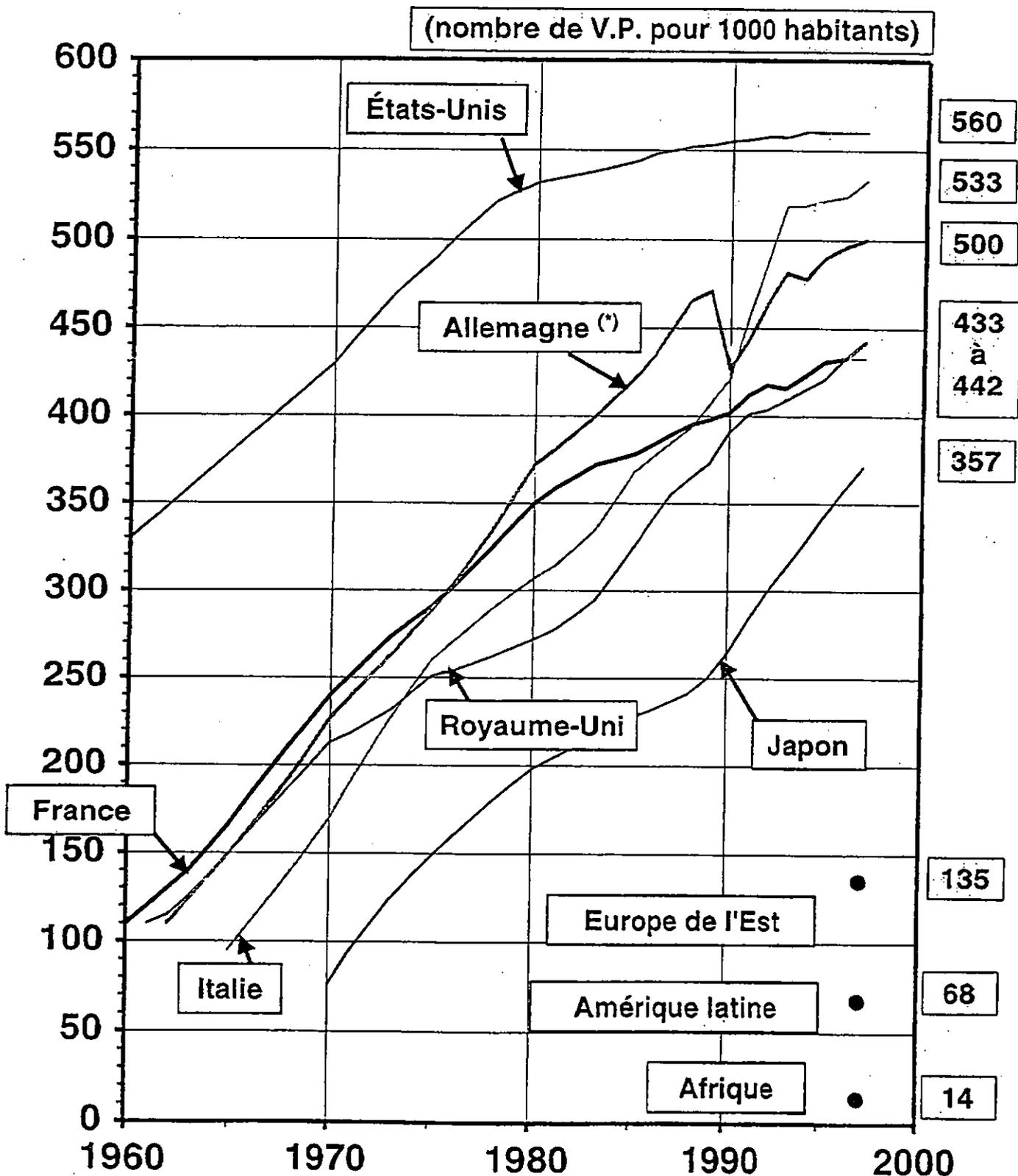
- L'évolution du parc automobile par zone (*) -

	(millions de véhicules)					
	1938	1950	1970	1980	1990	1997
Europe	9,1	12,3	77,7	140,4	201,3	243,1
Amérique dont États-Unis	31,4	52,4	123,4	191,9	239,4	268,7 <i>206,4</i>
Asie dont Japon	0,7	1,0	20,2	49,2	88,5	124,7 <i>68,8</i>
Australie - Océanie	1,1	1,8	5,9	8,8	12,6	13,2
Afrique	0,6	1,2	4,3	9,0	11,8	16,0
TOTAL MONDE	42,9	68,7	231,5	399,3	553,5	665,7

(*) : Tous véhicules (V.P. + V.U.) au 01/01.

Sources : C.C.F.A.
Society of Motors Manufacturers and Traders Ltd.

- Les taux d'équipement - (au 1^{er} janvier 1997)



(*) : intègre l'ex RDA en 1990.

- L'évolution du taux d'équipement -

(V.P. pour 1000 habitants)

	1970	1975	1980	1985	1990	1997	Croissance annuelle moyenne (%)	
							70-80	80-97
États-Unis	430	490	532	544	578	560	2,2	0,3
Allemagne (*)	227	289	372	422	424	500	5,1	1,8
France	240	291	350	380	403	442	3,8	1,4
Grande-Bretagne	213	251	272	325	391	433	2,5	2,8
Espagne	65	128	195	235	294	375	11,6	3,9
Japon	76	148	198	228	264	371	10,0	3,8
Brésil	23	50	68	66	68	80	11,4	1,0

(*) : intègre l'ex RDA en 1990.

Source : C.C.F.A.

Annexe 4. : La sous-motorisation des pays asiatiques (1994)(base 100 = Monde)

	Taux de motorisation Voitures	taux de motorisation total	PIB/hab (\$ courant)	PIB/hab US\$90ppa
MONDE	100 (90)	100 (117)	100 (4500)	100 (6050)
OCDE				
Europe	476	415		
France	478	443	497	328
Allemagne	544	441	523	313
G. Bretagne	468	406	399	302
Italie	580	487	436	310
USA	627	641	550	421
Japon	380	444	699	357
Europe de l'EST				
peco	185	166		
pologne	206	190	50	128
hongrie	235	206	74	138
URSS	84	94	52	111
Amérique latine				
Bésil	78	73	67	98
Argentine	158	163	162	131
Venezuela	84	84	63	132
Afrique				
Egypte	18	21	15	31
Afri du Sud	23	26	15	70
Algerie	103	114	64	71
tunisie	39	49	37	55
	39	46	40	90
Asie				
Corée du sud	25	31	44	65
Chine	129	143	170	190
Malaisie	2	5	11	61
Inde	135	127	70	141
Indonésie	2	4	7	21
Arabie Saoudite	10	14	16	58
Thaïlande	108	139	173	173
Koweït	23	52	45	106
Emirats Arabes	322	311	519	402
Singapour	120	119	500	259
Hongkong	129	137	429	450
	58	70	397	361

Source : auteur d'après CCFA

Les réalités de l'énergie et de la pollution dans les transports terrestres

Michel Frybourg

Président du Groupe ENOES

108, avenue Félix-Faure 75015 Paris

e-mail : frybourg@club-internet.fr

Cet exposé sera organisé en quatre parties :

- A : les réalités de l'énergie et des pollutions dans les transports terrestres
- B : les difficultés de la mise en ordre des propositions
- C : les actions sur les pollutions dans les structures urbaines
- D : les actions sur la consommation d'énergie et l'effet de serre.

A : Les réalités de l'énergie et des pollutions dans les transports terrestres

Le transport est une activité très complexe, dont l'analyse énergétique est loin d'être pertinente. Les préoccupations traditionnelles vont vers les véhicules particuliers et les phénomènes de pointe, en milieu urbain notamment, alors que les problématiques d'énergie et de pollutions sont liées à l'ensemble des véhicules (40 % de la consommation est liée au transport de marchandises), à l'ensemble des voies, même jamais saturées, et enfin à l'ensemble de l'année (vacances, week-ends).

Avant tout, il faut essayer de clarifier la position des transports, notamment automobiles, dans l'ensemble des problématiques d'énergie, de pollutions localisées et d'effet de serre.

Diversité des polluants

Les carburants utilisés dans les moteurs émettent une grande variété de polluants, qui peuvent avoir aussi d'autres sources, et dont les principaux sont :

1. le gaz carbonique (CO₂), principal gaz actif dans " l'effet de serre ".
2. le monoxyde de carbone (CO), aux effets nocifs sur la santé,
3. les oxydes d'azote (NO_x) ont peu d'effets par eux-mêmes, mais sont un précurseur de l'ozone O₃, aux effets importants sur la santé. L'hémioxyde d'azote N₂O est un très important gaz à effet de serre, à très longue durée de vie, environ 200 ans ;
4. les hydrocarbures " HCNM " (" HydroCarbures non méthaniques ") sont émis par les raffineries et les stocks de carburant, lors des " pleins ", par les réservoirs et les moteurs. Les HCNM sont aussi un précurseur de l'ozone O₃, aux effets importants sur la santé. D'autres composés hydrocarbonés " oxygénés " ont les mêmes effets : on les regroupe avec les " HC non méthaniques " sous le nom de " COV ", " Composés Organiques Volatils " ;
5. le méthane (CH₄), hydrocarbure constituant principal du " gaz naturel ", est utilisé comme carburant. Il ne produit pas d'ozone localement, du fait de sa stabilité. Aussi on le distingue des autres hydrocarbures, notamment dans les normes d'émissions. Il intervient dans l'effet de serre, et fait à ce titre parti des accords internationaux.

6. certains hydrocarbures HCNM ont des effets particuliers sur la santé, notamment les "Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques" ("HAP"), de même que certains COV issus de carburants "de biomasse" (notamment aldéhydes, acroléines) ;
7. les particules proviennent d'une combustion incomplète et sont réputées avoir des effets sur la santé, encore mal cernés et très dépendants de critères qualitatifs (taille, composition). Les moteurs Diesel seraient la source majeure des particules nuisibles ;
8. le plomb, ajouté au supercarburant pour en augmenter le pouvoir antidétonant, a des effets néfastes sur la santé. Ce polluant est en voie de disparition, l'application des normes européennes proscrivant son usage pour les véhicules neufs depuis 1993 ;
9. l'oxyde de soufre (SO₂). Le soufre, présent dans le pétrole, est pratiquement éliminé dans les essences, mais il en reste un peu dans le gazole. Son élimination du gazole pose des problèmes techniques et économiques au raffinage. Il n'est pas sûr que cela soit très intéressant, vu la faible part que les transports tiennent dans la pollution au SO₂ ;
10. les CFC et HFC utilisés dans les "climatisations" sont impliqués dans les atteintes à la couche d'ozone stratosphérique (CFC) et l'effet de serre (CFC, HFC).

Les polluants très divers énumérés ci-dessus ont des effets, des zones d'action et des "temporalités" très différentes :

- effets variés : simples gênes, santé, effets sur les écosystèmes ou effets climatiques,
- zones d'action allant de quelques centaines de mètres carrés à la planète entière,
- la "temporalité" est une notion complexe, incluant la durée des phénomènes eux-mêmes (pointes de pollution), la durée de vie des polluants concernés (très courte aux niveaux "local" et "zonal", de quelques jours au niveau "régional" et "transfrontière" et de dizaines ou centaines d'années pour l'effet de serre) et la durée "efficace" des actions de prévention (on peut résoudre le problème en quelques années pour certains polluants, alors que d'autres s'accumulent pour des centaines d'années).

Ces trois axes d'analyse permettent d'esquisser cinq classes de "systèmes de pollutions" atmosphériques :

1. **local** : pollutions dans un parking ou sur une place ou une artère très fréquentée,
2. **zonal** : zone de pollution d'une grosse usine, ou bien sur tel quartier,
3. **régional** : Los Angeles, l'agglomération parisienne, le grand Strasbourg,
4. **transfrontière** : les "pluies acides" en Europe du Nord, ou en Amérique du Nord,
5. **planétaire** : atteintes à la couche d'ozone stratosphérique, et surtout "effet de serre".

1 et 2 : les hauts niveaux de pollution "**locale**" ou "**zonale**" sont liés à des concentrations de circulation sur certains axes ou quartiers. Plus rarement ils sont dus aux usines. Les polluants en cause sont essentiellement CO, O₃ (donc les HC, COV et NO_x), les HAP, les particules. Les décisions nécessaires pour diminuer ces concentrations locales sont d'ordre purement municipal, sous réserve des compétences des départements (usines).

3 : au niveau **régional**, les fortes pollutions observées dans une très grande agglomération sont plutôt reliées à l'ozone seul, donc à la production des HCNM ou COV et NO_x. Les facteurs locaux sont très importants dans les processus de transformations (photochimique) de ces produits en ozone et leur concentration ou dispersion éventuelle. Chaque grande agglomération a une situation différente à cet égard. Les facteurs aggravants sont leur taille, la situation géographique (l'altitude, l'encaissement dans des vallées), la climatologie (saison, ensoleillement, faiblesse des vents), les productions d'ozone par la biomasse environnante, et

enfin leurs activités (industries). La combinaison de ces facteurs peut même amener à trouver des problèmes aigus dans des agglomérations de taille assez faible, de l'ordre d'une ou quelques centaines de milliers d'habitants, comme celles des vallées alpines (Suisse, Grenoble) ou Strasbourg. Mais cela concerne plutôt les agglomérations millionnaires ou multimillionnaires.

4 : la problématique "**transfrontière**" concerne des zones plus étendues que les agglomérations. Elle a eu son heure de gloire avec les "pluies acides" dans les années 1980 en Europe. Les polluants étaient mal définis, HC, O₃, NO_x, SO₂. On visait, sans le dire, le plomb (poison du catalyseur d'oxydoréduction proposé pour les véhicules). C'était donc un "concept de combat" lancé par certains européens soucieux d'unifier les décisions : si la pollution est transfrontière, il était légitime d'imposer aux autres pays des mesures qu'ils refusent. Cela a débouché sur la norme européenne pour les moteurs à essence de 1993.

On pense actuellement que les phénomènes en cause sont en fait bien plus complexes qu'on ne l'imaginait, et impliquent peut-être en premier lieu des phénomènes purement biologiques (effets des sécheresses). Les sources de pollutions (O₃, NO_x, SO₂) incriminées étaient très diverses : outre l'automobile, les chaudières de bâtiment, l'industrie et la production thermique d'électricité (soufre), elles comprenaient de nombreuses pollutions d'origine agricole (NO_x produit par les engrais et soufre provenant de l'eutrophisation des mers côtières par les engrais). L'estimation de la part globale de l'automobile dans les pluies acides variait de 10 à 20 % en Europe, et pourrait encore être fortement révisée à la baisse.

5 : l'effet de serre, **phénomène planétaire**, est dû à des polluants très différents de ceux déjà concernés par les niveaux inférieurs. Le plus important est le CO₂ responsable de 90 % de l'effet de serre d'origine énergétique. Mais il y a d'autres sources de CO₂ que les combustibles fossiles (déforestation notamment) et d'autres polluants à effet de serre. Ont ainsi un effet de serre nos productions de CH₄, N₂O et les CFC et HFC. A un degré moindre, O₃, les hydrocarbures, les autres oxydes d'azote et divers polluants qui agiraient faiblement en augmentant la teneur du CH₄ et du O₃ atmosphérique. Des recherches importantes restent à faire pour évaluer l'activité réelle de chacun de ces polluants minoritaires dits "gaz-traces".

La part de l'accroissement mondial des gaz à effet de serre due à l'automobile (cars, bus et poids lourds compris) est faible : elle ne représente que 18 % de l'accroissement d'effet de serre dû à la consommation d'énergie et 13 % de son accroissement total. La faible consommation d'énergie fossile en France fait que l'automobile y tient une part relative plus importante dans les émissions à effet de serre : 35 % du carbone fossile émis en France contre 25 % aux USA, pays automobile par excellence.

B : Les difficultés de mise en ordre des propositions

Les Transports routiers ont donc, en France, une part très variable dans l'énergie ou chaque type de pollution, comme le montre le tableau de synthèse suivant.

Tableau : Parts des transports routiers dans les émissions anthropiques de polluants en France

polluant, énergie	émissions (%) transports/total	système de pollution (type géographique)	types d'effets
HAP	90 %	local	santé
Plomb	95 %	local-zonal	santé
CO	60 %	local-zonal	santé
HCNM, COV → O ₃	55 %-40 %	local-zonal régional -transfrontière	santé, écosystèmes
Nox → O ₃	65 %-40 %	régional - transfrontière	santé, écosystèmes
particules fines	70 %	régional	santé
SO ₂	13%	régional transfrontière	santé, écosystèmes
N ₂ O	4 %	planétaire (effet de serre)	climat
CH ₄	1 %	planétaire (effet de serre)	climat
CO ₂	30 %	planétaire (effet de serre)	climat
CFC, HFC	10 %	planétaire (effet de serre, ozone stratosphérique)	climat, santé (ozone stratosphérique)
énergie	25%	(consommation)	

Globalement on a trois cas de figure :

- les transports sont prédominants dans un certain nombre de pollutions : CO, HCNM et COV, particules, plomb, agissant aux niveaux local, zonal ou régional ;
- ils sont une source moyenne pour le CO₂ et la consommation d'énergie (encore moins au niveau mondial qu'en France) ;
- ils sont une source mineure de certains polluants SO₂, N₂O, CH₄, CFC et HFC, à effets local, régional ou planétaire.

De plus les effets de tous les polluants sont controversés :

- les études épidémiologiques sur le effets des pollutions sont complexes : mesures difficiles, effets " de pointe " et effets à long terme, maladies à étiologies multiples ;
- les atteintes écologiques comme les " pluies acides " font l'objet depuis 20 ans de recherches qui n'en ont pas épuisé la complexité ;
- pour l'effet de serre les études d'impact se compliquent de la quasi-impossibilité de faire des mesures, puisque les effets climatiques principaux sont à venir ;
- les rares " évaluations économiques " sont peu convaincantes ou totalement arbitraires.

Enfin les actions pour diminuer telle pollution peuvent en augmenter une autre : deux très beaux exemples sont liés au pot catalytique trois voies, utilisés pour diminuer les pollutions locales (CO, HC et NOx) et qui entraîne des productions supplémentaires de CO₂ et de N₂O, actifs dans l'effet de serre.

On mesure donc toute la difficulté de l'élaboration des compromis entre les actions pour maîtriser les divers systèmes de pollution. Les transports routiers ne représentent pas, quoi qu'on en dise, une part majoritaire dans la demande d'énergie. Les transports routiers ne sont même pas, parmi les postes dépassant les 10 % du total de la consommation d'énergie, celui qui croît le plus vite.

Une thèse fréquente tend à nier la part mineure du "trafic urbain" et "l'autonomie du trafic de rase campagne". Il s'agit pour ses tenants de dénoncer la "politique des transports urbains" comme responsable du développement de "tous" les déplacements automobiles. Selon eux l'habitude de l'automobile en ville entraînerait celle de l'utilisation de l'automobile en rase campagne, car sinon "les trafics de ville à ville pourraient se faire "de centre ville à centre ville" sans automobile". En gros ce discours se développe selon le syllogisme suivant :

1. ce sont les nouvelles infrastructures de voirie périurbaine qui créent le trafic urbain, en favorisant l'étalement urbain, par rétroaction l'étalement urbain favorise l'usage "urbain" de l'automobile,
2. or s'il n'y avait pas l'étalement urbain, qui fait que les destinations "de banlieue" prédominent actuellement, les trafics de ville à ville pourraient se faire "de centre ville à centre ville" ; les trafics de ville à ville ne seraient donc plus tributaires de l'automobile, car ils seraient plus susceptibles d'utiliser les transports en commun,
3. donc la création de voiries urbaines est responsable de l'accroissement du trafic "de rase campagne".

Le syllogisme ci-dessus s'autorise du fait que les relations non urbaines ne font jamais l'objet d'enquêtes et de statistiques, ainsi que de modèles de déplacements.

Pour juger le manque de vraisemblance de cette thèse d'entraînement du trafic de rase campagne par l'urbanisme des villes, il suffit de rappeler ici trois points fondamentaux :

- 50 % de la population vit dans des agglomérations de moins de 50 000 habitants, de moins de 3 km de "diamètre urbain", pratiquement impossibles à doter d'un système de transports en commun ;
- les "rurbains" liés à une grande agglomération sont très peu nombreux (quelques pour cent de ces 50 %) ;
- les agglomérations "urbaines" (plus de 50 000 habitants), réellement dotables de transports en commun internes (et de liaisons ferrées commodes à longue distance) représentent environ 25 % du trafic (véhicules.km) total français,
- le taux d'augmentation du trafic "non urbain" est double de celui du trafic "urbain".

Ces simples faits sont déjà impitoyables pour la thèse exposée ci-dessus :

- 50 % des "générateurs" de trafic n'ont rien à voir avec l'urbain tel que défini ci-dessus, ni, donc, avec les "voiries urbaines ou périurbaines" ;
- les déplacements (et trafic de marchandise) ayant une extrémité non urbaine ont par conséquent un trajet non urbain très important et peuvent difficilement utiliser des transports en commun, sauf avec des "rabattements" compliqués.

La thèse liant le développement de "tous les trafics" automobiles aux seules politiques urbaines (voies nouvelles, transports en commun) est évidemment abusive. Il n'en reste pas moins qu'elle prospère sur l'absence d'éléments concernant les trafics non urbains.

Une des tâches statistiques (et de modélisation) sera donc de préciser les déterminants de chaque type de trafic, et notamment d'établir et expliquer les tendances d'évolution, mal connues actuellement.

Le trafic véritablement "urbain" représente moins de la moitié des consommations d'énergie et de production de gaz à effet de serre. Le regroupement sous l'étiquette "automobile"

d'activités ayant des déterminants très différents comme le transport de marchandises, l'exécution des services, le transport en commun de voyageurs et les véhicules particuliers ne facilite pas l'évaluation des phénomènes en cause. Le tableau ci-dessous met en évidence la part, somme toute modeste, du trafic "urbain" et encore plus de sa composante "véhicules particuliers".

Valeurs en 1996	énergie Mtep/an	% énergie automobile	% total énergie	% total émissions CO ₂
total automobile	39,5	100,0%	21,1%	28,4%
intra régional	12,5	31,6%	6,7%	9,0%
inter régional	11,5	29,1%	6,1%	8,3%
urbain, dont :	15,5	39,2%	8,3%	11,1%
<i>véhicules particuliers</i>	8,6	21,8 %	4,6 %	6,2 %
<i>marchandises, services</i>	6	15,2 %	3,2 %	4,3 %
<i>autobus, cars, 2 roues</i>	0,9	2,3 %	0,5 %	0,6 %
véhicules particuliers inter et intra régional	16	40 %	8,5 %	11,5 %

C : les actions sur les pollutions dans les structures urbaines

On classera ces actions par objectifs considérés comme distincts les uns des autres :

- traiter les divers types de pollutions localisées,
- respecter les engagements européens et mondiaux vis-à-vis de l'effet de serre,
- économiser l'énergie (commerce extérieur, indépendance énergétique),
- viser des critères "économiques" : emploi, coût, compétitivité, degrés de libéralisme,
- optimiser ces politiques avec les "autres objectifs", vis-à-vis desquels l'énergie et ses nuisances sont souvent secondaires.

Quatre "critères opérationnels", permettant éventuellement de réduire les émissions automobiles, définissent un classement des agglomérations vis-à-vis de l'existence d'un trafic "urbain" au sens de l'énergie et de ses pollutions :

1. existence de réels problèmes de trafic, pouvant justifier une politique restrictive du trafic automobile, autre que quelques rues piétonnes, et un peu de parcmètres ;
2. potentialités de problèmes de pollutions d'agglomération (en fait la limite est ici supérieure à 200 000 habitants, quelle que soit les facteurs locaux aggravants) ;
3. concurrence effective entre les transports particuliers et des transports en commun ayant des cadences de moins du quart d'heure en pointe ;
4. des possibilités de maîtrise des sols, liés à une taille suffisante de l'agglomération.

Une raison objective du manque de cohérence réside dans le manque de critères communs pour comparer :

- des objectifs de santé immédiate : "la santé, ça n'a pas de prix !",
- les conséquences "à venir" de l'effet de serre,
- des objectifs énergétiques purement économiques : "qui peut dire quels sera le prix du pétrole ?".

Pour le même objectif global, on voit se côtoyer des mesures d'importance et de rendement extrêmement disparates : " importance " et " rendement " variant de un à cent.

D : les actions sur la consommation d'énergie et l'effet de serre

Ainsi, dans le " programme effet de serre " français, qui devrait pourtant être bâti sur des critères internes cohérents :

- on trouve des " carburants verts " à 30 000 F par tonne de carbone émis économisée, soit actuellement 30 000 t/an pour un milliard de F de subvention ;
- on a " oublié " l'interdiction des chaudières à gaz à veilleuse : gain potentiel de plus de 0,5 million de t/an de carbone, à moins de 200 F/tonne.

L'amélioration des coordinations de feux hors heures de pointe, et non pas les débits de pointe, est ignorée également alors qu'elle pourrait être à l'origine de gains importants, qui proviendraient de la diminution des phases de freinage et d'attente aux feux. De plus la coordination des feux induit des comportements de conduite favorables à des vitesses régulières et limitées, générateurs de baisses de consommation supplémentaires. Ces actions sont actuellement très répandues à l'étranger. Elles font régulièrement l'objet d'évaluations. Cela permet des gains d'énergie de 10 à 15 % sur les consommations sans coordination. Les gains sur les émissions de polluants sont encore plus importants, sauf sur les NOx.

Ce type d'action, a été préconisé en France dans les années 1975-1985, mais a été finalement peu développé en France du fait de l'inaction des collectivités locales responsables d'une part et du désintérêt de l'Etat (plus d'incitations à partir de 1985). Bien plus, l'exploitation de la voirie en général (dont la coordination des feux) est souvent refusée actuellement comme moyen de lutte contre les pollutions et d'économie d'énergie, au motif " qu'elle avantage l'automobile " ! Pour une consommation actuelle de l'ordre de 7 Mtep/an dans les agglomérations de plus de 20 000 habitants, le gain potentiel est de l'ordre de 700 000 à 1 Mtep/an en valeur " brute ". Après " combinaison " avec d'autres mesures (amélioration des véhicules notamment) le gain potentiel est autour de 0,5 Mtep/an.

La rentabilité de ces investissements est très bonne, même quand on ne considère que les gains d'énergie. On estime l'investissement à 6 000 F par tep économisée par an. Les coûts d'exploitation sont faibles. Les gains de temps et de sécurité sont considérables, d'une valeur de 0,6 à 1 F par an pour un investissement de 1F. Tout semble donc en faveur d'une telle politique sur le strict plan énergétique, sous réserve d'une analyse plus poussée. D'autres avantages sont apportés par ce type de mesures: gains de pollutions régionales, de sécurité et de temps, et actions en faveur des transports en commun de surface etc. Mais leur mise en oeuvre se heurte à l'émiettement (français) des collectivités locales, au désintérêt des communes pour les économies d'énergie et la lutte contre les pollutions et à l'absence d'incitations financières à leur égard de la part de l'Etat.

Conclusions

L'Europe semble être engagée de façon totalement contradictoire :

- dans une amélioration sans fin des pollutions localisées (la désulfuration des gazoles), qui consomme de plus en plus d'énergie, pour des gains de plus en plus marginaux " de santé " ;

➤ dans des engagements d'économie d'énergie (vis-à-vis de l'effet de serre).

Contrairement aux domaines des bâtiments ou de l'industrie, où les actions possibles sont à peu près séparables les unes des autres, le domaine des transports terrestres est toujours le lieu d'actions complexes et interdépendantes. La présentation des actions demande donc une "analyse" préalable sophistiquée des consommations d'énergie. C'est l'absence - ou le refus - de cette analyse qui étaye actuellement la plupart des dogmatismes et des malentendus.

Les objectifs d'économie d'énergie ou de maîtrise des polluants à effet de serre (et des autres polluants) sont particulièrement difficiles à estimer. En effet les transports sont une activité très complexe, dont l'analyse énergétique est loin d'être pertinente. Les préoccupations traditionnelles vont vers les véhicules particuliers et les phénomènes de pointe, urbains notamment, alors que les problématiques d'énergie et de pollutions sont liées à l'ensemble des véhicules (40 % de la consommation est liée au transport de marchandises), à l'ensemble des voies, même jamais saturées, et enfin à l'ensemble de l'année (vacances, week-ends).

La plupart des "propositions d'amélioration" avancées touchent à plusieurs domaines. Ainsi la limitation de vitesse jouera sur l'énergie et certaines pollutions, mais aussi sur la sécurité et le bruit. Les propositions sur l'urbanisme et les transports urbains visent autant le fonctionnement et l'agrément des villes, les pollutions "localisées", les diverses nuisances (congestion, bruit) que l'énergie et l'effet de serre en eux-mêmes. Aussi, très souvent, l'énergie et les pollutions atmosphériques ne sont en réalité qu'un axe mineur dans les opinions qui s'opposent sur les choix faits en matière de transports.

D'une façon générale l'importance des transports automobiles dans l'ensemble des problématiques d'énergie et d'effet de serre est très surévaluée. L'importance du trafic urbain¹ est elle-même surévaluée par rapport à l'ensemble du trafic automobile etc.

D'où une très grande difficulté à cerner les politiques alternatives et à en évaluer les enjeux réels d'économie d'énergie et de maîtrise des pollutions. Les transports sont, en effet un lieu privilégié de rencontre des autres, et notamment dans ce qui nous est désagréable. C'est par ses camions sur la route que la "production industrielle" (et ses "flux tendus") s'immisce dans notre vie de tous les jours. C'est lors des déplacements que l'on fait l'expérience de la ségrégation sociale, de la pénibilité des transports pour les moins favorisés, de l'insécurité. On y "fait la queue" (la "congestion"). On y traverse les banlieues et les zones "commerciales" d'entrée des villes. On y contemple la dégradation des paysages par, le "mitage" des campagnes ou la dégradation des villages par le phénomène des "rurbains".

La recherche des causalités des nuisances est une nécessité pratique dès lors qu'on veut "agir" sur ces nuisances. C'est parfois simple, comme dans une usine de production, mais c'est rare. Dès qu'il s'agit de la vie quotidienne cela se complique. Ainsi pour l'élimination des déchets urbains : on peut diminuer leur production (emballages), les trier pour les recycler, les incinérer, avec ou sans récupération d'énergie etc.

Pour les transports, activité fondamentalement "intermédiaire", on voit coexister des mises en causes divergentes et contradictoires. Pour les pollutions des transports, seront visés alternativement les carburants, les moteurs, les véhicules (trop gros), "la civilisation du tout automobile", les infrastructures nouvelles, l'exploitation des voiries existantes, les politiques d'urbanisme et du logement, l'insuffisance des transports en commun etc. Sans oublier, pour

¹ On développera ci-après les questions concernant la répartition des trafics selon les types de liaison, zones, etc. Le terme "urbain" demande des définitions précises, qui sont donc à venir.

le transport des marchandises, les camions eux-mêmes, le " flux tendu ", la mondialisation de la production industrielle.

Une des premières tâches à faire sera d'opposer une approche réaliste et chiffrée des effets des transports (énergie, pollutions) aux idées reçues actuelles.

L'évolution technique et la consommation énergétique Transport quotidien de personnes et de marchandises

Claude LAMURE
INRETS

25, avenue François Mitterrand, case N°24, F-69675 bron cedex
e-mail : Claude.Lamure@inrets.fr

I. Enjeux évolutifs et scénarios

Les préoccupations relatives à la consommation d'énergie des Transports peuvent évoluer dans les trente années qui viennent, il convient de prendre en compte d'une part les succès obtenus ou prévisibles dans les dix prochaines années, d'autre part les possibilités d'émergence d'inquiétudes nouvelles. Actuellement les enjeux relatifs à la consommation d'énergie non renouvelables et à la production d'effet de serre sont les plus importants mais pourront modifier la perception des enjeux d'autres facteurs qui peuvent être énumérés ainsi :

- Succès acquis sur les préoccupations d'aujourd'hui :
- Coûts de construction et de gestion des infrastructures et des véhicules,
- Soucis du développement durable (économie et qualité de l'espace, économie de matériaux naturels, propreté générale, nuisances sonores etc.)
- Congestion des réseaux et multiplication des systèmes de transport multimodaux,

Les succès d'économie et de diversification énergétiques pourraient ralentir les efforts et amener plutôt à des situations du genre consommation finale peu variable. De très grands progrès peuvent être attendus des efforts actuels pour la pollution de l'air locale et aussi régionale ; l'élément " accidents deviendra probablement plus important encore (comme la guerre *zéro mort*, le transport *zéro mort* ?) et on ne tolérera peut être plus les dégâts d'aujourd'hui. L'intensité des contraintes économiques et l'évolution des coûts sont difficiles à prévoir et les problèmes d'effet de serre risquent de demeurer essentiels.

1.1. Energie et effet de serre. Deux scénarios

Deux possibilités de signification très différente quant à la gestion de l'énergie s'offrent pour réduire les émissions de gaz à effet de serre :

- a) Réduction de la consommation de combustibles hydrocarbonés.***
- b) Stockage des émissions de gaz à effet de serre.***

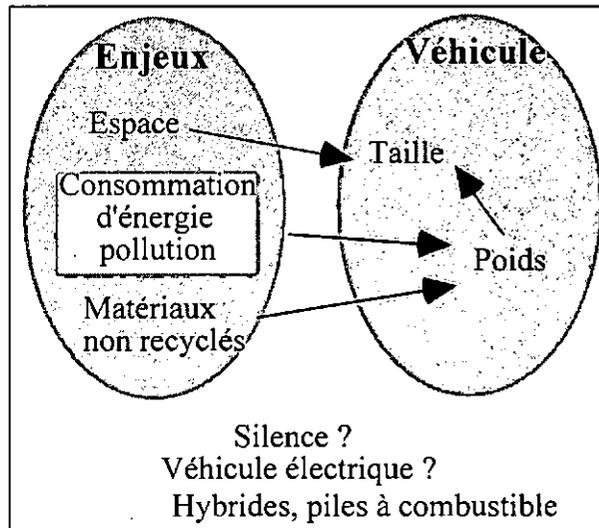
Aujourd'hui on insiste sur la politique à dividendes multiples qui consiste à économiser ou à changer l'énergie. Pour le stockage des gaz à effet de serre, notre exemple sera limité au cas de CO₂ pour les Centrales électriques un peu plus avancé que celui du stockage à l'échappement des véhicules (plutôt inconnu sauf pour les sous-marins à moteur Diesel), ce deuxième scénario n'impose pas une réduction drastique des consommations, il peut renforcer l'hypothèse d'évolution à terme du type de consommation à énergie constante.

I.2. Les ressources naturelles. Cas des matériaux.

Les activités de transport doivent ménager les ressources telles que les biens naturels que sont les espaces, les espèces vivantes, les matériaux dont les ressources fossiles ; elles doivent aussi réduire le volume de déchets non recyclables. Rappelons que :

- dans les pays industrialisés la voiture peut dans une très large mesure être construite à partir de recyclage¹ ;
- toute réduction de poids qui accompagne d'ailleurs le plus souvent une réduction de volume est favorable et la voiture urbaine classique devrait réaliser naturellement cette réduction de poids
- dans les pays en voie de développement, la très grande croissance de la motorisation pourrait entraîner un prélèvement supplémentaire sur les ressources naturelles en matériaux, on se méfiera à ce sujet des automobiles types hybrides si elles sont alourdies et chères ;
- les freins proviennent du coût des matériaux légers et de la demande pour davantage d'équipements de confort.

Figure 1. Entraînements de la réduction de poids du véhicule



Il y aura là une conjonction d'enjeux favorable à la réduction de consommation d'énergie.

I.3. Propreté. Pollution des eaux

Les coûts de nettoyage dus aux véhicules automobiles sont généralement très importants. La maintenance de l'aspect des espaces extérieurs, des parkings et des bâtiments divers (nettoyage-peinture) constitue un poste important.

L'automobile devra donc être non-salissante en particules, égouttures de carburant ou d'huiles, la carburation au gaz est assez favorable même si elle n'atteint pas les performances du véhicule électrique de ce point de vue.

Si un véhicule permet une diminution des rejets de toutes sortes (hydrocarbures, déchets de métaux divers et de métaux lourds en particuliers), ce qui est le cas du véhicule électrique, il allégera le traitement des eaux pluviales et la charge des stations d'épuration.

Les évolutions des carburants peuvent aussi faire courir de nouveaux risques à la qualité des eaux comme l'additif substitut au plomb qu'est le MTBE l'a démontré aux Etats Unis.

II. Facteurs d'évolution

II.1. Les acteurs

Les acteurs influents du système automobile ne peuvent plus être limités aux constructeurs automobiles et à ce qu'on appelle le marché.

Les progrès techniques augmentent constamment les capacités industrielles à améliorer l'environnement, éclairant le public et les élus sur les possibilités de progrès ; ils accroîtront les exigences de la société au travers notamment des élus (ex : le Parlement Européen, les ONG internationales, etc.)

D'un autre coté les industriels disposent des moyens considérables sur les techniques classiques et on observe des aujourd'hui l'intervention des pétroliers soit pour l'innovation comme pour les piles à combustibles soit pour le perfectionnement des techniques classiques avec la qualité des carburants ; ces pétroliers devront ils évoluer vers une diversification des sources.

Il ne faut pas non plus surestimer le rôle effectif d'acteurs externes (cf. encadré)

II.2. Les contraintes de cheminement

Il faut toujours examiner les chemins de transition vers les innovations. Je citerai deux cas : le passage à l'hydrogène, le passage à l'autoroute automatique.

Le passage à l'hydrogène

Rappelons que l'intérêt environnemental de l'hydrogène est tempéré par les émissions à la production ; s'il provient de sources électriques comme pour l'hydrolyse de l'eau, l'impact est celui de l'électricité dont la production sera sans doute de plus en plus propre.

L'utilisation de l'hydrogène comme source alimentant les véhicules peut être :

- soit sous la forme de piles à combustibles à hydrogène,
- soit sous la forme de véhicules au Gaz Naturel mélangé avec de plus en plus d'hydrogène, mélange appelé parfois hydrazine.

La deuxième voie prendrait acte des ressources en GN (pendant plus de cinquante ans encore) et de l'intérêt environnemental relatif du Gaz Naturel, elle ne modifierait pas fortement la distribution et les stockages embarqué et non embarqué des carburants pour lesquels elle satisferait la contrainte de cheminement de la distribution depuis le GN vers l'hydrogène.

L'Hythane, est constitué d'un mélange de gaz naturel liquéfié et d'hydrogène dans une proportion de 15% d'hydrogène en volume.

Ce type de carburant est particulièrement adapté aux véhicules opérant dans des zones ne dépassant pas une centaine de kilomètres de leur base (par exemple les camionnettes de livraison, les véhicules de maintenance et de réparation des réseaux d'électricité, d'eau ou téléphoniques ou encore les véhicules postaux). D'après les premières analyses, un réservoir d'Hythane sous une pression de seulement 15 kg/cm², assurant une autonomie d'environ 300 km, aurait un volume ne dépassent pas le double de celui d'un réservoir à essence habituel".

Le passage à l'autoroute automatique

La difficulté de faire coexister les voies et véhicules classiques avec l'autoroute automatique et des véhicules spécialement équipés a été bien étudiée aux Etats Unis. Cela explique, qu'après les démonstrations réussies de tronçons d'autoroute automatique sur l'I.80 entre Los Angeles et San Diego en 1998, les pouvoirs publics américains ne prévoient pas de poursuite de l'effort dans ce sens

D'ailleurs des doutes plus généraux s'expriment sur la conduite des recherches de télématique appliquée à la circulation qui après 8 ans n'ont pas encore eu les résultats annoncés. Ces doutes s'expriment même brutalement pour les recherches sur l'autoroute automatique (cf. encadré).

Le programme d'autoroute automatique (Automated Highway System, AHS) est une solution à la recherche d'un problème. Hank DITTMAR, Washington DC, octobre 1997.

Des promoteurs du programme d'autoroute automatique ont affiché les objectifs de la sécurité, de l'amélioration de la mobilité et de l'environnement mais ce n'est pas la question... On aurait pu définir des niveaux d'objectifs et une autoroute complètement automatique aurait pu constituer l'un des moyens pour l'atteindre. Avancer une solution technologique avant même de définir la question est une médiocre méthodologie scientifique.

Le consortium américain pour l'autoroute automatique joue un rôle conflictuel. Ses membres doivent à la fois développer et faire évoluer le AHS. Comme nombre d'entre eux sont en situation de profiter de l'introduction du système (si des crédits publics lui sont consacrés), le consortium a engagé aussi la promotion du AHS au travers d'une série de manifestations coûteuses objet de communications commerciales coûteuses. Demander aux mêmes de développer et d'évaluer un programme est aussi de science médiocre...

III. Conception des véhicules. Dimensionnements, taille, puissance, vitesse

III.1. Véhicule urbain ou véhicule de proximité? (réf. 2).

La rareté de l'espace urbain et la nécessité de raccourcir les trajets quotidiens amène à gérer l'espace avec économie, or a toujours estimé que seuls les véhicules classiques à bonnes performances routières pouvaient être vendus, il est en effet difficile de vendre de petites voitures à deux places.

Cependant si les véhicules classiques sont progressivement écartés des centres des villes, l'apparition de véhicules très petits peut devenir possible, elle le serait encore plus pour des niches avec des gestions spécialisées. Amener les dimensions des véhicules au minimum nécessaire pour une ou 2 personnes ne permettrait guère des économies d'espace de circulation ; car les distances entre véhicules en circulation sont déterminées par la vitesse (sauf contrôle automatique qui pourrait apparaître) ; le gain d'espace dû à un raccourcissement du véhicule ne peut être sensible qu'à très basse vitesse ; le gain est beaucoup plus important si le véhicule a une largeur moitié de la largeur de l'automobile conventionnelle ; cela suppose un seul passager de front (possibilité de tandem) et permet d'assurer deux files de circulation au lieu d'une seule sur la même largeur de voie.

Le gain potentiel est plus important pour le stationnement ; dans tous les cas, il dépend de la proportion de TPV dans l'ensemble du parc utilisateur de la voirie.

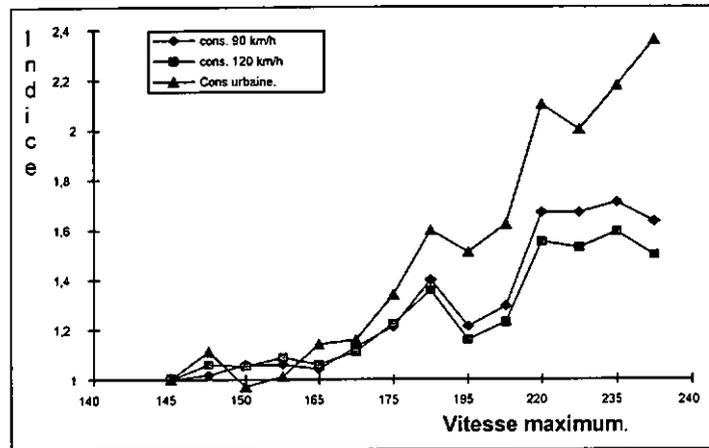
III.2. Puissance, Confort

Le goût de la vitesse et l'accroissement des équipements des véhicules appelle en général une augmentation de puissance et une consommation plus élevée (cf. Fig. 2).

Nos sociétés seront amenées pour de très nombreuses raisons à mieux légitimer les vitesses pratiquées comme on l'a observé ces dernières décennies pour les zones trente, il y a là un gisement d'économie d'énergie très important.

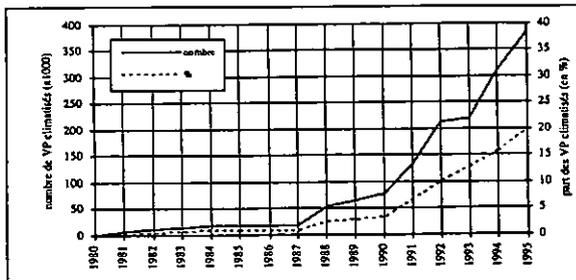
Les exigences de confort peuvent aller dans l'autre sens; sans rappeler l'extension des équipements électroacoustiques, nous prenons l'exemple étonnant de l'équipement des voitures en climatisation.

Figure 2. Consommation selon la puissance (la vitesse maximale)



On pourrait dire que son existence ancienne au Japon et aux Etats Unis aurait pu faire prévoir l'essor de la climatisation des VP en Europe. Apparue en France dans les années 80, l'air conditionné dans les véhicules n'y connut de réel succès qu'après 1990 date à partir de laquelle son ascension fut fulgurante ; à l'heure actuelle, une voiture neuve vendue sur cinq est pourvue de la climatisation. Le taux d'équipement des véhicules neufs s'élèvera, selon toute vraisemblance, pour la France, à 60 % en l'an 2000, (il est de 20% aujourd'hui en Europe). Aujourd'hui, pour en ville, une surconsommation moyenne de l'ordre de 3,1 l aux 100 km est observée (3).

Figure 2. L'essor de la climatisation des VP



Climatisation automobile, énergie et environnement. J.P. Roumegoux et al.⁴

Apparue dans les années soixante aux Etats-Unis, la climatisation automobile a connu un essor considérable dans ce pays, ainsi que dans d'autres pays comme le Japon : le taux de pénétration de cet équipement se situe pour ces pays à des niveaux supérieurs à 90-95 %. On recense actuellement environ trois cents millions de véhicules climatisés dans le monde, soit près de la moitié du parc en circulation [ONU, 1995].

Plus généralement cette tendance à l'équipement peut amener l'hypothèse de comportements à consommation constante comme on a observé les comportements à risque constant qui neutralisent les progrès technologiques en matière de sécurité routière, il faudrait de très grandes modifications de l'environnement économique, fiscal ou réglementaire pour faire échec à des comportements que l'industrie automobile ne peut pas influencer seule.

IV. Techniques de propulsion

IV.1. Vers l'automobile 5 litres ou 3 litres ?

Consommations d'énergie spécifiques des véhicules

La Commission Européenne a eu mandat pour aboutir à l'adoption d'objectifs de consommation moyenne des nouvelles voitures de 5 litres au cent km pour les voitures à essence et de 4,5 litres au cent km pour les voitures à moteurs Diesel ; elle a obtenu l'engagement des constructeurs d'automobiles européens pour limiter à 140 g les émissions de CO₂ par km de la moyenne des voitures vendues en 2008 ce qui représente une amélioration de 25 % entre 1995 et 2008 (cf. encadré).

Des objectifs plus ambitieux peuvent être affichés ; le Predit a orienté les recherches avec un objectif de 75 g de CO₂.

Engagement de l'Association Européenne de Constructeurs d'Automobiles pour les émissions de CO₂

The European Union (EU) is fully committed to meeting its own reduction objective of 8 % in the period 2008-2012, compared to the reference year 1990. Under an agreement between the European Commission and the European Automobile Manufacturers Association (ACEA), the average of new cars sold in the EU by the European manufacturers in the year 2008 will emit about 25% less CO₂ than in 1995. ACEA commits to:

- achieve an average CO₂ emission figure of 140 g/km by 2008 for all its new cars sold in the EU, as measured according to the EU's test procedure;
- bring to the market individual car models with CO₂ emissions of 120 g/km or less by 2000;
- an indicative intermediate target in the order of 165-170 g/km in 2003 as the basis for monitoring progress;
- review the potential for additional improvements with a view to moving the new car fleet average further towards 120 g/km by 2012. This review will be undertaken in 2003.

La réduction des émissions de CO₂ deviendra un élément dominant pour la conception des véhicules.

La circulation en ville amène des consommations très différentes de ce qu'elle est sur route ; la consommation due à la résistance de l'air est beaucoup moins significative en ville alors que c'est l'inverse pour la consommation liée au freinage ou au fonctionnement au ralenti, il est probable qu'on s'attachera à réduire surtout les consommations ville qui n'ont pas encore eu la priorité.

Il n'y a plus de doute sur le fait que la réduction de consommation d'une automobile conventionnelle peut s'abaisser dans le monde entier en dessous de 5 litres aux 100 km, aussi devraient être poursuivis tous les travaux de développement issus de l'expérimentation de véhicules 3 litres menée en France dans les années 80. Il faut rappeler les effets pervers, ainsi la norme CAFE des Etats Unis portée en 1985 à 27,5 mpg (miles per gallon) au lieu de 18

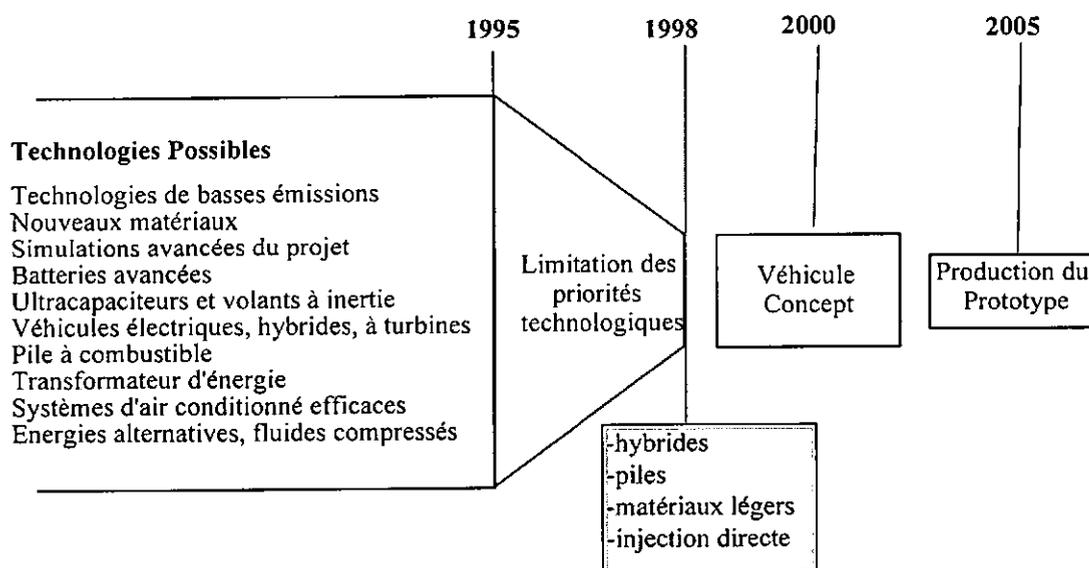
mpg en 1978 voit son efficacité contournée par la commercialisation croissante de petits utilitaires ou autres pick-up dont la consommation est beaucoup plus élevée.

Le PNGV

Le Partnership for a New Generation of Vehicles constitue un programme majeur associant le Gouvernement et l'industrie (notamment les Big Three que sont Ford, GM et Chrysler rassemblés dans l'USCAR) dans un effort destiné à produire dans 10 ans des automobiles présentant toutes les qualités actuelles avec une consommation réduite au tiers de la consommation actuelle.

Les objectifs et les trois étapes du programme sont décrites en figure ci-après.

Figure 4. Programme PNGV⁵



L'évolution du programme semble positive malgré des controverses liées parfois à des divergences d'intérêt des participants. L'intérêt porté aux volants d'inertie, aux supercapacités et aux piles à combustibles traduit aussi l'incorporation des laboratoires et firmes de Défense dans l'effort commun. Douze firmes poursuivent la R.D. sur les volants d'inertie dont l'intérêt des volants d'inertie résiderait comme pour les supercapacités dans leur faible poids et leurs possibilités de charge et de décharge à très forte puissance très supérieures à celles des batteries électriques. Les stockages d'énergie par volant d'inertie bénéficient des progrès sur les matériaux (exemple fibres de carbone), sur les supports, pignons magnétiques (à réaction active éventuellement).

Le continuum technologique (cf. figure 5, initiée par GM) émet des hypothèses sur les émergences successives des diverses technologies. Les espoirs majeurs portent actuellement sur :

- Les hybrides à prix commercial d'ici 5 ans.
- Les piles à combustibles pour un délai un peu supérieur.

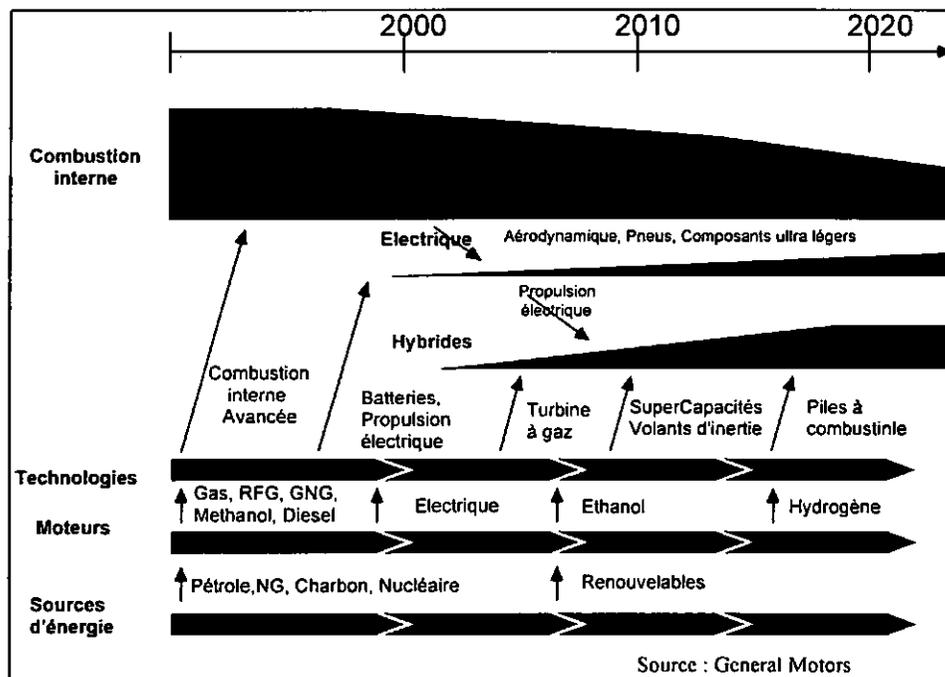
Un exemple de progrès: les départs à froid

Aujourd'hui, les émissions à froid à la mise en marche du moteur constituent une part élevée des surconsommations et la majorité des émissions de polluants locaux de en ville, où les trajets moyens sont courts. Il sera nécessaire de tempérer dès les années 2005-2010

l'importance du départ à froid car l'incorporation dans les cycles d'évaluation des véhicules européens de séquence comprenant le départ à froid est acquise dans la directive EURO 2000⁶ ; les constructeurs ainsi encouragés auront effectué des efforts considérables pour que l'amorçage des réacteurs catalytiques soit effectué très rapidement à la mise en route des moteurs, on a tout lieu de penser que les efforts seront analogues pour la consommation.

Au total, on n'aura presque plus à considérer ni ce sujet ni par conséquent les avantages relatifs à cet égard des moteurs Diesel ou électrique.

Figure 5. Un continuum technologique pour les véhicules automobiles



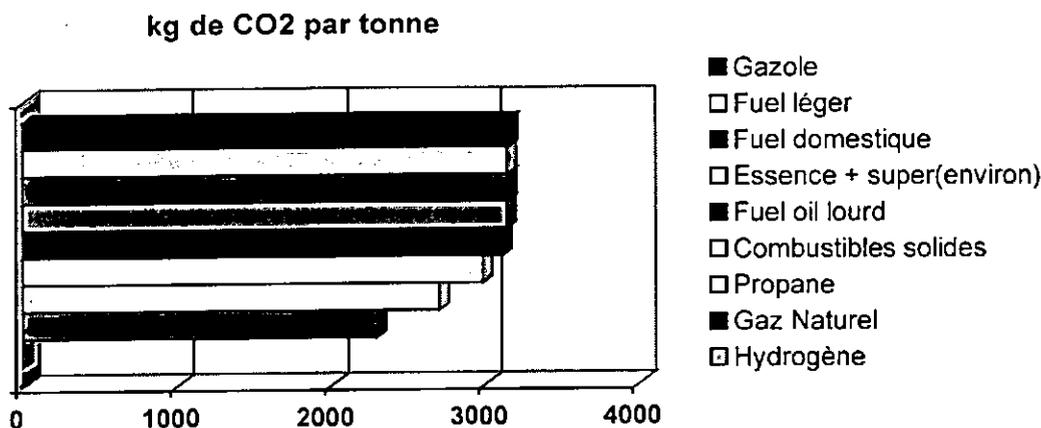
IV.2. Energies alternatives

Cependant j'insiste, répondit Gédéon Spilett. Vous ne niez pas qu'un jour le charbon sera entièrement consommé ?	Oh les gisements houillers sont encore considérables, ... et fourniront longtemps encore à la consommation de l'industrie.
Combien de temps demanda le reporter?	Au moins deux cent cinquante ou trois cents ans.
Et qu'est-ce qu'on brûlera à la place du charbon?	L'eau, répondit Cyrus Smith.
L'eau, s'écria Pencroff ; l'eau pour chauffer les bateaux à vapeur et les locomotives, l'eau pour chauffer l'eau!	Oui, mais l'eau décomposée en ses éléments constitutifs, répondit Cyrus Smith, et décomposée, sans doute, par l'électricité, qui sera devenue alors une force puissante et maniable,....Oui, mes amis. je crois que l'eau sera un jour employée comme combustible, que l'hydrogène et l'oxygène, qui la constituent, utilisés isolément ou simultanément, fourniront une source de chaleur et de lumière inépuisables et d'une intensité que la houille ne saurait avoir.

L'île mystérieuse. Jules Verne

Pour un combustible hydrocarboné donné, les émissions de gaz à effet de serre sont proportionnelles aux consommations de carburants exprimées en poids, les différences selon les carburants actuellement utilisés sont faibles, le gaz naturel étant assez favorable, l'hydrogène servant de référence théorique (cf. figure, il faudrait ajouter les émissions liées à la production et la distribution des carburants ce qui peut être très important pour l'hydrogène). C'est pourquoi des sources d'énergies non hydrocarbonées représentent un thème important.

Il faut noter à ce sujet la capacité des véhicules en gestion collective et des véhicules utilitaires à se prêter à l'emploi des énergies alternatives.



Les gaz carburants

Au vu des disponibilités mondiales de gaz naturel, les perspectives de la filière du Gaz Naturel pour Véhicule, (GNV), sont très supérieures à celles du Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL).

Le gaz naturel, compte tenu de sa formule chimique est, après l'hydrogène, le combustible qui présente le meilleur potentiel écologique, la combustion de GN produit 25 % de CO2 de moins par unité d'énergie que le pétrole. N'utilisant pas de composants soufrés, le moteur à gaz présente une absence totale de fumées et très peu d'émissions de particules, pour les polluants classiques les moteurs thermiques à gaz exigent des catalyseurs à l'échappement comme les moteurs à essence.

Le coût énergétique de la compression et du transport du GN est du même ordre de grandeur que le coût énergétique du raffinage de l'essence à partir du pétrole.

Le gaz naturel peut être utilisé comme source d'énergie dans les transports de différentes manières :

- comme carburant direct dans les moteurs, stocké à bord sous forme comprimée (le GNV, Gaz Naturel Véhicule)
- comme matière première pour la synthèse de carburants (Diméthylether, DME, ou «gazole ex-gaz » issus respectivement de procédés de synthèse)
- comme combustible dans des centrales électriques, l'électricité permettant d'alimenter des véhicules électriques.

Le GNV figure parmi les meilleurs candidats pour l'animation, aujourd'hui et dans vingt ans, des véhicules à moteur.

Rappelons pour situer les ordres de grandeurs relatifs qu'en 1998, il existe aux Etats Unis 279 000 véhicules à Gaz de Pétrole Liquéfié, 8 000 véhicules à Gaz Naturel Comprimé (GNV), 32 000 véhicules à alcool (méthanol et éthanol) et 4 700 VE. L'Italie est le pays qui présente le plus grand nombre de véhicules convertis au gaz, environ 300 000, la normalisation, notamment des réservoirs, semble y avoir résolu largement les problèmes de sécurité.

L'économie et les conditions d'introduction du GNV, sont conditionnées par le coût des stations services qui sont approximativement 4 fois plus chères que pour les carburants traditionnels. Ces stations doivent être amorties avec un nombre d'utilisateurs supérieur à celui des véhicules au pétrole. Une station publique de GNV peut être installée dans les garages des entreprises de transporteurs. A l'origine, on s'intéresse principalement au secteur des Taxis, grand consommateur possible.

Biocarburants

Les biocarburants rendent à l'atmosphère lors de leur combustion, le CO₂ absorbé par les végétaux dont ils proviennent, leur intérêt de principe est grand, bien qu'ils nécessitent pour l'épuration de l'échappement des équipements catalytiques comme ceux des véhicules à essence. Les progrès incessants des techniques agricoles, l'augmentation du coût des carburants classiques peut d'ici vingt ans leur rendre un intérêt atténué aujourd'hui.

Propulsions nouvelles

Même pour les véhicules militaires, les exigences de compacité, d'autonomie (d'économie de combustible) et de furtivité (d'absence d'émissions polluantes) amènent des recherches bien financées et des résultats qui seront peut être un jour transposables aux véhicules civils, citons pour les chars turbines et céramiques pour moteur, pour les navires (dont les sous marins) suppression des émissions, d'où les travaux sur le Stirling, l'absorption de CO₂, l'alimentation oxygène etc.), pour l'artillerie les lanceurs électromagnétiques.

Parmi les différents moteurs thermiques examinés, les turbines paraissent les plus prometteuses avec un rendement dépassant de 30% celui des moteurs alternatifs à explosion et avec l'aptitude à brûler des carburants variés, cependant la réduction catalytique restera nécessaire pour les NO_x. Des recherches portent principalement sur les organes mécaniques qui doivent présenter des résistances très élevées à la fois thermiques (2 000° à 2 500°), et mécaniques et des coûts de fabrication acceptables pour des véhicules routiers; l'emploi sur des hybrides est envisagé.

Les véhicules électriques *purs*

De nombreux avantages d'intérêt public sont attribués aux véhicules électriques, citons :

- l'absence d'émissions polluantes locales, de détérioration dans le temps de systèmes antipollution, d'évaporation du carburant
- le silence de fonctionnement tout au moins à basse vitesse.
- la diversification des sources d'approvisionnement énergétique et la réduction de la consommation

De plus le véhicule électrique qui n'émet pas de poussières et qui ne laisse pas de traces d'huile ou de carburant présente d'éminentes qualités de propreté.

Il y a cependant des faiblesses :

- Les émissions des centrales électriques qui sont généralement alimentées essentiellement avec des combustibles fossiles.
- Les véhicules électriques n'évitent pas la congestion et n'économisent pas un espace rare en zone urbaine.

Surtout et c'est aujourd'hui la difficulté essentielle, le prix du véhicule reste excessif, 20 à 30 % plus élevé que celui des véhicules classiques auxquels il faut ajouter 20 ou plus pour les batteries.

Les batteries

Les performances des batteries au plomb pour le stockage de l'énergie et la puissance massique sont de l'ordre du 1/100ème de celles d'un réservoir d'essence. La comparaison est encore plus défavorable lorsqu'on compare la vitesse d'alimentation énergétique d'un véhicule à la pompe ou à la borne de recharge électrique, les rapports de temps pour faire le plein sont de 1/1000.

Malgré l'intérêt des recherches et des applications récentes de couples tels que Li C, on reste toujours extrêmement loin des capacités énergétiques des carburants liquides. L'emploi de batteries pour des moteurs faiblement hybridés donc avec des batteries modestes offre de meilleures perspectives mais il ne s'agit plus d'effectuer des trajets importants en mode électrique.

Des alternatives aux batteries.

On s'affranchirait des limitations actuellement prohibitives des batteries par une alimentation en continu, deux cas qui s'appliqueraient surtout aux Transports Publics sont évoqués ci - après :

a) L'induction

Ce procédé consiste à échanger l'énergie électrique entre le sol et le véhicule sans contact grâce au couplage magnétique entre des bobines inductrices au sol et induites sous le véhicule. La recharge par induction se répand maintenant pour les voitures au stationnement mais n'est pas encore utilisée en circulation électrique.

Lointaine paraît la possibilité de recharge par induction en continu sur les lignes pour les TC, ces recharges peuvent supprimer les intrusions aériennes tout en assurant la sécurité des usagers de la voie, aujourd'hui les pertes de rendement et les coûts d'installation limitent cette option à la recherche

b) Le transfert par captage en caniveau

Ce procédé doit assurer la sécurité notamment par temps de pluie et de circulation piétonne toujours possible. Deux sociétés travaillent sur le captage en caniveau : CEGELEC sur la base d'un système électrique permettant la commutation de l'énergie sous le véhicule, et ANSALDO sur un système magnétique permettant de collecter localement l'énergie à partir d'un frotteur aimanté attirant une bande métallique sous tension. Ces deux systèmes sont actuellement en cours de validation et leur viabilité n'est pas démontrée.

L'énergie solaire

L'électricité d'origine solaire propulse aujourd'hui les véhicules des rallyes australiens, américains ou du Tour de Sol Suisse. Les véhicules très coûteux, (avec parfois des conducteurs en position couchée) sont très loin de pouvoir constituer des produits commercialisables. Ces rallyes ont surtout provoqué de grands progrès dans l'adaptation de moteurs et transmissions électriques à de petites voitures.

Les rendements des capteurs solaires au silicium, qui atteignent lentement 18%, n'autorisent pas aujourd'hui à animer complètement des automobiles classiques. Peut-être les capteurs solaires contribueront-ils surtout à décentraliser la production d'énergie électrique pour

charger les batteries ou hydrolyser l'eau en vue de produire l'hydrogène. Dans l'immédiat, on se contente de commercialiser des ventilateurs solaires pour climatiser les habitacles des véhicules à l'arrêt (Mazda).

IV.3. Les Hybrides

Dans les véhicules dits hybrides, deux chaînes de propulsion de caractéristiques complémentaires sont associées :

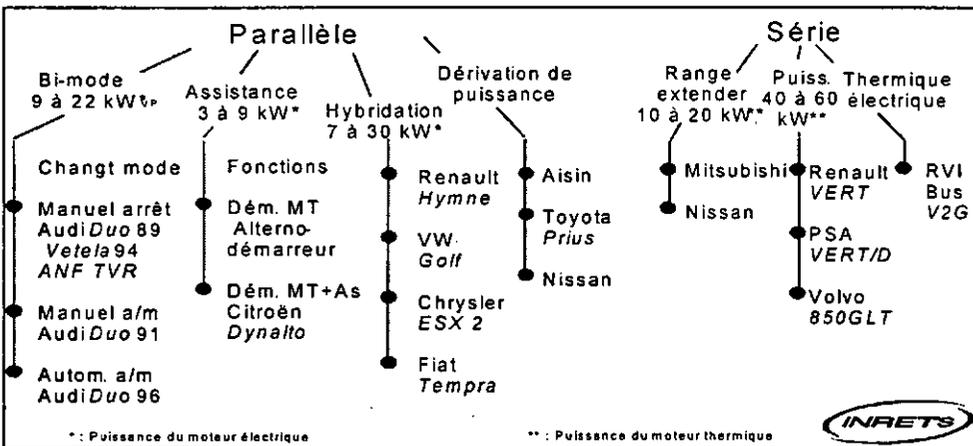
- l'une comportant un stockage d'énergie réversible à haut niveau de puissance (batterie, supercapacité, volant d'inertie),
- l'autre comportant un transformateur d'énergie irréversible (moteur thermique, turbine à gaz, pile à combustible).

Les émissions sont nulles en mode électrique pur, mais ce fonctionnement est rare sur certains type d'hybrides lorsque les batteries sont réduites pour alléger le véhicule.

Un système de couplage associe ces deux chaînes aux roues motrices et optimise leur fonctionnement. En découlent les deux familles d'architecture :

- l'hybride série comporte une transmission aux roues uniquement électrique, l'énergie provient d'une batterie, sur route ou dans des zones non protégée au plan de l'environnement, un alternateur entraîné par un moteur thermique recharge la batterie et anime la motorisation électrique.
- le couplage parallèle qui fait intervenir de l'énergie mécanique ; l'hybride parallèle a deux moteurs reliés aux roues : un moteur thermique et un moteur électrique. Le moteur thermique assure les vitesses et autonomies classiques, le moteur électrique permet la circulation propre et silencieuse en ville.

Figure 6. Classification des architectures de véhicules hybrides



La Prius est commercialisée au Japon depuis début 1997⁷ et permet des consommations très basses mais elle serait vendue à perte.

Toyota Prius (salon automobile de Genève, printemps 1998)

...Le THS (Toyota Hybrid System) combine les avantages des systèmes hybrides série et parallèle. Les exigences de développement (diminution de la consommation de carburant et donc du CO2 de moitié et réduction des autres émissions de 90 % par rapport à une voiture

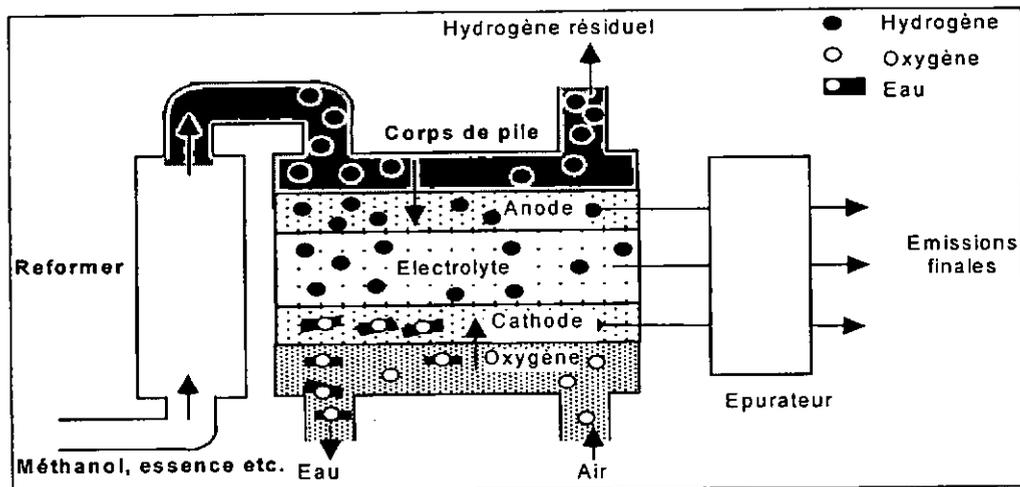
traditionnelle essence ayant les mêmes performances) ont été atteintes (3,57l/100 km) lors de tests en milieu urbain suivant le mode 10-15...

... à l'arrêt, le moteur thermique est arrêté lui aussi sauf si les batteries ont besoin d'être rechargées. En temps normal, la traction électrique suffit à démarrer la voiture et le moteur thermique ne se remet en marche que lorsque la vitesse est suffisante. Quand la voiture roule normalement, le moteur répartit sa puissance entre deux utilisations par le biais d'un dispositif spécial. D'un côté il entraîne les roues tandis que de l'autre, il entraîne l'alternateur qui fournit de l'électricité au moteur, lequel rajoute de la puissance aux roues si besoin. En accélération ou en côte raide, les batteries donnent au moteur thermique un surcroît de puissance en actionnant le moteur électrique. Au freinage ou en décélération, l'énergie cinétique récupérée recharge les batteries qui sont aussi rechargées par l'alternateur en utilisant la puissance du moteur thermique...

IV.4. Les Piles à combustibles

Les piles à combustible combinent l'oxygène de l'air avec un combustible, par exemple l'hydrogène ou le méthanol pour produire de l'électricité (et de l'eau comme sous produit). L'avantage des piles associées à une propulsion électrique est un meilleur rendement énergétique que les moteurs thermiques, elles permettent, à autonomie égale, de supprimer les émissions de polluants. Elles ont accompli des progrès remarquables depuis cinq ans pour les applications automobiles bien que l'encombrement et le poids des piles restent élevés.

Figure 7. Schéma chimique de pile à combustible à hydrogène et reformer



Il ne s'agit plus seulement d'autobus à Piles à combustibles, mais aussi de voitures. Les applications pourraient apparaître sur des véhicules commercialisés vers 2004. Le stockage de l'hydrogène à bord reste une difficulté technique (bouteilles sous 200 à 700 bars, stockage dans des hydrures,...) et le coût de fabrication de la pile est encore aujourd'hui très supérieur à l'objectif.

Des sociétés spécialisées sont créées. On connaît depuis longtemps l'activité de la Société Canadienne Ballard, et Mercedes qui a construit déjà 3 véhicules appelés NECAR, est devenu actionnaire de Ballard. Certains constructeurs automobiles annoncent d'ores et déjà une commercialisation de véhicules particuliers à l'horizon 2005. Une étude américaine donne pour 2020 des prévisions de réduction des consommations et polluants du parc en service beaucoup plus élevées pour les piles que pour les véhicules électriques purs. Il est

vraisemblable que cette technologie nouvelle ait réalisé dès 2010 une pénétration substantielle du marché des autobus.

Methanol is Best for Fuel Cells.⁸

Today we're more certain that methanol will be the best fuel to power fuel cells when they are introduced into the market place around 2004. We're not completely abandoning the research to reform gasoline into hydrogen but it will take a backseat. The company reported it had reduced weight and volume of the methanol based PEM fuel cell system for the tiny NECAR 111 by 40% with the same power output, and that further reductions were expected in the next two years. And Daimler -Benz' new liquid hydrogen fuelled version of the vehicle, the NECAR IV reported last summer to be in the works was said to be ready to go.

IV.5. Energies pour les autobus

Les autobus pourront bénéficier des progrès effectués sur la propulsion des véhicules automobiles ; de plus leurs possibilités de volume et de poids sinon même de coût sont plus favorables que pour les automobiles ou les camions.

La demande des exploitants de Transport porte surtout sur le Gaz Naturel Véhicule malgré les problèmes suivants :

- le coût de conversion au GNV,
- la consommation assez élevée,
- le coût des installations de livraisons de gaz.

Les grands progrès des moteurs Diesel imposés par la réglementation et les récentes décisions prises pour les gazoles dans le cadre de l'action Européenne Auto – oil font penser parfois que l'autobus restera souvent encore animé de Diesel avec épurateurs catalytiques et filtres à particules. Les techniques d'hybridation ou de Piles à combustible peuvent bien entendu intéresser un parc de véhicules dont la diversification dans le monde tend à croître malgré tout.

Stockage d'énergie par volant d'inertie

Les stockages d'énergie par volant d'inertie bénéficient des progrès sur les matériaux tels que les fibres de carbone, sur les supports, pignons magnétiques (à réaction active éventuellement).

En Europe, un autobus NEOPLAN avec volant d'inertie fabriqué par Deutsche Magnet est en exploitation à Bâle, le volant sert surtout au démarrage pour éviter les nuisances associées ; rappelons que Bâle a utilisé longtemps des autobus dont le démarrage est assuré par l'air comprimé mais ce système ne conviendrait plus aux nouvelles propulsions Diesel.

Conclusion sur les sources d'énergie

En conclusion, des techniques variées peuvent animer dans 10 ou 20 ans les véhicules et systèmes de Transports ; l'emploi du gaz sera probablement très étendu mais les techniques électriques semblent devoir prendre une place grandissante sous des formes variées et parfois en association avec les moteurs thermiques.

V. Techniques de gestion des véhicules

V.1. Les gestions nouvelles

La faible efficacité énergétique de la voiture est due essentiellement à son faible taux d'occupation ; il faut rappeler tout l'intérêt de formules qui consisteraient à augmenter fortement le taux d'occupation des véhicules et non pas forcément à en réduire le nombre d'occupants nominal. Les divers types de nouvelles gestions qui impliquent le plus souvent un partenariat avec les transports publics comprennent : Covoiturage, Van Pool, Auto-partagée (car sharing), Location Classique et de Courte Durée, Libre Service automatisé, Taxi collectif et Multi-services.

V.2. Systèmes de Transports Intelligents⁹. Intermodalité

Les techniques d'ITS sont très diverses : signalisation du trafic, gestion des routes (accès etc.), des transports publics, des incidents, des urgences, information multimodale et régionale pour le voyageur, paiements électroniques, (péage électronique), signalisation des passages à niveaux. etc.

Aujourd'hui, pour l'automobile, les applications pratiques sont limitées à la gestion des feux, au péage automatique. Pour les dispositifs embarqués sur l'automobile, l'extension considérable et ancienne des guidages du conducteur observée au Japon depuis longtemps ne s'est pas répandue dans les autres pays. Les possibilités pratiques de la télématique s'articulent bien avec les notions de véhicules urbains en systèmes, aujourd'hui les clients seraient surtout demandeurs de sécurité et de sûreté⁽¹⁰⁾. Nous devrions relativiser peut être la demande des automobilistes pour l'information sur l'état du trafic.

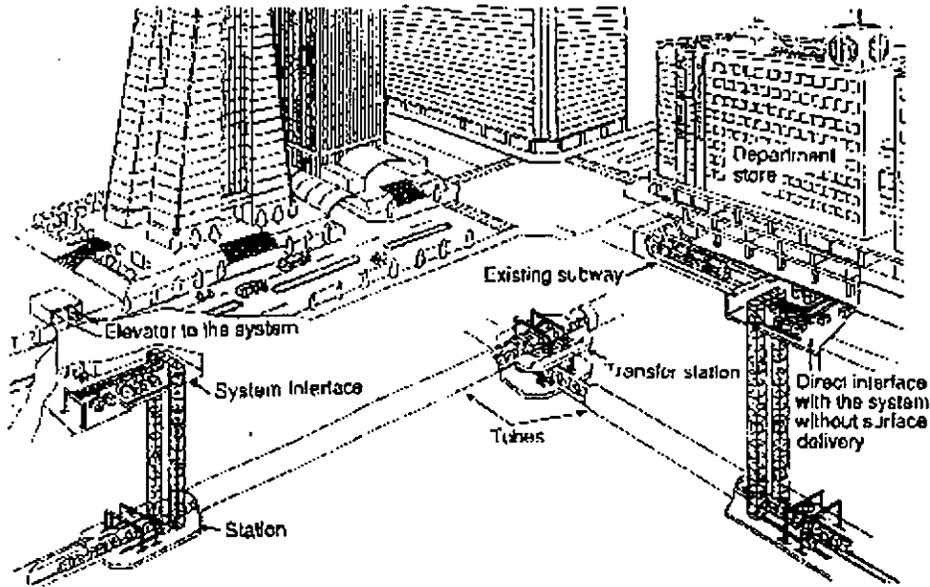
Dans le même ordre d'applications de la télématique, on observe déjà en Europe, l'évocation de régulation des vitesses par des moyens automatiques internes ou externes aux véhicules.

Alors qu'on est toujours hésitant sur les possibilités de la télématique appliquée au seul trafic automobile pour améliorer l'environnement, des possibilités considérables existent pour les Transports Publics et la gestion multimodale des transports, elles n'ont pas encore été développées suffisamment ; comme il s'agit plus de questions d'organisation, d'information aux clients ou aux employés, de billettique, de sûreté des personnes, je ne propose pas d'étendre davantage une réflexion consacrée surtout aux technologies.

VI. Transport de marchandises

L'évolution pour le transport de marchandise peut se faire a) par mise en souterrain en zone urbaine (éventuellement avec bandes transporteuses) ce qui en réduirait l'impact sur la qualité de vie urbaine et b) par système combinés pour les grandes liaisons de manière à réduire consommation et insécurité ; les figures illustrent les deux perspectives.

Figure 8. Système souterrain de Transport de Marchandises

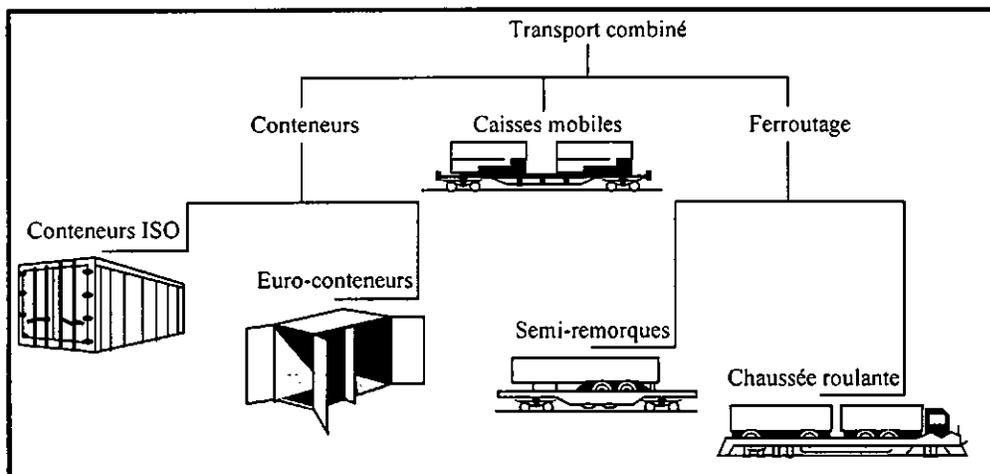


(pour Tokyo, Koshi 1995)

Systèmes combinés à longue distance

De nombreuses possibilités existent pour combiner le transport routier généralement indispensable en parcours terminaux et la voie ferrée qui présente un intérêt certain au plan de l'économie d'énergie et./ou des formes d'énergie utilisées (cf. figure 10)

Figure 9 Types de transports interurbain de marchandises



VII. L'intégration énergétique – Logement – Véhicule

Nous pouvons évoquer pour un avenir plus lointain des recompositions de l'alimentation énergétique pour des ensembles voitures logement car il ne faut pas oublier que les consommations d'énergie des logements et des véhicules individuels sont du même ordre de grandeur et pourront un jour être coordonnées. Aujourd'hui l'automobile dilapide cette énergie pour les 2/3 donc bien plus que le logement et les pertes thermiques annuelles d'une automobile actuelle pourraient presque assurer le chauffage d'une personne par an. La production conjointe d'électricité et de chaleur par des co-générateurs à domicile apparaît

séduisante si on résout les problèmes de bruit, pollution et coût des co-générateurs. La chaleur dégagée par l'hydrure qu'on charge, chaufferait-elle la maison, etc.? Le conditionnement thermique du véhicule peut relever de la même philosophie ; les projets actuels parmi les plus crédibles de véhicules solaires supposent la recharge des batteries automobiles par l'électricité produite à partir de capteurs solaires placés sur les toits et l'utilisation de batteries dans la résidence.

Figure 3. Intégration énergétique transport – logement (11)

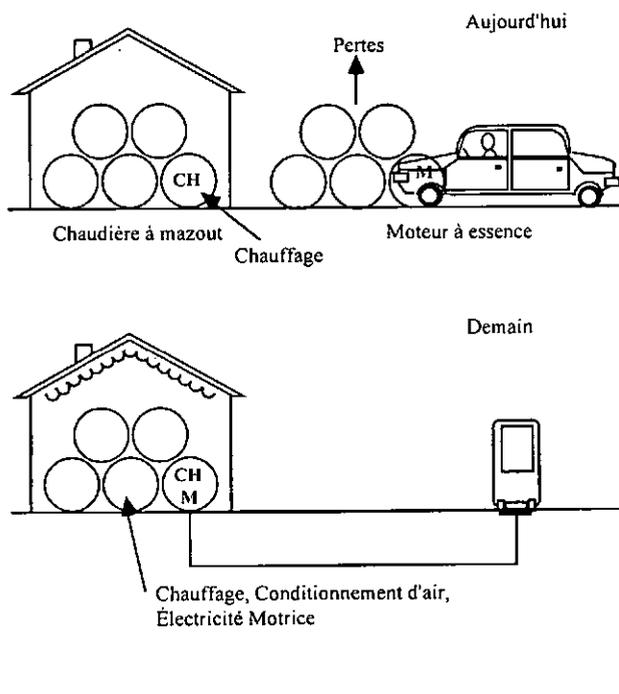
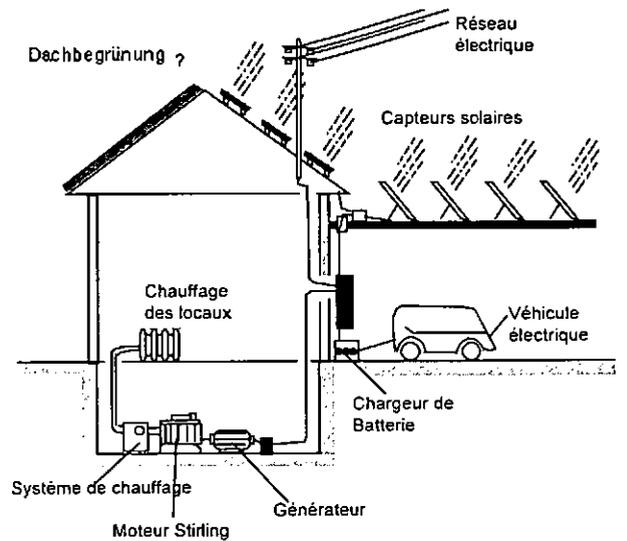


Figure 4. Coalimentation énergétique des véhicules et des maisons (12)



©sbu

Conclusion

Dans l'ensemble, toutes les perspectives évoquées devraient être situées dans le cadre de transformations de nos systèmes énergétiques qui peuvent être très profondes et dépasser le seul système de transport, le Japon n'envisage-t-il pas un réseau mondial de redistribution d'énergie où les réseaux d'hydrogène joueraient leur rôle ?

Annexe I. Relations de base pour moteur à essence ou Diesel.

Equivalences Consommations spécifiques (Cs, essence, à technologies classiques)

Europe	Etats Unis
Un litre	0.264 gallon US
Un km	0.62 mile
x litre par 100 km (l/100) = x 0.0426 gallon/m	235/x mpg (miles per gallon). <u>usuel</u>

Relations émissions CO₂ (g km) et consommation spécifique (litres au 100km)

Relation empirique pour voiture à essence : émission en g km = 24 Cs en l/100

Pour voiture Diesel : -10% d'émissions de CO₂ à Cs l/100 km égale

g km CO ₂	Cs l/100
150 essence	6.33
120 essence	5.07
120 Diesel	4.8
75 essence	3.16

Objectifs d'émission ou de consommation

Institution	CO ₂ g.km	Cs l/100km	Observation
PNGV		4 l/100 km	Une automobile vendable en 2004
Normes CAFE aux Etats Unis Pour l'ensemble des voitures vendues par un constructeur		18 mpg (13l/100)	Règle en 1978
		27.5 mpg (8.5 l/100)	Règle en 1985
Parlement Européen		Essence 4.5 Diesel 4.0	
Accord Commission et ACEA	2000	120	Un modèle neuf
	2004		
	2008	140	Moyenne des voitures vendues
	2012	120	Id selon examen en 2003
Objectif Recherche (PREDIT) ^o	75		

Annexe II. Capturer les gaz à effet de serre

Le procédé classique actuel pour la production de CO₂ consiste à le capturer dans les gaz de fumée par une réaction chimique avec un liquide soit essentiellement du monoéthanolamine en solution dans l'eau. Pour le futur de nombreuses autres possibilités se présentent pour les grosses unités et il ne faut pas exclure qu'elles s'étendent un jour aux véhicules.

Tableau 1. Exemples de Centrales et Technologies de capture du CO₂

Terme	Technologie	Rendement (%)	Technologie de capture et stockage
Court terme	Centrale à charbon pulvérisé avec désulfurisation.	30, 38	Absorption chimique. Gisement de gaz épuisé Récupération du pétrole Applications existantes à la chimie et l'agro-industrie
Court terme	Centrale à cycle combiné au Gaz Naturel.	43, 50	id
Moyen terme	Centrale charbon-combustion dans l'O ₂ .	30, 45	Capture cryogénique Stockages en Aquifères, dômes de sel, gisements épuisés pétrole, GN Nouvelles applications à la chimie
Long terme	Combustion à l'oxygène Piles à combustible à haute température	45, 53	Membranes à haute performance Transport par bateau. Stockage dans l'océan

Notes

1 Les constructeurs européens sous la pression écologique et devant l'inflation galopante des coûts de mise en décharge ont pris des mesures réglementant le recyclage des véhicules. L'Union européenne a créé une commission déchets automobiles, et des objectifs chiffrés ont été fixés : valoriser 100 % des épaves à 85 % de leur poids en 2002 et à 95 % en 2015. Aujourd'hui les résidus automobiles représentent 25 % du poids.

2 C Lamure. Chapitre V. Quelle automobile dans la Ville. Presses de l'ENPC. 1995. Paris.

3 La surconsommation de carburant due à l'ouverture des fenêtres de la voiture, est nettement inférieure aux surconsommations engendrées par la climatisation.

4 Climatisation automobile, énergie et environnement. S Barbusse ;ADEME, Département Technologies des transports ; D Clodic, École des Mines de Paris ; J.P. Roumégoux, INRETS-LEN. RTS N° 60, sept 1998.

5 Program Plan. Department of Commerce. July 1994

6 La tolérance de 40 secondes de non-prélèvement des émissions de la directive Euro 93 est supprimée.

7 Pour un prix équivalent à 93 000 F 1998.

8 B Robertson, senior vice president DaimlerChrysler. The Hydrogen & Fuel Cell Letter. Jan 1999 Vol. XIV/No.1.

Daimler Chrysler Shows Concept Gasoline Fuel Cell Jeep, Reduces NECAR III System Size

9 Le terme anglais Intelligent Transport Systems (ITS) s'impose de plus en plus.

10 On peut se proposer le terme sûreté contre les agressions par des personnes et de sécurité pour la question des collisions.

11 B Saugy. La Serpentine, Transport cellulaire automatique urbain. Ecole Polytechnique et Bureau de Service et d'Ingénierie. Lausanne. Avril 1993.

12 F Vester. Elektrofahrzeuge im Licht einer ganzheitlichen Sensitivitätsanalyse. Colloque Elektrofahrzeuge im Aufschwung. Zukunftsvisionen und Realität. Berlin 27 und 28 April 1995.

Politique énergétique et environnementale dans les transports: les instruments économiques

Philippe Thalmann
EPFL-IREC
C.P. 555, 1001 LAUSANNE
e-mail : Philippe.Thalmann@epfl.ch

1. Objectif de cette politique

Réduire la consommation d'énergie et les nuisances environnementales sans étouffer les transports et l'économie.

On peut tenter d'y arriver en passant par divers chemins, présenté ici par ordre de pragmatisme croissant:

1. Une grande analyse coûts avantages pour identifier le volume optimal des transports, puis utiliser tous les instruments pour y arriver de la façon la plus efficace. Ceci est faisable pour un projet local, "übersichtlich", comme une infrastructure, mais pas pour un système aussi complexe, dont les paramètres varient dans le temps.
2. La vérité des prix.
3. La vérité des prix relatifs.
4. Une cible pour les émissions.
5. Une cible pour le volume des transports.
6. Mettre en place des instruments encourageant l'économie d'énergie.
7. Pousser au développement de solutions techniques.

2. La vérité des prix

En instaurant "simplement" la vérité des prix, on ne peut pas viser un volume des transports ni une cible pour l'environnement.

Le chemin 2 appelle des instruments économiques, mais inutile de se faire des illusions: les autorités appliqueront de toute façon des instruments réglementaires: interdiction de circuler la nuit, limites de tonnage, obligation du catalyseur, contrôle des moteurs. Ces réglementations infligent déjà des coûts au secteur des transports. La vérité des prix devra donc amener le secteur des transports à tenir compte des coûts externes résiduels (par exemple: coûts externes de voitures équipées de catalyseurs).

La vérité des prix est une solution sympathique pour l'économiste et probablement acceptable par la majorité, à condition que les coûts soient bien calculés et imputés. Or cela est extrêmement difficile vu la diversité des nombreux acteurs du secteur des transports, les interactions entre les coûts engendrés par tous ces acteurs (qui est le pollueur marginal?), la variation à l'intérieur même d'une journée et d'une route à l'autre des nuisances engendrées, etc. Des "prix justes" seraient des prix individuels variables dans le temps et dans l'espace. Même les CFF ne semblent pas capables de mettre en place une tarification aussi complexe.

Sans tenir compte de toutes ces finesses, De Borger et Swysen (1995) de l'Université d'Anvers ont déjà abouti à des estimations concrètes dans le cadre du programme JOULE II

de l'Union européenne. Elles montrent qu'avec la vérité des prix tous les modes de transport deviennent plus coûteux (application à la Belgique). Il n'est plus question de subventionner le rail pour obtenir un transfert modal.

Tableau : Simulation Results for Freight transport

Reference	Pricing Optimum			No Toll System available		Choice of technology Catalytic Converters for Gas. Cars		Full optimum	
price ECU/Tkm	price ECU/Tkm	% change wrt ref.	price ECU/Tkm	% change wrt ref.	price ECU/Tkm	% change wrt ref.	price ECU/Tkm	% change wrt ref.	
Road peak	0,123	0,205 67%	0,145	18%	0,123	0%	0,205	67%	
Road Offp	0,123	0,153 24%	0,145	18%	0,123	0%	0,153	24%	
Waterways	0,058	0,061 5%	0,047	-19%	0,058	0%	0,061	5%	
Railways	0,039	0,052 33%	0,044	13%	0,039	0%	0,052	33%	
tax ECU/Tkm	tax ECU/Tkm	% change wrt ref.	tax ECU/Tkm	% change wrt ref.	tax ECU/Tkm	% change wrt ref.	tax ECU/Tkm	% change wrt ref.	
Road peak	0,043	0,125 191%	0,064	49%	0,043	0%	0,125	191%	
Road Offp	0,043	0,073 70%	0,064	49%	0,043	0%	0,073	70%	
Waterways	0,023	0,026 13%	0,011	-52%	0,023	0%	0,026	13%	
Railways	0,004	0,017 325%	0,009	125%	0,004	0%	0,017	325%	
ton-km/day	% change			% change		% change		% change	
Road peak	20'606'301	-18%		0%		0%		-18%	
Road Offp	48'081'369	3%		-7%		0%		3%	
Total road	68'687'670	-3%		-5%		0%		-3%	
Waterways	14'580'822	22%		24%		0%		22%	
Railways	22'052'054	-4%		-2%		0%		-4%	
TOTAL	105'320'546	0%		0%		0%		0%	

De Borger & Swysen (1995)

Les "prix justes" devraient être recalculés régulièrement car les coûts changent, surtout sous l'effet de l'imputation des prix justes elle-même! Il faudrait donc mettre en place un observatoire des coûts externes...

Enfin, notons que les "prix justes" ne donnent les bons signaux que sur des marchés concurrentiels. Dans le secteur des transports, on trouve de gros opérateurs dont les déficits sont couverts par les impôts et qui occupent des positions localement dominantes.

3. La vérité des prix relatifs

La vérité des prix absolus demande presque certainement l'augmentation du prix de tous les modes de transport. Si l'on tient à préserver la même mobilité, on peut chercher une solution qui vise seulement une répartition modale conforme aux coûts relatifs des modes de transport. Le niveau général des prix peut être abaissé pour encourager globalement les transports.

La vérité des prix relatifs rétablit la juste concurrence entre les modes de transports (a level playing field). Par contre, l'abaissement général du coût des transport fausse la concurrence entre modes de production et entre secteurs d'activités qui ont plus ou moins besoin de transports. En particulier, elle défavorise les producteurs locaux par rapport aux producteurs distants. Elle défavorise les modes de production reposant sur la proximité par rapport aux modes de production utilisant des réseaux diffus. Elle défavorise les produits légers par rapport aux produits lourds. Elle défavorise l'assemblage local par rapport à l'assemblage

centralisé avec distribution des produits assemblés. Elle défavorise les commerces centraux par rapport aux commerces périphériques. Etc.

On pourrait argumenter qu'en réduisant les coûts des transports on accroît la concurrence, on détruit les monopoles locaux, on permet les économies d'échelle. C'est juste et c'est faux:

- il est juste que des modes et infrastructures de transport efficaces sont favorables à la concurrence et à l'efficacité de la production
- par contre, on ne crée pas une juste et saine concurrence et une répartition efficace de la production en subventionnant certains producteurs / distributeurs, même indirectement.

On pourrait tendre vers une solution de vérité des prix relatifs pour les transports de marchandises à travers la Suisse, sur pression de l'UE, qui entend préserver le subventionnement général des transports.

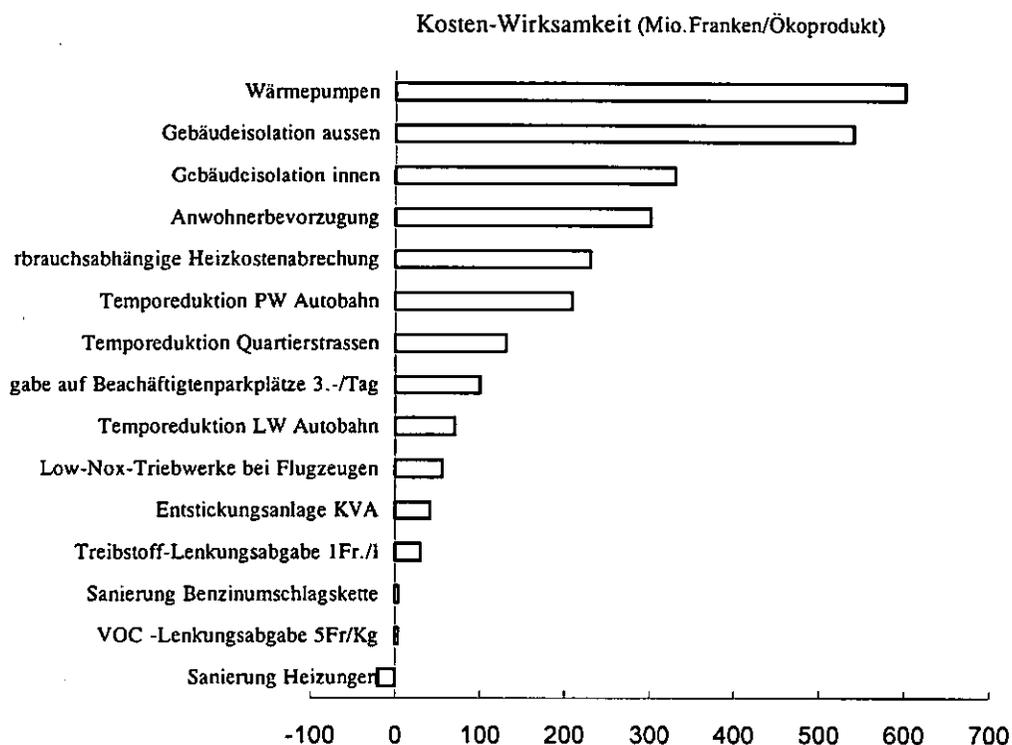
4. Une cible pour les émissions

Par exemple réduire les émissions de CO₂ jusque en 2008 à 92% du niveau de 1990 (engagement pris à Kyoto). Si la cible est atteinte, on est certain quant à la charge des transports sur l'environnement, mais les conséquences pour l'économie sont incertaines. Ce chemin plaît bien aux écologistes. Probablement aussi à certains ingénieurs qui aiment le défi technique sans grande considération pour les coûts.

Pour atteindre la cible, on peut utiliser toute la gamme d'instruments imaginables: mesures volontaires, formation et information, encouragement et diffusion de la R&D, règlements, taxes d'orientation et subventions, etc. (cf. projet suisse de loi sur le CO₂).

Attention toutefois au coût des mesures: on peut atteindre la même cible de réduction des émissions par différents instruments dont les coûts sont très différents. Mäder et Schleiniger (1995, figure p. 257) comparent les coûts de mesures d'assainissement de l'air prévues dans le canton de Zurich.

Figure : Rangliste der Massnahmen (d'après Mäder et Schleiniger (1995))



Fixe-t-on une cible pour les émissions du secteur des transports (ou même une partie de ce secteur, comme les poids-lourds) ou pour les émissions provenant de toutes les sources? Quelle part de réduction des émissions chercher dans les transports plutôt que dans d'autres domaines émetteurs? C'est la question générale de la répartition des efforts (voir ci-dessous).

Comment répartir les efforts de réduction des émissions? Là aussi, il existe d'énormes différences de coûts de réduction des émissions auprès de différentes sources. Stritt et Jeanrenaud (1992) ont examiné les coûts que 73 entreprises suisses importantes émettrices de NOx et de COV auraient à supporter pour satisfaire aux normes de l'ordonnance fédérale sur la protection de l'air. Leur enquête a montré que pour réduire les émissions de NOx d'une tonne, les coûts varient entre 120.- (ciment) et 40'000.- (briques/tuiles), et par tonne de COV entre 170.- (papier) et 36'800.- (chimie).

Tableau : Coût de la réduction des émissions de NO_x (francs par tonne)

	Amort. linéaire sur 10 ans	Coût annuel des installations
Ensemble des entreprises		
Moyenne	8'520	12'700
Ecart-type	11'970	17'840
Grandes entreprises chimiques		
Industrie du ciment	230	340
Valeur minimale	120 (ciment)	190
Premier quartile	580	870
Médiane	1'360	2'030
Troisième quartile	14'170	21'110
Valeur maximale	40'000 (briques/tuiles)	59'610

Stritt & Jeanrenaud (1992)

Il est important de bien fixer la cible. Peut-on la fixer indépendamment des coûts économiques, sociaux et politiques? Le problème avec les cibles: qui inflige quelles sanctions à qui lorsqu'une cible n'est pas atteinte?

5. Une cible pour le volume des transports

Si la cible est atteinte, on est certain quant au volume des transports et aux conséquences pour l'économie, mais la charge restante sur l'environnement est incertaine.

En concentrant l'attention sur le secteur des transports et son fonctionnement plutôt que sur l'environnement, on va chercher à supprimer les dysfonctionnements et inefficacités: camions et trains circulant à vide ou presque, capacités excédentaires, déplacements inutiles, prix faussés, concurrence imparfaite, notamment entre les modes de transport. On se sera déjà bien approché d'un volume des transports soutenable lorsqu'on aura supprimé toutes ces inefficacités, et ceci sans grand coût pour l'économie. Par analogie, beaucoup d'automobilistes coupent le moteur au feu rouge et utilisent un moyen de transport éco-mobile pour leurs déplacements urbains, sans bien savoir ce qu'ils économisent en émissions nuisibles.

C'est donc une approche pragmatique, fondée sur l'économie des moyens, l'efficacité, le respect de l'environnement social et humain. Les entreprises et administrations connaissent bien cette approche, lorsqu'elles se fixent des objectifs de réduction du personnel, des coûts, etc.

6. Mettre en place des instruments encourageant l'économie d'énergie

Sur ce chemin vers l'objectif global, on met en place par exemple un instrument économique englobant l'ensemble des sources d'émission sur la région contaminée et en relation étroite avec les émissions. Il pourrait s'agir d'une taxe sur la consommation d'énergie fossile, ou sur les émissions de CO₂.

À quel niveau fixer la taxe? On peut négocier sur ce qui paraît supportable pour les pollueurs et l'économie (dans l'esprit du chemin 5) ou sur ce qui paraît nécessaire pour atteindre la cible environnementale (dans l'esprit du chemin 4). Je prétends que l'on devrait mettre en place une telle taxe même si on n'est pas très sûr des effets pour l'environnement et pour l'économie. En effet:

- Il est important de mettre un prix sur la pollution (déjà admis pour les déchets). Quel signal plus crédible de la volonté de donner la priorité à l'environnement avant la mobilité?
- Un impôt écologique est une bonne source de financement pour le secteur public, préférable à l'augmentation des impôts frappant des activités désirables comme le travail, l'épargne, la prise de risque (je montre les qualités fiscales des impôts écologiques dans mon livre). Le principe d'une telle réforme fiscale vient d'être admis par le Conseil fédéral et de plus en plus de parlementaires.
- La taxe garantit que les efforts de réduction des émissions soient répartis de façon efficace, donc surtout auprès des sources qui peuvent être assainies au moindre coût.

7. Pousser au développement de solutions techniques

C'est la solution privilégiée par les pollueurs et les milieux de la recherche, puisqu'elle promet de réduire la pollution sans sacrifice (apparent). En réalité, la R&D coûte très cher et souvent les solutions miracles à un problème apportent leur lot de nouveaux problèmes (cf. énergie nucléaire). Évidemment la voiture consommant 3 litres ou même 1 litre d'essence pour 100 km serait formidable. Mais même les plus ardents défenseur de cette approche technologique (e.g. von Weizsäcker et al., qui suggèrent avec force exemples que la production d'un pays pourrait être multipliée par deux et les ressources divisées par deux avec les solutions techniques existant déjà) reconnaissent l'importance de donner des incitations suffisantes aux agents économiques pour qu'ils exploitent les potentiels d'efficacité disponibles.

8. Références

- De Borger, B., and D. Swysen, "Optimal pricing and regulation of transport externalities: A welfare comparison of some policy alternatives", Paper presented at 1995 Congress of the IIPF, Lisbon
- Mäder, S., und R. Schleiniger, "Kosten-Wirksamkeit von Luftreinhaltemassnahmen", Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik 131(2), 1995, 247-267
- Stritt, M.-A., et C. Jeanrenaud, L'Effet des Mesures de Protection de l'Environnement sur les Coûts de Production dans l'Industrie, Rapport sur les structures économiques, Série d'études éditée par l'OFQC, Berne 1992
- Thalmann, P., Impôts Écologiques. L'Exemple des Taxes CO₂, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 1997
- von Weizsäcker, E.U., A.B. Lovins et L.H. Lovins, Facteur 4: deux fois plus de bien-être en consommant deux fois moins de ressources: rapport au Club de Rome, Mens: Terre vivante, 1997

Comment favoriser un report modal de l'automobile vers les transports publics ? Les résultats d'une recherche franco-suisse

Vincent Kaufmann
EPFL-IREC
C.P. 555, 1001 LAUSANNE
e-mail : Vincent.Kaufmann@epfl.ch

1. Introduction

Dans de nombreuses agglomérations européennes, les pouvoirs publics cherchent à limiter l'usage de l'automobile en milieu urbain pour juguler certaines conséquences jugées néfastes du trafic urbain. Cette volonté se traduit généralement par l'amélioration de l'offre de transports publics urbains, mais elle se heurte à des difficultés insoupçonnées. Le développement d'une offre de transports publics performante ne suscite pas les reports d'usage attendus. Des investissements massifs dans des nouveaux modes de transports publics urbains tels que des tramways, métros légers, métros automatiques ou réseaux express régionaux attirent certes de nouveaux usagers, mais pratiquement pas d'automobilistes.

La question du report modal est à l'origine d'une recherche franco-suisse, menée en collaboration avec le CERTU, dont cet article présente quelques résultats principaux¹ (Kaufmann et Guidez, 1996). Cette recherche porte sur la comparaison de six agglomérations s'étant toutes lancées dans des politiques de développement de l'offre de transports publics. Il s'agit de Besançon, Grenoble et Toulouse (France) et Berne, Lausanne et Genève (Suisse).

Actuellement, chacune de ces villes est dotée de services de transports publics considérés par les spécialistes comme étant de bonne qualité, mais dont le taux d'utilisation varie fortement, d'où l'intérêt de la comparaison. Ce dispositif présente en outre l'avantage de confronter des phénomènes urbains contrastés dans deux systèmes politico-institutionnels spécifiques (français et suisse) et deux cultures (francophone et germanophone). Il enrichit d'autant la problématique.

2. Dispositif d'enquête

Aborder la question du report modal de l'automobile vers les transports publics implique d'interroger les logiques sous-jacentes aux pratiques modales. Comprendre ces rationalités permet en effet de mettre à jour les déterminants de ces pratiques, et de discuter les moyens à mettre en œuvre pour susciter un transfert modal vers les transports publics.

Un tel objectif suppose de s'intéresser aux comportements des personnes ayant théoriquement le choix entre l'usage de l'automobile et celui des transports publics. La disposition

¹ La partie française de cette recherche a été cofinancée par le FIER pour le compte de l'ADEME, le l'UTP et les exploitants des réseaux de transports publics des agglomérations étudiées (CTB, SEMITAG, SEMVAT). La partie suisse de la recherche a été cofinancée par le Service d'étude des transports du Département fédéral des transports (DFTCE), les cantons de Genève et Vaud, la ville de Lausanne et les exploitants des réseaux de transports publics genevois et lausannois (TPG et TL).

personnelle d'une automobile et la desserte du domicile par une offre de transports publics de bonne qualité² ont été retenus comme opérationnalisation de cette situation.

La partie empirique de la recherche porte donc sur cette population. Elle est constituée d'une enquête téléphonique dont l'échantillon est de type random quota³ et porte sur 500 personnes par agglomération étudiée.

3. Les habitudes et pratiques modales

L'examen des habitudes modales des personnes interrogées (tableaux 1, 2 et 3), qui, rappelons-le, disposent toutes personnellement d'une voiture et d'une ligne de transports publics à proximité de leur domicile, révèle deux contrastes saisissants :

- La grande différence de distribution de fréquence d'usage entre l'automobile et les transports publics. Dans les six agglomérations étudiées en effet, l'automobile est très souvent utilisée plus d'une fois par semaine, tandis que les transports publics ne sont utilisés qu'à des fréquences plus faibles. Lorsqu'une personne dispose d'une automobile et d'une ligne de transports publics de bonne qualité à proximité de son domicile (moins de 6 minutes), elle utilise généralement beaucoup plus l'automobile. La majorité des personnes en situation théorique de " choix " modal se constitue un programme d'activités en fonction de l'automobile plutôt que des transports publics.
- Les différences de distribution de fréquence d'usage des transports publics entre les agglomérations. Berne est la ville où les transports publics sont les plus utilisés, elle est suivie par les deux agglomérations romandes et les trois agglomérations françaises. Ce résultat confirme, sur une sous-population, les résultats globaux des statistiques annuelles de l'UTP et des enquêtes ménages françaises et suisses. L'élément le plus intéressant à relever est le taux très contrasté de non-utilisation totale des transports publics. Si à Berne, seuls 5% des répondants n'utilisent jamais les transports collectifs, ils sont plus de 20% à Genève et Lausanne et plus de 30% dans les agglomérations françaises. Ainsi, dans les cinq agglomérations francophones, entre un cinquième et un tiers des actifs disposant d'une automobile et d'une ligne de transports publics performante à proximité de leur lieu de domicile n'utilise jamais les transports en commun.

² Le critère de bonne qualité a été défini comme correspondant à l'offre sur le réseau radial principal dans chacune des agglomérations, ce qui signifie que le transport public dessert directement le centre ville depuis le domicile et que les fréquences de passage et/ou la vitesse commerciale sont de bonne qualité (voir tableau 8, qui présente le nombre de passages journaliers sur ce réseau).

³ Cette technique, au demeurant très classique, permet d'assurer une équiprobabilité de réponses au questionnaire parmi les membres d'un ménage (principe : on demande à la personne qui répond au téléphone la composition du ménage. Un tirage aléatoire sur l'ensemble des personnes répondant aux critères de l'échantillon permet de choisir la personne qui répond au questionnaire. Si celle-ci est absente, l'enquêteur fixe un rendez-vous téléphonique). L'échantillon est représentatif de la population active des habitants de l'agglomération (définition INSEE pour la France, OFS - Office fédéral de la statistique - pour la Suisse) selon des quotas de sexe et d'âge. Toutes les personnes interrogées disposent à moins de 6 minutes de leur domicile d'une ligne de transports publics fréquente (bus, tramway, VAL) et/ou rapide (RER, VAL, tramway). Les enquêtes ont été réalisées au printemps 1993 dans les trois agglomérations suisses et à Besançon, entre le printemps et l'automne 1993 à Toulouse, et à l'automne 1994 à Grenoble.

Il est intéressant de noter que les différences observées suivent les contextes culturels comparés : les trois villes françaises se caractérisent par un usage assez similaire des transports publics, tout comme les deux agglomérations romandes.

Par quoi peut-on expliquer les différences d'usage des transports publics entre les agglomérations étudiées, ainsi que la prédominance générale de l'automobile chez les usagers en situation théorique de "choix" modal ?

Une première explication peut être qualifiée de purement "objectiviste". En accord avec l'approche classique de l'économie des transports (Diekmann et Franzen, 1995 ; Merlin, 1985), on pourrait voir, dans la prédominance générale de l'automobile, le reflet de l'efficacité comparée de l'automobile et des transports publics en termes de durée de déplacement. Dans cette optique, si les transports publics ne sont pas davantage utilisés, c'est essentiellement parce qu'ils sont plus lents que l'automobile. Dans certains cas, ce facteur est effectivement déterminant, notamment pour les déplacements liés au travail, lorsque le domicile et le lieu de travail du répondant sont situés en couronnes d'agglomération. Cette explication n'est cependant pas suffisante. L'examen du tableau 3 montre par exemple que même lorsque les transports publics sont particulièrement efficaces par rapport à l'automobile pour une destination donnée (le centre ville), les répondants français et romands ont une très nette tendance à utiliser l'automobile.

Les résultats de la recherche ont permis de constater que la prédominance de l'utilisation de l'automobile et les différences d'usage des transports publics entre agglomérations relève largement d'autres facteurs que l'efficacité comparée des moyens de transport : une prédisposition culturelle à l'usage de l'automobile, et deux facteurs qui en découlent, soit les conditions d'utilisation de l'automobile, et lorsque celles-ci sont jugées mauvaises, la qualité de l'offre de transports publics.

3.1 La prédisposition à l'usage de la voiture

Nos résultats démontrent qu'une large majorité des personnes interrogées préfère a priori utiliser l'automobile. En d'autres termes, nous observons une prédisposition à l'utilisation de l'automobile.

Les tableaux 4, 5 et 6 présentent des corpus d'adjectifs cités par les répondants pour qualifier l'automobile et les transports publics. Ils permettent d'appréhender les représentations sociales de ces deux moyens de transport⁴. Ils mettent à jour des représentations très contrastées. Comme pour les habitudes modales, deux tendances nettes sont perceptibles.

- L'automobile est qualifiée de façon essentiellement positive, tandis que les transports publics sont appréciés de façon beaucoup plus critique, ceci dans les six agglomérations

⁴ Classiquement les représentations sociales sont approchées par le biais de positionnement sur des échelles bipolaires. Cette manière de faire supprime la possibilité pour l'individu de choisir des dimensions qui lui semblent les plus pertinentes pour qualifier l'objet concerné, ce qui nous est apparu gênant pour l'étude des représentations des moyens de transport. Cela suppose en effet que le concepteur du questionnaire choisisse les oppositions bipolaires à soumettre aux répondants. Etant donné l'état des connaissances peu avancé dans le domaine des représentations sociales des moyens de transport, ce choix nous a semblé arbitraire. Nous avons donc eu recours à des questions ouvertes. Celles-ci demandaient au répondant de citer les trois adjectifs qui permettent de mieux qualifier les transports collectifs et l'automobile. Notés en clair, ils ont ensuite été regroupés.

considérées. L'automobile est associée aux termes de “ **pratique** ”, “ **rapide** ”, “ **confortable** ”, “ **rend autonome** ”, tandis que les transports publics sont qualifiés, certes de “ **pratiques** ”, mais aussi de “ **lents** ”, “ **contraignants** ”, “ **favorisant la promiscuité** ”. Autour de ces termes se situe la représentation sociale dominante de ces deux modes de transport. Elle est commune aux six agglomérations étudiées et doit être comprise comme une expression de certaines valeurs dont l'efficacité (“ **vitesse** ” versus “ **lenteur** ”, “ **pratique** ”) et l'individualisation (“ **confortable** ” versus “ **favorisant la promiscuité** ”, “ **rend autonome** ”). La critique parfois virulente dont est l'objet l'automobile dans le monde germanique ne semble pas entamer le noyau de sa représentation sociale : Berne ne se distingue pas des autres agglomérations. Ce résultat est un premier élément de réflexion intéressant sur les différences culturelles entre contextes suisse et français ainsi que germanique et francophone: la représentation de l'automobile n'y diffère pas.

- Les corpus d'adjectifs cités pour qualifier les transports publics diffère selon l'agglomération au niveau de l'ordre de citation. Ainsi, les dimensions pertinentes pour qualifier les transports publics sont globalement similaires dans tous les contextes étudiés mais leur poids est variable.

L'unité de contenu des représentations mises en relief mérite d'être relevé: les adjectifs les plus cités sont les mêmes dans les six contextes étudiés, donnant une définition presque anthropologique de la voiture et des transports en commun. Nous touchons là un point essentiel: **ces représentations et les attitudes qui en découlent, sont profondément ancrées dans quelques grandes valeurs, l'individualisation et l'efficacité, valeurs sur lesquelles repose l'économie occidentale.** L'automobile et les transports publics ressortent comme révélateurs sociaux : à travers le prisme de leur image, certaines dimensions de l'ordre social se découvrent.

Néanmoins, l'ordre de citation des adjectifs retenus pour qualifier les transports publics diffère entre les agglomérations. Comment expliquer ces variations ? Un approfondissement de l'analyse révèle l'impact conjugué de quatre facteurs.

3.1.1 L'unité qualitative spatio-temporelle de l'offre de transports publics

La mise en relation du corpus d'adjectifs cités dans chaque agglomération avec l'offre de transports publics, permet la mise à jour d'une relation entre la qualité de l'offre et sa représentation. L'examen des taux de satisfaction à l'égard des transports publics en fonction du type d'offre (bus, tram/VAL, train) illustre parfaitement cet aspect : d'une manière générale le tramway et le VAL sont nettement mieux notés que le bus à Grenoble et Toulouse, tandis qu'à Berne et à Genève, les différences entre types de transports publics sont imperceptibles (tableau 7).

Cette perception renvoie à la qualité de l'offre de transports publics. Le tableau 8, qui présente le nombre de passages journaliers sur les lignes principales, permet d'en prendre la mesure. A Grenoble et Toulouse, l'offre bus est deux à quatre fois moins développée que l'offre VAL/tramway, contrairement aux agglomérations helvétiques de Berne et Genève où l'unité qualitative de l'offre est assurée. Ce constat se retrouve dans les usages : si dans les trois agglomérations helvétiques la fréquence d'utilisation des transports publics varie peu en fonction du type d'offre (bus/tram), les variations sont sensibles à Grenoble et Toulouse.

3.1.2 Le respect de l'environnement

La citation du terme "écologiques" varie fortement entre Berne et les autres agglomérations sans qu'il soit possible d'établir un lien entre l'offre de transports publics et sa prégnance. L'origine des taux contrastés de citation de cet adjectif est à mettre en rapport avec le système des valeurs spécifique aux contextes étudiés. Dans la culture germanique, les attitudes écologiques sont plus fortement affirmées.

3.1.3 La qualité de l'aménagement urbain

A Grenoble, les ruptures de charge et les attentes sont moins citées pour qualifier les transports publics. Or dans cette agglomération, toute une politique d'aménagement et d'image a été développée à l'occasion de la renaissance du réseau de tramway : l'urbanisme du centre-ville a été repensé à l'occasion de sa réalisation, le design tant intérieur qu'extérieur des tramways et le mobilier urbain qui l'accompagne (abribus, signalétique, billétique, etc.) ont fait l'objet d'une démarche approfondie visant à en faire un objet symbole du dynamisme grenoblois.

3.1.4 L'auto-valorisation des propres pratiques

La qualité de l'offre de transports publics, le contexte culturel et la qualité de l'aménagement ne sont pas les seuls facteurs explicatifs de ces contrastes. Ces derniers sont également le reflet d'un processus d'auto-valorisation des propres pratiques et de critique des pratiques alternatives.

Le tableau 9 permet de visualiser ce résultat à l'aide de l'indice d'attitude à l'égard des transports publics. Ainsi, plus l'usage des transports publics est fréquent, plus l'attitude à leur égard est favorable. Ce facteur est de nature à "positiver" la représentation des transports publics dans les agglomérations où la fréquentation est la plus forte.

Chez les personnes qui n'utilisent jamais les transports publics, nous avons observé que ce processus va parfois même jusqu'à faire sortir du "champ du possible" l'usage des transports publics.

3.2 Les conditions d'utilisation de l'automobile

La prédisposition culturelle à l'usage de l'automobile a une conséquence très importante: ce sont les conditions d'utilisation de l'automobile qui déterminent les pratiques modales de bon nombre d'usagers en situation théorique de "choix" modal.

Les résultats de l'enquête téléphonique montrent que ces conditions sont avant tout déterminées par la facilité du stationnement. Ce facteur ressort par exemple comme le déterminant déclaré principal de non utilisation de l'automobile. (tableau 10)

Concernant les déplacements domicile - lieu de travail, plus de 90% des personnes disposant d'un stationnement assuré au lieu de travail utilisent l'automobile pour s'y rendre, ceci dans les six agglomérations étudiées. Les personnes disposant d'un tel stationnement sont cependant moins nombreuses à Berne que dans les autres agglomérations (tableau 11).

Par ailleurs, la part modale de l'automobile chez les personnes ne disposant pas d'un stationnement assuré à leur lieu de travail diffère selon l'agglomération, reflétant la facilité de stationner sur rue (tableau 11).

Les conditions de stationnement différentes auxquelles sont soumis les usagers sont à l'origine d'une large part des taux d'utilisation contrastés des transports publics entre les agglomérations.

L'origine de ces conditions de stationnement contrastées réside dans les politiques d'aménagement du territoire et du stationnement, pour lesquelles nous observons un clivage clair entre Berne, les agglomérations romandes et les agglomérations françaises. L'arsenal législatif suisse en matière d'aménagement du territoire a permis de maintenir une forte centralité spatiale de l'emploi (tableau 12), qui a un impact direct sur les conditions de stationnement au lieu de travail. La politique du stationnement dans la commune-centre influence également la facilité de parking : le tableau 13, qui présente le nombre de places offertes dans les centres-villes des six agglomérations étudiées montre qu'à Berne, l'offre est particulièrement limitée et que dans les agglomérations françaises au contraire, l'offre est pléthorique. Ce constat est encore amplifié par le contrôle du stationnement réglementé, particulièrement strict à Berne.

3.3 L'offre de transports publics

Chez les personnes confrontées à des difficultés de stationnement, la qualité de l'offre de transports publics joue un rôle important dans les pratiques modales pour les destinations obligatoires de la mobilité quotidienne. Le nombre et la qualité des ruptures de charge sur les parcours à réaliser sera alors le facteur le plus important.

La fréquence des changements de lignes sur le trajet domicile - lieu de travail varie selon l'agglomération. Besançon, petite agglomération disposant de nombreuses lignes diamétrales en a le moins. Berne, de par la structure de son réseau, astreint peu au changement de ligne, les quatre autres agglomérations ont des structures spatiales de réseaux moins favorables à la limitation des ruptures de charge (tableau 14).

Concernant l'impact des changements de ligne sur l'usage des transports en commun pour aller travailler, relevons que si, dans toutes les villes étudiées, la part modale des transports collectifs décroît à mesure que le nombre de ruptures de charges augmente, les seuils se situent à des niveaux différents. Ainsi, le premier transbordement fait chuter la part modale des transports publics à Genève et Lausanne, tandis qu'à Besançon, Grenoble, Toulouse et Berne ce n'est qu'à partir de la seconde rupture de charge que la décroissance de la part modale s'avère forte (tableau 15).

Cette observation est particulièrement intéressante à mettre en relation avec la qualité des lieux d'interchange. Les villes ayant soigné l'équipement et la qualité de ces lieux sont celles où le premier changement de ligne porte le moins à conséquence sur la part modale des transports publics. A ce niveau, il convient de relever que Grenoble a fait des efforts d'aménagement qui méritent d'être relevés et qui portent manifestement leur fruit.

4. Conclusion

Du point de vue de nombreux usagers en situation théorique de " choix " modal entre l'utilisation des transports publics et l'automobile, la question du choix modal ne se pose pas. Tout au long de la recherche comparative nous avons été amenés à constater une forte prédisposition à l'utilisation de l'automobile. Celle-ci puise sa source dans la conjonction de deux facteurs: les représentations dominantes de l'automobile et des transports publics et les habitudes modales.

Les représentations dominantes

L'automobile est fortement associée à deux valeurs constitutives de la culture occidentale: l'individualisation et l'efficacité. Objet symbolique fort, l'automobile semble même constituer une sorte de matérialisation de ces valeurs. Par rapport à cela, les transports publics se définissent en faux: ils contraignent leurs usagers à l'attente et au voyage en commun, ce qui les rend subjectivement inefficaces. Ces représentations dominantes induisent un " désir différentiel " d'utilisation de ces deux modes de transports qui conduit une majorité d'usagers à n'envisager l'usage des transports en commun que lorsqu'une contrainte pèse sur l'utilisation de l'automobile (contrainte liée à des difficultés de stationnement en particulier).

Les habitudes modales

Lorsque aucune contrainte ne pèse sur l'utilisation de l'automobile, nombreux sont les usagers qui n'emploient pas du tout les transports en commun. Dans ce cas, l'utilisation de ces derniers sort progressivement du " champ du possible " : il n'est même plus envisagé. Les pratiques de mobilité quotidienne se fondent alors souvent sur la possibilité d'utiliser l'automobile pour se rendre à une destination donnée. La pratique modale prime souvent sur le choix de la destination.

De ces deux facteurs découlent les déterminants situationnels concrets des pratiques modales des personnes en situation théorique de " choix " modal : à savoir les conditions de stationnement la qualité perçue de l'offre de transports publics.

Les conditions de stationnement

Les personnes en situation théorique de " choix " modal recourent assez systématiquement à l'utilisation de leur véhicule privé lorsque les conditions de stationnement aux destinations qu'ils fréquentent sont bonnes. Lorsque tel n'est pas le cas, un report modal vers un autre moyen de transport est généralement envisagé pour les déplacements dont la destination est obligée (déplacement vers le lieu de travail par exemple), un report modal ou un report de destination intervenant pour les déplacements dont la destination peut être choisie.

La qualité perçue de l'offre de transports publics

Lorsque les conditions de stationnement à destination sont difficiles, la qualité perçue de l'offre de transports publics joue un rôle central dans les pratiques modales des personnes en situation théorique de " choix " modal. A ce niveau

le facteur déterminant est alors le nombre et la qualité des ruptures de charges sur les trajets de transports publics à réaliser.

Ainsi les pratiques modales des personnes disposant à la fois d'une automobile et d'une ligne de transports publics performante à proximité de leur domicile se trouvent d'abord déterminées par la qualité de l'accessibilité automobile aux destinations de la mobilité quotidienne.

Les taux d'utilisation contrastés des transports publics entre les agglomérations étudiées doivent être interprétés à la lumière de ce résultat. Ce sont avant tout des facteurs situationnels qui expliquent les différences de comportements observées entre les agglomérations, soit la structure spatiale des agglomérations et l'offre de stationnement. Ces différences s'expliquent donc surtout par des facteurs liés aux systèmes politico-administratifs en vigueur dans les deux pays comparés, ainsi que par son interprétation locale en Suisse (permise par l'autonomie cantonale en la matière). C'est à ce niveau que des différences culturelles peuvent être mises en relief et non au niveau des "ressorts" des pratiques modales.

A Berne, la légitimité des mesures de restriction du stationnement ou d'articulation entre l'aménagement du territoire et les transports publics est assurée par la sensibilité au respect de l'environnement. Elle permet de mener une politique volontariste en la matière, politique qui a pour effet de limiter l'automobilité exclusive et assure une forte part de marché aux transports publics.

Nous touchons là une conclusion fondamentale de la recherche : dans tous les contextes étudiés, la complémentarité entre les transports publics et l'automobile n'existe pas du point de vue de nombreux usagers. Dès lors, susciter un transfert modal suppose avant tout une politique d'aménagement du territoire axée sur les transports publics et une politique volontariste de gestion du stationnement.

- Des emplois, des commerces et des activités de service disséminées en périphérie d'agglomération entraînent un usage accru de l'automobile: les conditions de stationnement y étant favorables et une desserte de qualité par les transports publics impossible. Une structure spatiale d'agglomération dense et articulée autour de l'ossature du réseau des transports publics contribue à définir les conditions favorables à l'usage de ces derniers, car elle implique des conditions de stationnement plus difficiles aux destinations quotidiennes et une massification des flux..
- Un stationnement pléthorique favorise l'utilisation de l'automobile, tout comme un stationnement non contrôlé sur rue, car il rend possible le stationnement interdit du fait de l'absence de risque. Au contraire, des possibilités de stationnement réglementées, non surdimensionnées et surtout contrôlées favorisent l'usage d'autres moyens de transport.

En dernière analyse, susciter un transfert modal renvoie à des orientations de politique urbaine. Elles méritent d'être débattues, car l'option "classique", qui consiste à développer une offre performante de transports publics parallèlement à la construction de parkings en centre-ville et à un étalement urbain non maîtrisé, fait le lit d'une armature urbaine de type californien où l'usage exclusif de la voiture est la règle.

5. Bibliographie

- Bieber A., Massot M.-H. et Orfeuil J.-P. (1992) Questions vives pour une prospective de la mobilité quotidienne, Rapport de la convention INRETS/DATAR, INRETS, Arcueil.
- De Boer E. (1986) Transport Sociology - Social Aspects of Transport Planning, Pergamon Press, London.
- Diekmann A. et Franzen A. (1995) Kooperatives umwelthandeln, Modelle, Erfahrungen, Massnahmen, Verlag Rüegger, Chur/Zürich.
- Guidez J.-M. (1995) Market Shares and Evaluation of Undergrounds and Trams in France. In : Proceedings of PTRC Summer Annual Meeting, 11-15 september.
- Goodwin P. (1985) Evolution de la motivation des usagers en matière de choix modal, Table ronde CEMT no 68, Paris.
- Kaufmann V (1998) Sociologie de la mobilité urbaine : la question du report modal, thèse EPFL 1759, Lausanne.
- Kaufmann V. & Guidez J.-M. (1998) Les citoyens face à l'automobilité, CERTU, Lyon.
- Merlin P. (1985) La planification des transports urbains, Masson, Paris
- Pharoah T. Apel D. (1995) Transport concepts in European cities, Avebury Studies in Green Research, Aldershot.
- Salomon I. Bovy P. & Orfeuil J.-P. (1993) A billion trips a day - Tradition and Transition in European Travel Patterns, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Figures

Tableau 1 Habitudes modales chez les usagers en situation théorique de « choix » modal

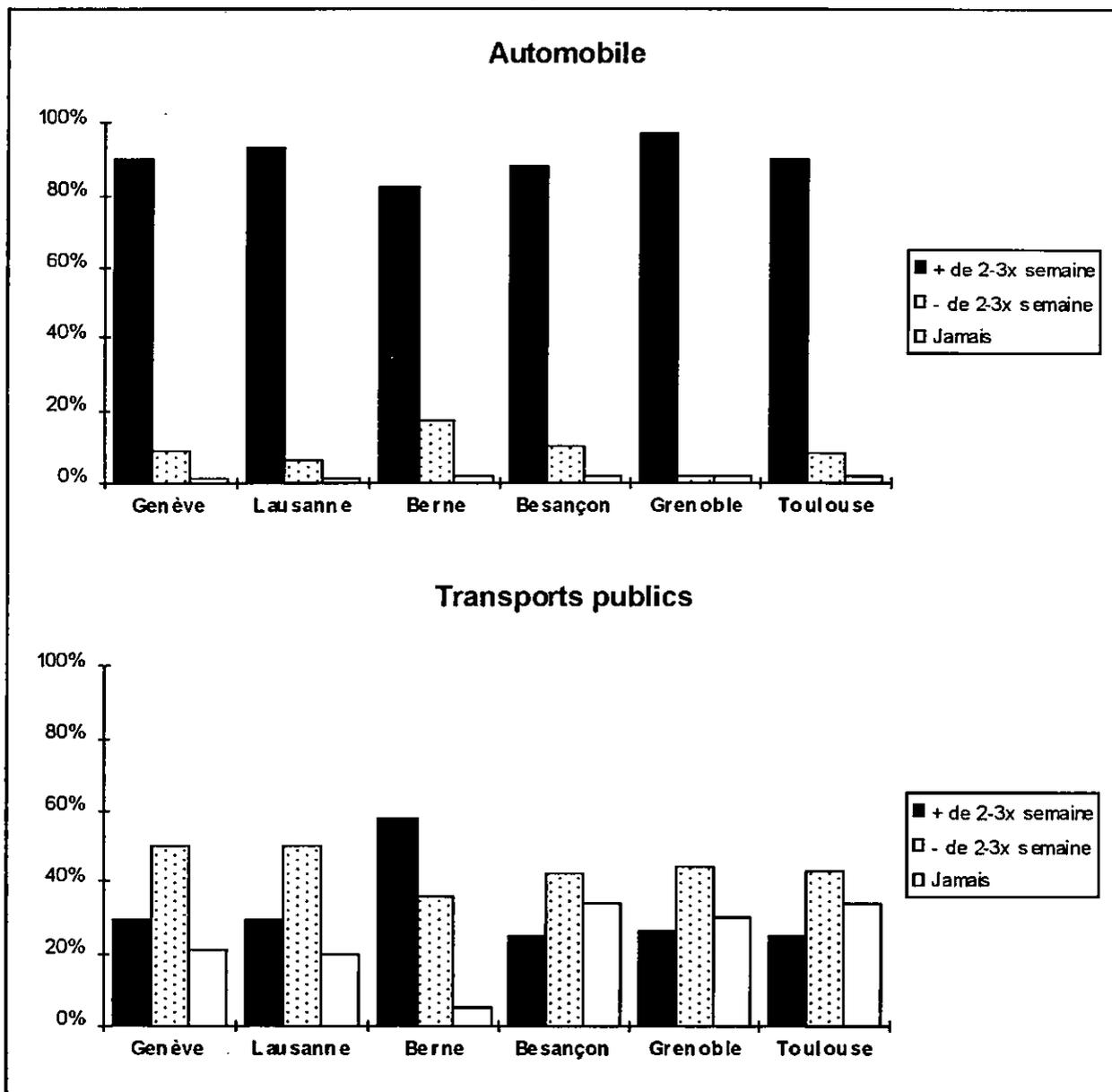


Tableau 2 Répartition modale pour les déplacements domicile - lieu de travail

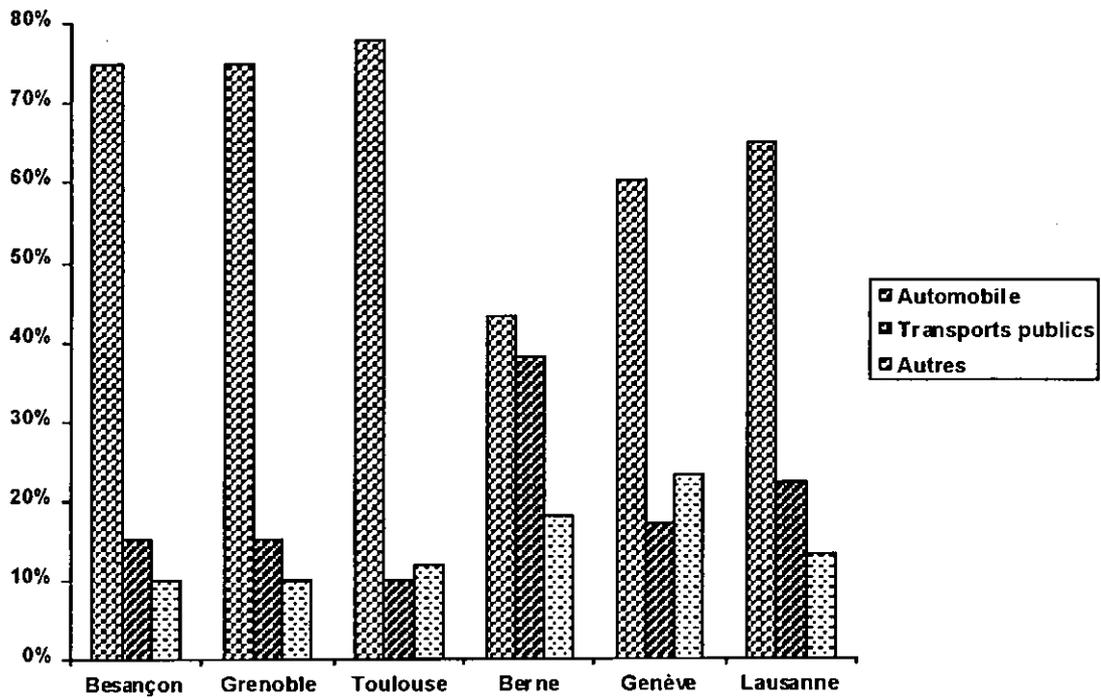


Tableau 3 Répartition modale pour les déplacements d'achats à destination du centre ville

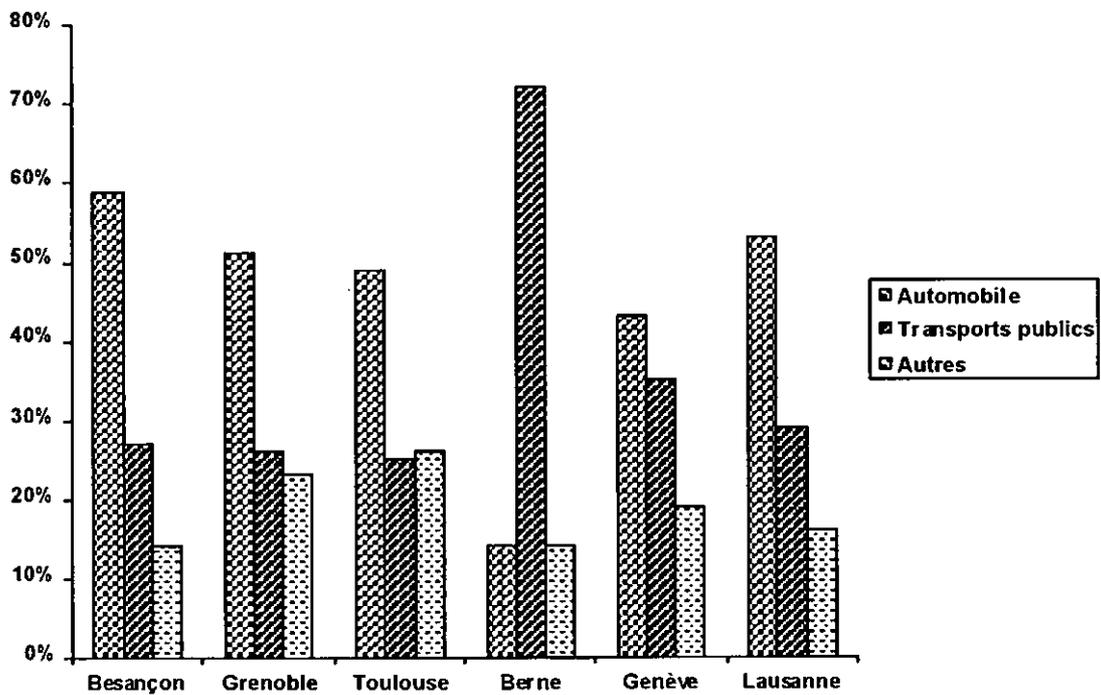


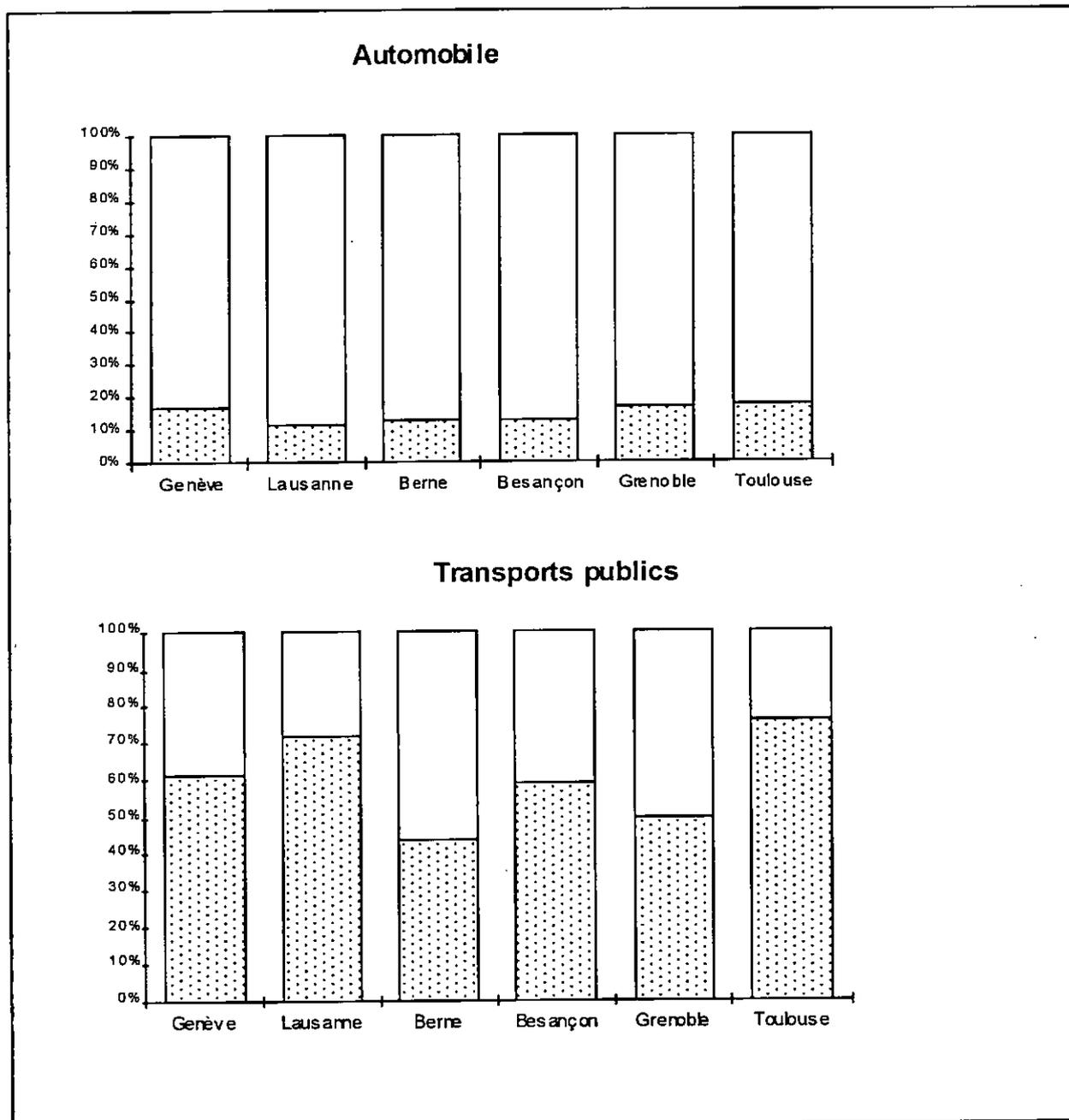
Tableau 4 Représentation sociale de l'automobile: un corpus d'adjectifs

	Besançon	Grenoble	Toulouse	Berne	Genève	Lausanne
adj. le + cité	pratique	pratique	pratique	pratique	pratique	rapide
2ème + cité	rapide	rapide	rapide	rapide	rapide	pratique
3ème + cité	rend autonome	rend autonome	rend autonome	confortable	confortable	rend autonome
4ème + cité	chère	chère	chère	rend autonome	rend autonome	confortable
5ème + cité	confortable	confortable	confortable	polluante	chère	chère

Tableau 5 Représentation sociale des transports publics: un corpus d'adjectifs

	Besançon	Grenoble	Toulouse	Berne	Genève	Lausanne
adj. le + cité	pratiques	pratiques	contraignants	pratiques	Pratiques	contraignants
2ème + cité	bon marché	lents	pratiques	écologiques	Contraignants	lents
3ème + cité	lents	bon marché	rapides	contraignants	fav. La promiscuité	pratiques
4ème + cité	fav. la promiscuité	fav. La promiscuité	fav. la promiscuité	chers	Lents	chers
5ème + cité	contraignants	contraignants	lents	lents	Chers	fav. La promiscuité

Tableau 6 Attitudes vis-à-vis de l'automobile et des transports publics (attitude défavorable en foncé)¹



¹ L'ordre de citation des différents adjectifs ne nous donne pas explicitement la connotation générale du corpus d'adjectifs cité par chaque individu. Pour l'étudier, nous avons construit des indices d'attitudes sur la base de la connotation des corpus d'adjectifs en termes favorables à leur objet/défavorables à leur objet (la règle de majorité a été retenue pour le classement, qui a été grandement facilité par la prégnance de la dimension évaluative dans les citations).

Tableau 7 Satisfaction à l'égard de la ligne de transports publics desservant le domicile (% d'opinion favorable)

	Bus	Tram/VAL	Train
Besançon	77%	*	*
Grenoble	58%	77%	57%
Toulouse	65%	72%	*
Berne	86%	88%	92%
Genève	74%	79%	75%
Lausanne	71%	87%	84%

Tableau 8 Nombre journalier de passages sur le réseau urbain radial

	Besançon		Grenoble		Toulouse		
	Bus		Tram		Bus	VAL	Bus
Lundi-Vend.	80		170		70	190	100
Samedi	60		120		60	180	80
Dim.	30		90		30	120	30

	Berne		Genève		Lausanne		
	Tram	Bus	Tram	Bus	TSOL	Métro	Bus
Lundi-Vend.	170	160	170	140	100	150	130
Sam.	150	130	150	130	90	150	80
Dim.	130	120	130	80	50	150	60

Tableau 9 Attitude vis-à-vis des transports publics en fonction de leur fréquence d'utilisation (en foncé: attitude défavorable)

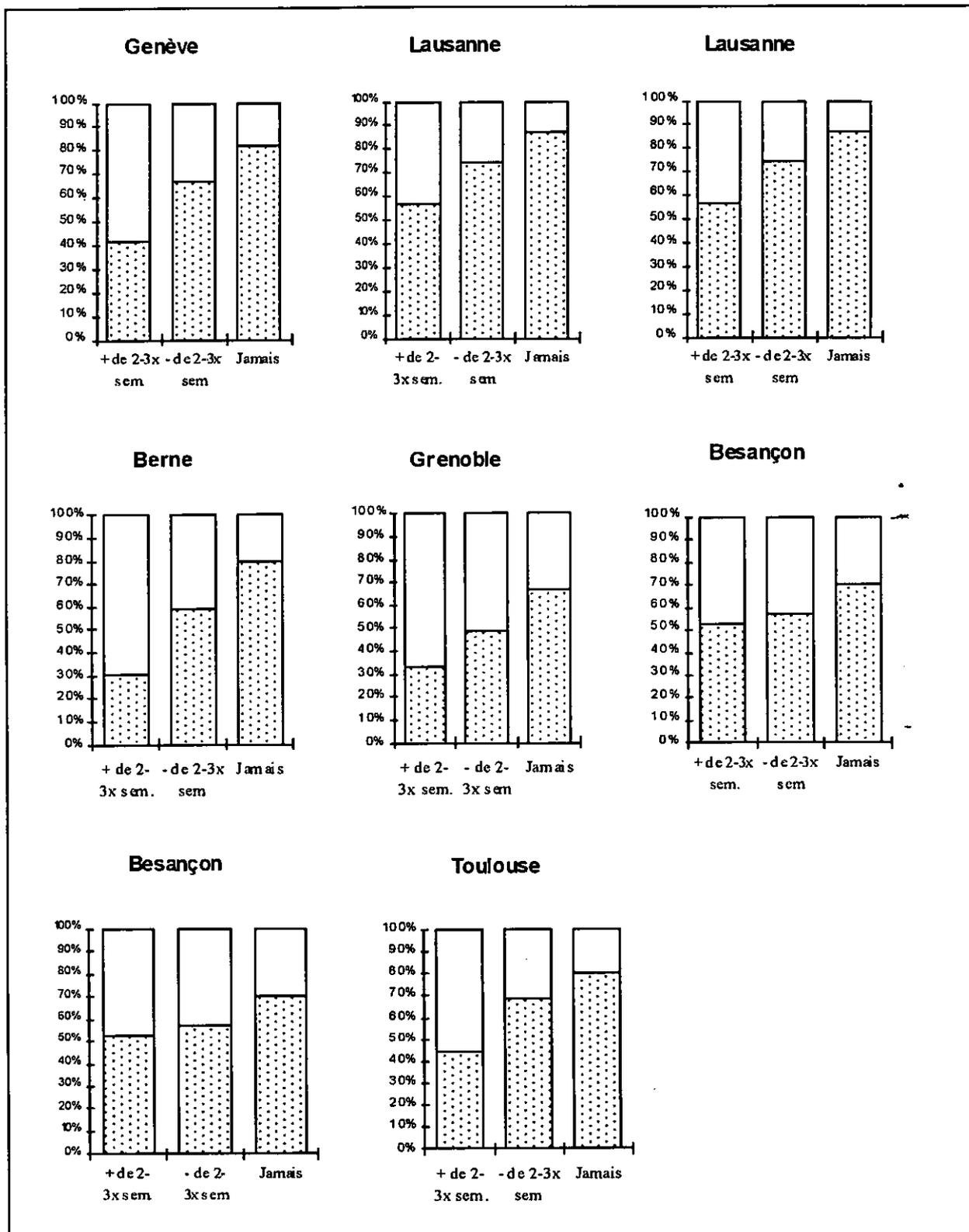


Tableau 10 Motifs déclarés de non utilisation de l'automobile

déplacements domicile - lieu de travail	Besançon	Grenoble	Toulouse	Berne	Genève	Lausanne
les difficultés de stationnement	56%	55%	52%	38%	64%	53%
le coût	26%	33%	24%	17%	13%	18%
la lenteur	6%	19%	18%	20%	24%	9%
l'habitude	10%	1%	2%	8%	5%	4%
l'environnement	2%	6%	0%	29%	15%	7%

Déplacements d'achats au centre-ville	Besançon	Grenoble	Toulouse	Berne	Genève	Lausanne
les difficultés de stationnement	72%	71%	74%	83%	79%	79%
l'environnement	0%	2%	15%	21%	12%	7%
la lenteur	15%	12%	8%	17%	15%	8%
le coût	16%	15%	17%	15%	7%	10%
l'habitude	21%	2%	9%	7%	5%	7%

Tableau 11 Part modale de l'automobile en fonction des conditions de stationnement au lieu de travail (entre parenthèses : conditions de stationnement au lieu de travail)

	stationnement assuré ⁶	pas de stationnement assuré
Besançon	90% (61%)	46% (39%)
Grenoble	94% (55%)	53% (45%)
Toulouse	99% (54%)	41% (46%)
Berne	95% (32%)	13% (68%)
Genève	93% (37%)	36% (63%)
Lausanne	94% (46%)	35% (54%)

Tableau 12 Localisation des emplois en 1990-1991

	Besançon	Grenoble	Toulouse	Berne	Genève	Lausanne
commune-centre	(94%) ⁷	46%	33%	69%	56%	55%
couronnes	(6%)	54%	67%	31%	44%	45%

⁶ « stationnement assuré » doit être compris comme l'assurance de disposer d'une place de stationnement à destination.

⁷ Besançon est une ville qui n'a pratiquement pas d'agglomération.

Tableau 13 Offre de stationnement dans le centre-ville

	Besançon	Grenoble	Toulouse	Berne	Genève	Lausanne
Offre publique	58%	62%	83%	66%	75%	64%
Offre privée	42%	38%	17%	34%	25%	36%
Total	12.000	21.000	29.900	3.800	11.400	10.800
général						
ratio pl./hab.	0.10	0.05	0.05	0.01	0.03	0.04

Tableau 14 Nombre de changements de ligne sur le parcours domicile-lieu de travail

	Besançon	Grenoble	Toulouse	Berne	Genève	Lausanne
aucun	58%	41%	41%	40%	39%	39%
1	20%	31%	29%	44%	32%	31%
2	5%	14%	15%	10%	19%	16%
plus de 2	1%	5%	8%	3%	8%	9%
ne sait pas	16%	9%	7%	3%	2%	5%
total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tableau 15 Part modale des transports publics pour les déplacements domicile-lieu de travail en fonction du nombre de changements de ligne

	aucun	1	2	plus de 2
Besançon	18%	13%	0%	0%
Grenoble	18%	17%	9%	9%
Toulouse	17%	14%	7%	0%
Berne	44%	38%	11%	0%
Genève	26%	14%	4%	3%
Lausanne	27%	18%	12%	0%

LES IMPACTS DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DES TRANSPORTS SUR L'ENVIRONNEMENT : UNE EVALUATION ECONOMIQUE

Prof. Claude Jeanrenaud
IRER, Université de Neuchâtel
Pierre à Mazel 7, 2000 Neuchâtel
e-mail : Claude.Jeanrenaud@seco.unine.ch

Introduction

Les transports engendrent différents types de nuisances pour les usagers ou la population générale. On parle de coûts externes car ces nuisances n'entrent pas dans le prix du transport tel qu'il est perçu par l'utilisateur et, pour cette raison, ne sont pas prises en compte dans les choix relatifs à la mobilité. Une partie des coûts externes est liée à la consommation d'énergie. Il s'agit de la pollution locale et de ses effets sur la santé, le paysage et les matériaux, de l'émission de gaz à effet de serre et du coût d'utilisation du pétrole en tant que ressource non renouvelable. Les retards que les usagers s'imposent les uns aux autres en raison de la congestion, de même que le bruit, la consommation d'espaces verts et une partie du coût des accidents sont par contre des coûts externes non liés à la consommation d'énergie.

Pour mettre en œuvre une politique des transports efficace, à même de réduire les charges imposées à l'environnement, il faut disposer d'une évaluation des dommages. La difficulté de l'exercice tient au fait que les biens en question - la santé, les espaces verts, la biodiversité... - ne sont pas achetés ou vendus sur un marché. Depuis une quinzaine d'années, cependant, des efforts ont été entrepris afin d'obtenir des estimations monétaires des atteintes à l'environnement, en particulier dans le domaine des transports.

L'utilité d'une connaissance des coûts externes - liés ou non à l'énergie - est évidente. D'abord, le bénéfice d'une réduction des dommages peut être intégré dans le calcul économique lorsqu'il s'agit de décider de l'opportunité d'un projet d'infrastructure ou d'une réglementation plus sévère. Ensuite, une fois les coûts externes marginaux connus, ils peuvent être intégrés dans le prix du transport.

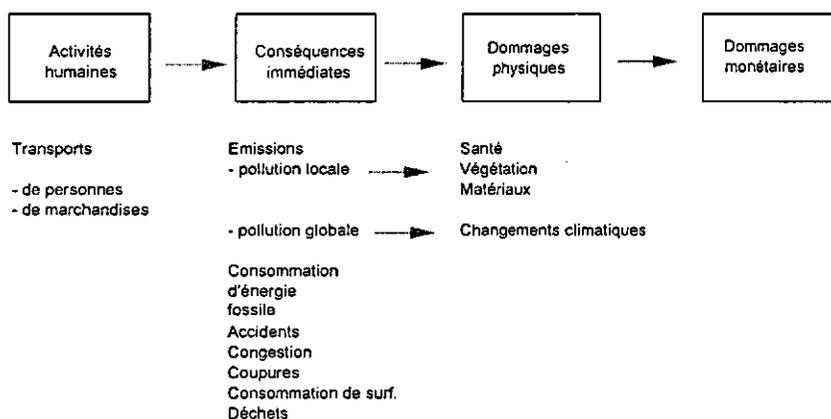
2. Coûts externes générés par la consommation d'énergie

La consommation de combustibles fossiles par le trafic motorisé est une source importante de dommages à l'environnement. Tous les coûts externes des transports ne sont cependant pas liés à la consommation d'énergie, d'où la nécessité ici de distinguer les dommages liés à l'énergie des autres coûts externes.

Pour présenter le problème, nous allons utiliser un modèle conçu il y a une dizaine d'années par la Communauté de travail IRER/Infras dans le cadre de l'élaboration d'un système d'indicateurs sur les coûts et les avantages sociaux des transports (IRER/Infras, 1988). Ce modèle a d'ailleurs été repris par les auteurs de l'étude sur les coûts externes de l'énergie (Infras/Prognos, 1994).

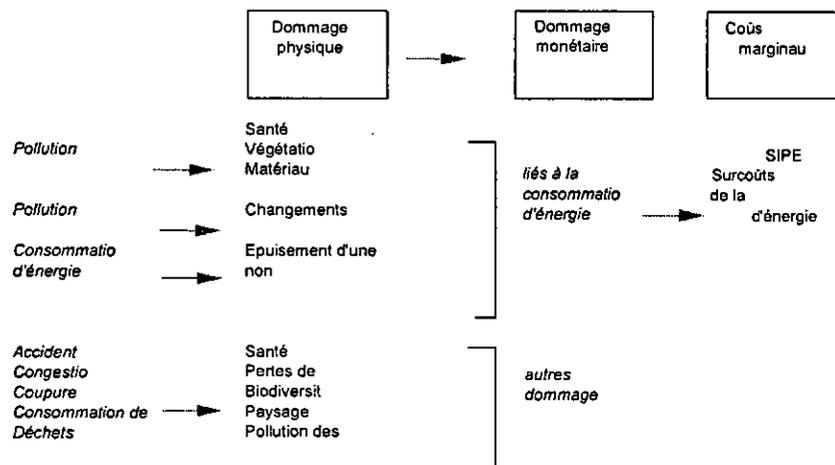
Le modèle décompose le processus de génération des coûts externes en partant de l'activité humaine à l'origine des coûts - ici le transport de personnes ou de marchandises - pour aboutir finalement à une mesure monétaire des impacts. Le lien entre le transport et le coût n'est pas direct mais passe par différentes étapes intermédiaires avant que l'on puisse en observer les conséquences économiques. Par exemple, les véhicules lourds émettent des quantités importantes d'oxydes d'azote et de particules fines (PM10), augmentant ainsi la concentration de ces deux polluants dans l'air. On observe alors une augmentation sensible de la fréquence des cas de bronchites et de bronchites chroniques dans les régions touchées (ECOPLAN, 1996). Or, cette maladie provoque des incapacités de travail temporaires (maladie) ou durables (invalidité) et occasionne aussi des dépenses médicales et hospitalières. Si les rejets de polluants se produisent dans une région où la concentration initiale de polluants est faible, les dommages à la santé et les coûts économiques seront limités. En revanche, dans une région peuplée et déjà relativement polluée, les mêmes émissions pourront occasionner des coûts importants. Il est donc important de considérer tous les maillons de la chaîne si l'on veut aboutir à une estimation pertinente des coûts externes.

Modèle d'analyse des coûts externes



Les coûts externes de la pollution de l'air sont répartis entre la pollution locale - et ses effets sur la santé, la végétation et les matériaux - et la pollution globale à l'origine de l'effet de serre. Le plus souvent, les auteurs commencent par estimer les coûts externes totaux et font ensuite l'hypothèse que les coûts externes moyens et marginaux sont identiques pour calculer ces derniers (Peirson, Skinner et Vickerman, 1994).

Estimation des coûts externes marginaux



3. Monétarisation des coûts

Si l'on veut intégrer les coûts externes dans le prix du transport, il s'agit d'exprimer les atteintes physiques dans une unité de mesure commune (francs). La difficulté de l'opération tient au fait qu'il n'est généralement pas possible d'observer un prix sur le marché pour connaître le montant du dommage.

Depuis une trentaine d'années, les économistes ont élaboré des techniques permettant d'attribuer une valeur monétaire aux atteintes à la santé ou à l'environnement naturel. Il s'agit donc de passer d'une mesure physique des atteintes - diminution de la croissance des végétaux, augmentation de la fréquence de certaines maladies, risques climatiques - à une mesure monétaire. Dans le cas qui nous occupe, seules les externalités liées à la consommation énergétique des véhicules doivent être prises en considération :

- effets de la pollution locale sur la santé, le paysage (faune, flore, biotopes) et les matériaux
- coût marginal d'utilisation du pétrole en tant que ressource non renouvelable.

Les coûts externes provenant de la mise à disposition de l'énergie primaire - consommation de surface, émissions, pollution des mers - devraient également être considérés, mais ils demeurent le plus souvent ignorés dans les estimations disponibles.

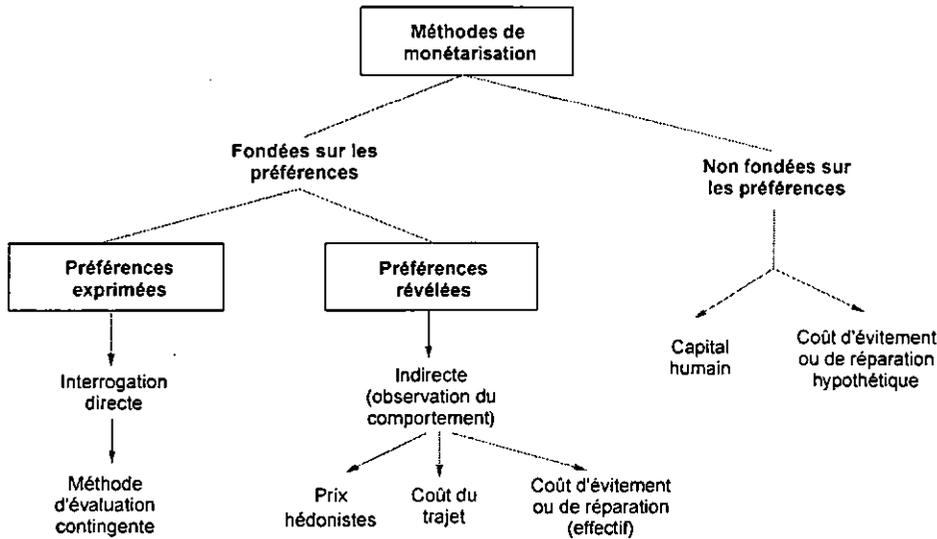
Il existe deux grandes catégories de méthodes de monétarisation:

- celles fondées sur les préférences individuelles ou collectives (" demand methods ")
- et celles qui ne partent pas des préférences de la population pour attacher une valeur aux dommages (" non demand methods ").

Parmi les méthodes fondées sur les préférences, une première consiste à interroger directement les individus concernés sur leur consentement à payer pour améliorer la qualité de l'environnement ou réduire le risque d'être atteint d'une maladie. On utilise pour cela une enquête par questionnaire. C'est la méthode de l'évaluation contingente, désignée ainsi car la valeur est mesurée sur un marché hypothétique ou contingent. Son avantage réside dans le fait de permettre l'évaluation de biens n'ayant pas de valeur d'usage, mais seulement une valeur d'existence. Un second groupe de méthodes fondées sur les préférences part de l'idée que, s'il n'existe pas de marché pour le bien à évaluer, les individus concernés révéleront leurs préférences sur un marché de substitution (marché du travail ou marché du logement). C'est la méthode des prix hédonistes (loyers ou salaires hédonistes). La méthode du coût du trajet - utilisée surtout pour mesurer la valeur des zones récréatives - et celle du coût d'évitement reposent elles aussi sur l'observation du comportement.

Les méthodes non fondées sur les préférences - individuelles ou collectives - ne sont pas pour autant négligées. Ainsi, la méthode du capital humain - dans laquelle le prix de la maladie ou de la vie humaine est associé aux pertes de production - ainsi que l'approche du coût d'évitement ou de réparation (hypothétique) sont souvent adoptées. En Suisse par exemple, les dommages à la santé provoqués par la pollution des transports - 1'632 millions de francs en 1993 - ont été estimés par les méthodes du capital humain et du coût de réparation principalement.

Méthodes de monétarisation



4. Quelques chiffres

Les coûts externes des transports ayant pour origine la consommation d'énergie proviennent de la pollution locale (oxyde d'azote, hydrocarbures, particules et dioxyde de soufre principalement), de la pollution globale (dioxyde de carbone) et de l'épuisement d'une ressource naturelle non renouvelable. Ce dernier facteur de coût n'est toutefois pas pris en compte dans les évaluations.

Domages dus à la pollution locale par les transports (en % du PIB)

Allemagne (1991)	0,92 - 1,05
Suède (1992)	0,03 - 0,11
Pays-Bas (1985)	0,38 - 0,6
Finlande (1992)	0,4
USA (1989)	0,23 - 0,7
Royaume-Uni (1991)	0,15 - 0,35
Suisse (1992)	0,42

Source : Quinet (1994)

Les valeurs qui figurent dans le tableau ci-dessus correspondent à des estimations du coût externe total dû aux émissions de polluants locaux par le trafic motorisé. Pour la politique des transports, il est toutefois plus important de connaître les coûts marginaux, c'est-à-dire la valeur monétaire des nuisances provoquées par une unité supplémentaire de trafic (passager/km ou véhicule/km additionnel). Ces coûts additionnels ont été estimés dans le rapport sur les coûts externes de l'énergie en Suisse mais uniquement pour la production d'électricité et de chaleur. Les suppléments de coûts - SIPE ou surcoûts inventoriés de la consommation d'énergie - à appliquer au prix de l'énergie consommée par les transports n'ont en revanche pas été estimés. En fait, les coûts externes marginaux ou SIPE - constituent l'information de base pour la mise en œuvre d'une politique efficace des transports fondée

On dispose cependant d'une estimation des coûts externes marginaux pour la Suisse provenant d'une autre source (Generalsekretariat UVEK, 1999).

Coûts externes en centimes par véhicule/km des transports routiers en 1993

Domaine	Transport de personnes	Transport de marchandises
<i>Coûts liés à la consommation d'énergie</i>		
Santé	1,7	8,8
Matériaux	0,5	5,9
Autres dommages dus à la pollution locale	0,5 - 1,3	2,2 - 5,8
Changements climatiques	2,8	7,4
<i>Coûts non liés à la consommation d'énergie</i>		
Bruit	1,3	5,0
Sol/eaux	*	0,9 - 1,9
Nature/paysage	0,2 - 0,4	1,9 - 3,2
Accidents	3,1	2,3
Total		

Source: Generalsekretariat UVEK, 1999. * Pas d'estimation.

5. Remarques finales

Avec la mise en œuvre du principe de vérité des prix, un pas est fait dans la bonne direction. Il convient toutefois d'appliquer ce principe de manière nuancée et avec discernement. De plus, il s'agit de disposer de bonnes estimations des coûts externes, ce qui est loin d'être toujours le cas actuellement.

Si les coûts externes marginaux croissent avec l'augmentation du trafic - cela est vrai pour la congestion et sans doute aussi pour la pollution locale et l'émission de gaz à effet de serre - et si les surcoûts sont mesurés à l'équilibre (inefficient) actuel, l'introduction des surcoûts dans le prix va conduire à une situation qui n'est pas efficiente (réduction du trafic dépassant ce qui est nécessaire, Ochelen et al, 1998).

Si le surcoût est facturé directement à l'utilisateur, la totalité du gain potentiel de bien-être peut être réalisée (par une réduction du trafic, un changement de choix modal ou des mesures de prévention). En revanche, si l'on utilise un instrument autre que la taxe optimale - un renforcement des normes ou des aides financières aux transports publics - seule une partie du gain potentiel pourra être obtenue.

Pour encourager le progrès technique - réduction des émissions ou réduction de la consommation spécifique des véhicules - il est probable, cependant, que la taxe ne soit pas le moyen le mieux adapté. Un système de quotas échangeables - à l'image des systèmes CARB ou CAFE aux Etats-Unis - constituerait sans doute un moyen plus efficace de « forcer » le progrès technologique.

Contrairement à une idée reçue, les coûts liés à l'énergie - dommages dus à la pollution locale et globale - ne constituent pas la composante la plus importante des coûts externes marginaux des transports. Dans les villes, la congestion représente la source de dommages la plus grande. Dans le trafic interurbain, ce sont les accidents qui occasionnent les coûts les plus importants. La pollution locale vient en 3ème, voire en 4ème position (après le bruit), selon les études et les pays. Quant à l'estimation du coût des émissions de CO2 pour la Suisse, elle s'écarte

La pollution locale vient en 3ème, voire en 4ème position (après le bruit), selon les études et les pays. Quant à l'estimation du coût des émissions de CO2 pour la Suisse, elle s'écarte tellement des estimations réalisées à l'étranger qu'une nouvelle réflexion sur la manière de mesurer ce coût ne serait certainement pas inutile.

6. Références

- DARBERA Richard (1993), *Quelle est la part de l'environnement dans le coût économique total des transports de personnes dans une grande agglomération comme Paris ?* Communication au colloque " Aménagement et environnement " de l'ASRDLF, Tours, 30 août-1^{er} septembre 1993.
- ECOPLAN (1996), *Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten. Synthesebericht*, Département fédéral des transports, des communications et de l'énergie, Service des transports, Berne, GVF-Auftrag N° 272.
- Generalsekretariat UVEK (1999), *Externalitäten im Verkehr – Kostensätze für die Verkehrsplanung*, Generalsekretariat UVEK, Dienst für Gesamtverkehrsfragen, Bern, GVF-NEWS No. 49.
- Infras/Prognos (1994), *Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für des Strom- und Wärmebereich. Synthesebericht*, Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne.
- IRER/Infras (1988), *Indikatorensystem für die Erfassung sozialer Kosten und Nutzen des Verkehrs in der Schweiz. Schlussbericht*, Département fédéral des transports et de l'énergie, Etat-major pour les questions de transport; Département fédéral de l'intérieur, Office fédéral de la statistique, Berne, GVF-Bericht N° 1/88.
- JEANRENAUD Claude, SCHWAB Nathalie, GROSCLAUDE Pascal, SOGUEL Nils & STRITT Marc-Alain (1993), *Les coûts sociaux des transports en Suisse : un compte global par mode de transport. Rapport final*, Département fédéral des transports, des communications et de l'énergie, Service d'étude des transports, Berne, Mandat SET N° 174.
- LAMBERT Jacques, LAMURE Claude et al. (1996), *Evaluation monétaire des impacts des transports sur l'environnement. Analyse bibliographique et raisonnée des méthodes et des applications*, Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS), Arcueil; Service d'études techniques des routes et autoroutes (SETRA), Bagnaux, Rapport d'étude N° 1.
- MAYERES Inge (1992), *The social costs of road transport. Air pollution*, Leuven University, Center for Economic Studies.
- MAYERES Inge, OCHELEN Sara & PROOST Stef (1996), *The marginal external costs of urban transport*, Leuven University, Center for Economic Studies, Leuven, Public Economics Research Paper N° 51.
- OCHELEN Sara, PROOST Stef & VAN DENDER Kurt (1998), *Optimal pricing for urban road transport externalities*, Leuven University, Center for Economic Studies, Leuven, Discussion paper Series N° 98.26.

PEIRSON John, SKINNER Ian & VICKERMAN Roger (1994), *Estimating the external costs of UK passenger transport: the first step towards an efficient transport market*, Centre for European, Regional and Transport Economics, Canterbury, Discussion paper N° 94/2.

PTRC EDUCATION AND RESEARCH SERVICES LTD. (1995), *Evaluation of Environmental Effects of Transport*, Report of an international roundtable, The Hague, 19-20 June 1995, PTRC, London.

Quinet Emile (1994), " The Social Costs of Transport : Evaluation and Links with Internalisation Policies ", in : European Conference of Ministers of Transport (Eds), *Internalising the social costs of transport*, ECMT, OECD, Paris, pp. 31-75.

Auf dem Weg zum nachhaltigen Verkehr? Perspektiven von Verkehrspolitik und Verkehrsforschung in der Schweiz

Felix WALTER

Directeur du programme national de recherche 41
« Transport et environnement, interactions Suisse – Europe »
ECOPLAN, Monbijoustr. 26, 3011 Bern
e-mail ; walter@ecoplan.ch

1 Zum Thema

„Nachhaltigkeit“ (Sustainability) ist in den letzten Jahren richtiggehend zu einem Mode-Begriff geworden. So kann es kaum erstaunen, dass dieses Zauberwort für PolitikerInnen wie für Forschende gleichsam einen Reiz ausübt, einen Reiz notabene, der nicht immer mit der nötigen Prägnanz und Konkretetheit des Begriffs einher geht. Es ist daher offensichtlich riskant, wenn ich dieses Wort an den Anfang (und in den Titel) dieses Referates setze.

Das Fragezeichen am Schluss des Titels legitimiert mich einigermaßen, mich auf wenige ausgewählte Punkte zu beschränken:

- Eine Darstellung der Kriterien für einen nachhaltigen Verkehr unter besonderer Berücksichtigung der Energie
- Einen Überblick über die Rahmenbedingungen und Trends, welche die Verkehrspolitik zu Beginn des nächsten Jahrhunderts bestimmen werden, und die Strategien, diese Politik nachhaltiger zu machen.

Die Darstellung beruht zu einem Teil auf dem nationalen Forschungsprogramm „Verkehr und Umwelt“ (NFP 41), das ich leiten darf (vgl. Kästchen).

Das NFP 41 „Verkehr und Umwelt“

Das Nationale Forschungsprogramm „Verkehr und Umwelt - Wechselwirkungen Schweiz-Europa“ (NFP 41) will mit anwendungsorientierten Forschungsprojekten die wissenschaftlichen Grundlagen für eine nachhaltige Verkehrspolitik verbessern und so zu einer Art *Denkfabrik für eine nachhaltige Mobilität werden*.

Das NFP 41 besteht derzeit aus 52 Projekten. Die ersten Projekte sind bereits abgeschlossen und deren Forschungsberichte publiziert. Die meisten Projekte werden im Laufe des Jahres 1999 zu Ende gehen, einige dauern bis Herbst 2000. Anfang 1999 sind die Synthesen angelaufen, die im Herbst 2000 abgeschlossen werden. Bisher wurden für rund 8.7 Mio. CHF Projekte vergeben, darin sind die 1.6 Mio. CHF enthalten, mit denen 33 Projekte von dritter Seite (insbesondere Verwaltung) co-finanziert werden.

Umsetzung und Kooperationen

Aus der Verwaltung hört man häufig den Ausspruch: „Wir haben genügend Arbeit mit aktuellen Tagesproblemen, zu denen uns die Grundlagen fehlen - wir können uns nicht auch noch mit Forschung befassen!“ Das NFP 41 will durch die enge Zusammenarbeit mit den Anwendern, z.B. durch Workshops mit den Begleitgruppen, Brücken von der Wissenschaft zur Praxis (und umgekehrt!) bauen und so Grundlagen für die politischen Dossiers von

morgen schaffen. Das durch Mitarbeit in Begleitgruppen und Kofinanzierungen dokumentierte hohe Interesse zeigt uns, das wir auf dem richtigen Weg sind.

Das NFP 41 ist nur ein kleiner Teil der schweizerischen Verkehrsforschung. Wir bemühen uns deshalb um eine frühzeitige Koordination von Forschungsideen mit anderen Institutionen und sind auch an gemeinsamen Projekten und Veranstaltungen im In- und Ausland sehr interessiert.

Das NFP 41 ist der Versuch, Brücken nicht nur von der Forschung zur Politik (und zurück) zu schlagen, sondern auch zwischen den Fachdisziplinen. Mit einem integralen Ansatz sollen möglichst breit, wenn auch auf Grund der knappen Mittel nur punktuell, die Grundlagen verbessert werden, um einer nachhaltigen Verkehrspolitik (im umfassenden Sinn eines umwelt-, wirtschafts- und gesellschaftsverträglichen, aber auch eurokompatiblen Verkehrssystems) Auftrieb zu geben.

Weitere Informationen, insbesondere Programmporträt und die bisherigen Bulletins, können beim Programmleiter, Felix Walter, bestellt werden:

c/o ECOPLAN, Monbijoustrasse 26, CH-3011 Bern

Tel. +41-31-3858181, Fax +41-31-3858180

E-Mail walter@ecoplan.ch

Internet: www.snf.ch/nfp41/home.htm

2 Was heisst nachhaltiger Verkehr

Nachhaltigkeit ist wie erwähnt ein schillernder Begriff. Je mehr er verwendet wird, umso grösser wird das Bedürfnis, ihn auch zu konkretisieren, also Nachhaltigkeit „messbar“ zu machen. Im Rahmen eines Projektes des NFP 41 haben die Autoren von Ernst Basler + Partner AG den Versuch unternommen, für den Verkehr ein überschaubares Indikatorensystem aufzustellen (¹).

Dabei gehen sie von der mittlerweile allgemein anerkannten Definition der Brundtland Kommission aus und interpretieren diese so, dass ein nachhaltiges Verkehrssystem auf Dauer

- die ökologischen Belastungsgrenzen respektieren,
- die wirtschaftlichen Bedürfnisse effizient erfüllen und
- den gesellschaftlichen Gerechtigkeitsvorstellungen entsprechen muss.

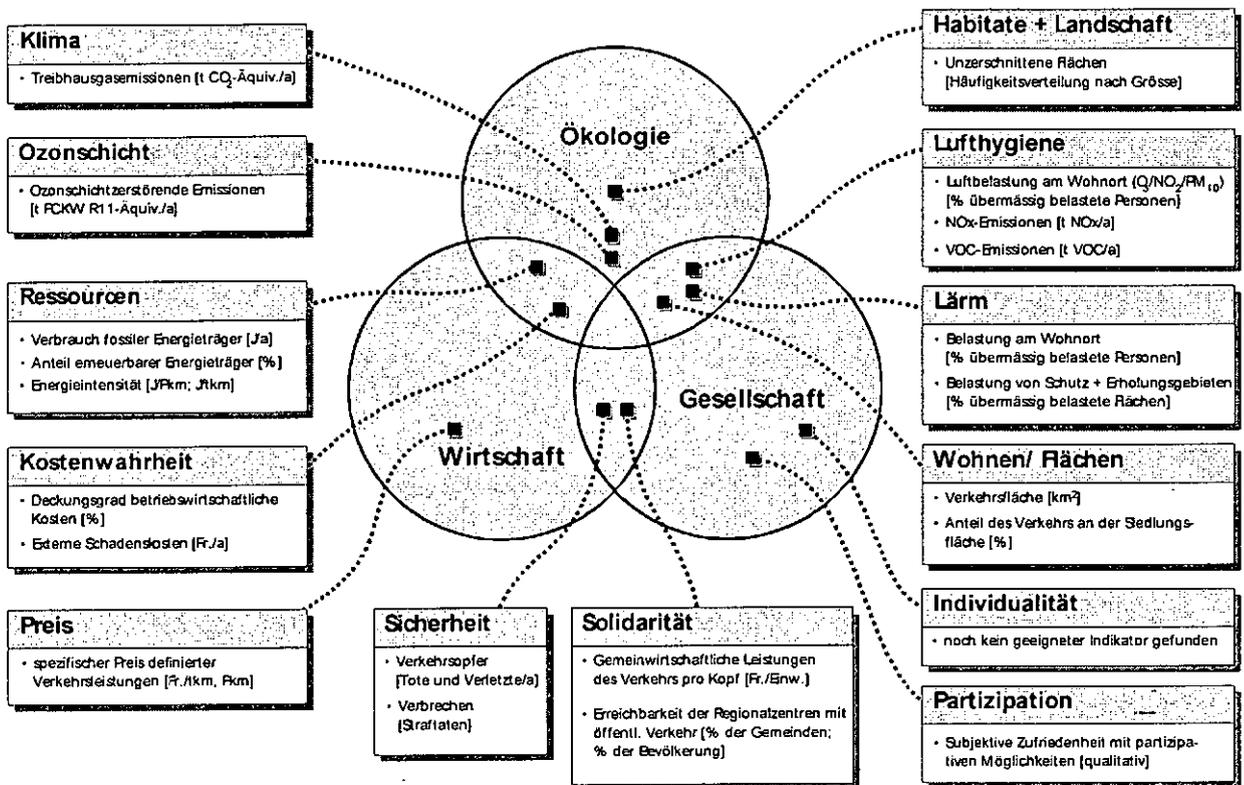
Während beispielsweise die Vancouver-Konferenz der OECD versucht hat, Nachhaltigkeit in neun Prinzipien zu fassen, versuchte das NFP-Projekt noch griffiger und konkreter zu werden:

Mit Hilfe von 13 Kriterien wurden die wichtigsten und für den Verkehr kritischen Aspekte der Nachhaltigkeit eingefangen (vgl. Abbildung 2-1).

Es fällt auf, dass die Kriterien „Lufthygiene“, „Lärm“ und „Wohnen“ sowohl aus ökologischer wie aus gesellschaftlicher Sicht von Bedeutung sind. Auch einige weitere Kriterien sind können jeweils zwei „Kreisen“ zugeordnet werden.

¹ Ernst Basler + Partner AG: Nachhaltigkeit: Kriterien im Verkehr, Bericht C5 des NFP 41, EDMZ-Nr. 801.604.d, Bern 1998.

Grafik 2-1: Übersicht Nachhaltigkeitskriterien im Verkehr ⁽²⁾



Um die Nachhaltigkeit wirklich messen und beurteilen zu können, sind aber mehr als qualitative Kriterien notwendig. Im erwähnten Projekt werden für einige der Kriterien mehrere Indikatoren, für andere nur einer vorgeschlagen, sodass insgesamt 21 Indikatoren ein Gesamtbild der Nachhaltigkeit geben sollen. Diese könnten grösstenteils auf der Basis der verfügbaren Statistiken als Zeitreihen dargestellt werden.

Wie weit sind wir von der Nachhaltigkeit entfernt?

Es ist schon schwierig genug, sich auf wenige Indikatoren zu beschränken, um die Nachhaltigkeit zu messen. Auch der Versuch, einen Sektor wie den Verkehr und zudem nur für die Schweiz für sich allein zu betrachten, ist nicht unproblematisch. Dies gilt besonders, wenn auch noch Zielwerte für die Nachhaltigkeit festgelegt werden sollen: Welchen Beitrag zur Erreichung der ökologischen Ziele soll der Verkehr, welchen Beitrag die Industrie oder die Haushalte leisten? Wie sieht eine gerechte Verteilung der nicht-erneuerbaren Ressourcen auf heutige und künftige Generationen, auf „Norden“ und „Süden“ aus?

Obwohl diese Fragen nie ohne Werturteil beantwortet werden können, besteht das Bedürfnis, für die Praxis eine grobe Richtschnur zu haben, wie weit der Verkehr noch von der Nachhaltigkeit entfernt ist.

Soweit dies überhaupt möglich war, haben die Autoren des erwähnten Berichts deshalb auch aus bestehenden politischen Verpflichtungen oder naturwissenschaftlichen und ökonomischen Erkenntnissen Zielwerte abgeleitet. Als besonders kritisch erweist sich erwartungsgemäss die

² Ernst Basler + Partner AG: Nachhaltigkeit: Kriterien im Verkehr, Bericht C5 des NFP 41, EDMZ-Nr. 801.604.d, Bern 1998.

Klimaproblematik, wo eine Reduktion um langfristig 60-80% der Emissionen von 1990 erforderlich ist. Aber auch im ökonomischen Bereich ist eine volle Deckung der betriebswirtschaftlichen und der externen Kosten (Kostenwahrheit) nicht einfach zu erreichen. Bei den gesellschaftlichen Zielen ist der Handlungsbedarf hingegen eher geringer.

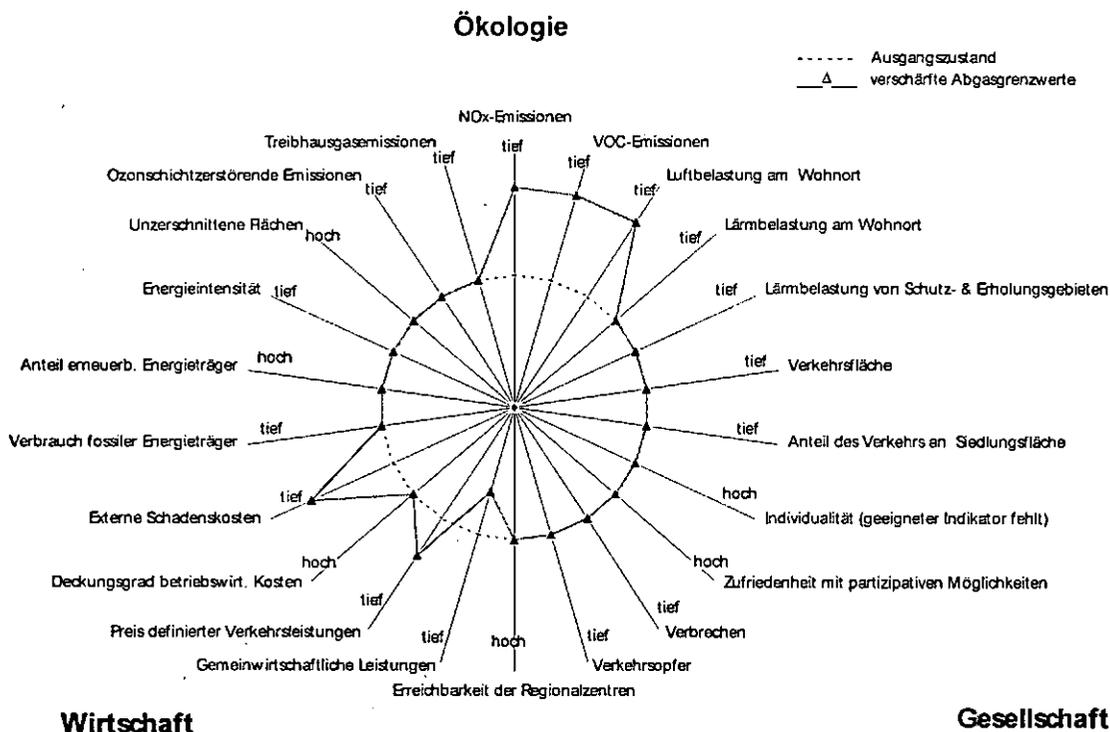
Anwendung als Checkliste für Projekte

Das vorgeschlagene Indikatorensystem eignet sich in erster Linie für eine grobe Prüfung der Verkehrsentwicklung auf nationaler Ebene. Es kann aber auch als grobe Leitlinie für die Analyse von politischen Strategien oder - unter Umständen mit Anpassungen - von Projekten werden. Zur Klärung der Frage, was Forschungsprojekte mit Nachhaltigkeit zu tun haben, wurde ein spezieller Leitfaden entwickelt (Publikation M1 resp. M2 und M3, siehe Kasten). Die Vieleck-Darstellung (Grafik 2-2) lässt sich aber auch allgemein verwenden, um zu zeigen, wie sich die Nachhaltigkeit, gleichsam der Raum für die Erfüllung der wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und ökologischen Ziele, vergrößert, verkleinert oder verändert.

Grafik 2-2: Darstellung der Nachhaltigkeits-Indikatoren

(Fiktives Illustrationsbeispiel für eine angenommene Verschärfung von Emissionsgrenzwerten). Je weiter aussen die Werte der einzelnen Indikatoren liegen, desto nachhaltiger ist der Verkehr im betreffenden Kriterium

(Quelle: Bericht M1, siehe Kästchen)



Weitere Arbeit steht bevor

Zunächst sind die Indikatoren für die gesellschaftliche Nachhaltigkeit (Kriterien „Individualität“ und „Partizipation“) noch zu wenig klar definiert. Hier besteht eindeutig ein Forschungsbedarf. Auch im wirtschaftlichen Bereich ist es schwierig, z.B. die Qualität des Verkehrs zu messen und die Qualitätselemente wie tiefer Preis, hohe Erreichbarkeit und Zuverlässigkeit zeitlich und räumlich zu aggregieren und in einen Indikator zu fassen. Hier

sind noch Vertiefungen nötig, die unter anderem mit dem NFP-Projekt A11 über die Messung der „Zugangsqualität“ geleistet werden sollen.

Weiter müssen die Indikatoren auch Eingang in die Beurteilung von politischen Strategien und von Projekten finden. Soll die Zweckmässigkeitsprüfung ergänzt werden, braucht es eine strategische Umweltverträglichkeitsprüfung oder gar so etwas wie eine Nachhaltigkeitsprüfung, welche die verschiedenen „Prüfungen“ ersetzen würde? Diese Frage wird im Projekt C6 des NFP 41 geprüft.

Schliesslich hilft das beste Indikatorensystem nichts, wenn keine Massnahmen ergriffen werden. Was die OECD in ihrem ehrgeizigen Projekt „Environmentally sustainable transport“ (kurz EST) versucht, nämlich den Handlungsbedarf und die Handlungsmöglichkeiten anhand langfristiger Szenarien aufzuzeigen, soll auch auf nationaler Ebene geschehen. Erstmals seit der Gesamtverkehrskonzeption von 1977 will das NFP 41 versuchen, ansatzweise eine integrierte Gesamtverkehrspolitik zu formulieren. Im entsprechenden Projekt C7 soll insbesondere klar werden, welche Strategien langfristig näher zur Nachhaltigkeit führen.

Energie - Schlüssel zur Nachhaltigkeit

Die erwähnten Arbeiten im NFP 41 sind zum gleichen Schluss gekommen wie viele andere: Die Klimaproblematik - und damit praktisch untrennbar verknüpft: der Energieverbrauch - sind das Schlüsselproblem, der kritische Pfad auf dem Weg zur Nachhaltigkeit. Dies gilt auch für die Schweiz, denn für den Verkehr verbrauchen wir rund einen Drittel der Energie, und der Verkehr weist die grössten Wachstumsraten auf. Von einer „Entkoppelung“ ist wenig bis nichts zu spüren. Dies illustrieren die beiden Abbildungen.

Die Perspektiven des Bundesamtes für Energie zeigen, dass für die verschiedenen Verkehrsmittel von 1990 bis ins Jahr 2030 sehr unterschiedliche Wachstumsraten erwartet werden: Während der Personenwagenverkehr dank einer Verminderung des spezifischen Energieverbrauchs um rund 35% sogar ein Verkehrsmengenwachstum von 40% ohne absoluten Energieverbrauchszuwachs „verkräften“ kann, werden bei nur geringer Effizienzsteigerung in den anderen Verkehrsmitteln grosse Zuwächse im Energieverbrauch erwartet (Lastwagen +100%, Schiene im Personenverkehr 40%, Schiene im Güterverkehr +100%, Flugverkehr +80%, alle Zahlen grob gerundet, Szenario mit allen geplanten Massnahmen). Insgesamt ergibt sich eine Verbrauchszunahme um rund 35%.

Bereits publiziert:

Folgende Berichte sind bereits publiziert und können bestellt werden bei der EDMZ, 3000 Bern, Fax 031/992 00 23. Bestellmöglichkeit und Kurzfassungen in Deutsch, Französisch und Englisch auch via www.snf.ch/nfp41/home.htm

Liste der Berichte (mit EDMZ-Bestellnummern)

A9: Die Zukunft gehört dem Fussgänger- und Veloverkehr (801.610.df; ab April 1999)

B5: Zukunftsgüterbahn - Vorstudie (801.602.d)

C1: Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaftsschutz, Monetarisierungs- und Beurteilungsmodell für Schutzmassnahmen im Verkehr (801.614.d; ab Mitte Mai 1999)

C5: Nachhaltigkeit: Kriterien im Verkehr (801.604.d)

D6: Verkehrsmanagement in Ferienorten (801.612.d)

E1: Intelligente Kundeninformation im öffentlichen Verkehr, Überblick und Grundlagen (801.603.d)

E5: Perspektiven der Verkehrstelematik (801.607.d)

F4: Technische Möglichkeiten im Personenfernverkehr auf der Schiene - Übersichts- und Perspektivstudie (801.606.d)

M1: Leitfaden Nachhaltigkeit im Verkehr - Hinweise zur Beurteilung von Forschungsprojekten (801.605.d)

M2: Mesure de la durabilité des transports - Résumé du projet C5 et Fil rouge pour la réalisation de projets de recherche (801.608.f)

M3: Measuring the Sustainability of Transport - Summary of Project C5 and Guide to Application in Research Projects (801.609.e)

M4: Vision Fahrplanauskunft Schweiz - Machbarkeitsstudie für eine flächendeckende Fahrplaninformation (801.615.d)

T1: 20 Jahre Gesamtverkehrskonzeption - wie weiter? La Conception Globale des Transports a 20 ans - qu'en est-il advenu? Tagung vom / colloque du 27.11.1997 (801.601.df)

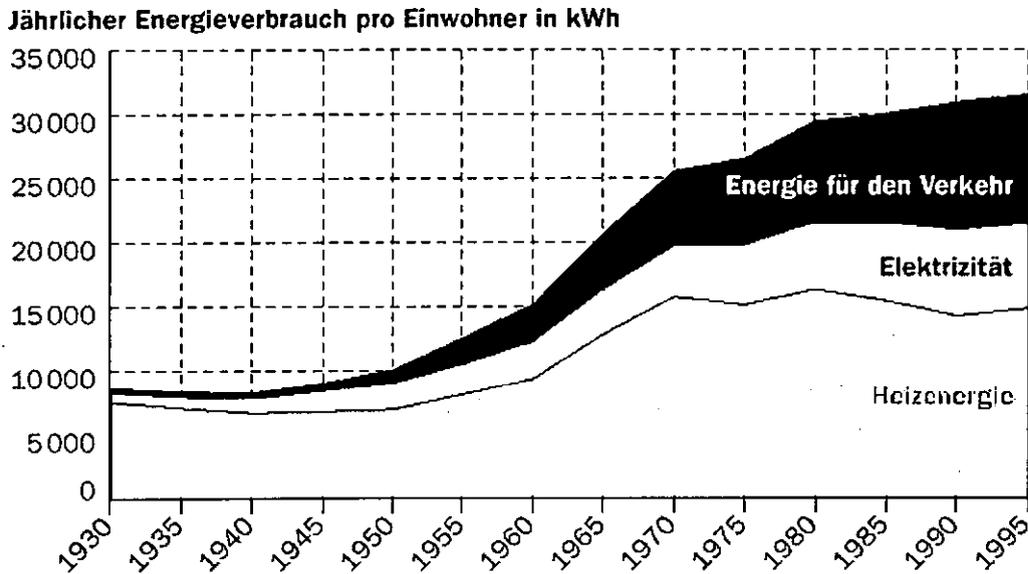
T2: Die Zukunft gehört dem Fussgänger- und Veloverkehr; Dokumentation zur Tagung vom 6.11.98 (801.613.df)

Weiter sind beim Programmleiter das Programmporträt und die Bulletins 1, 2 und 3 erhältlich. Um regelmässig Informationen zu erhalten, melden Sie sich bitte beim Programmleiter.

Die Entwicklung ist also, selbst bei Realisierung aller geplanten (und noch nicht beschlossenen Massnahmen) alles andere als nachhaltig. Dabei wäre es falsch, den Schwarzen Peter nur dem privaten Strassenverkehr zuzuschieben. Häufig geht vergessen, dass durchschnittlich (d.h. leider schlecht) ausgelastete Regionalzüge unter Einbezug der grauen Energie (Energie für die Herstellung der Fahrzeuge und für die Infrastruktur) kaum mehr effizienter sind als moderne Personenwagen. Im Güterverkehr gilt dies zwar noch nicht, doch auch hier hat die Bahn einiges von ihrem ökologischen Vorsprung eingebüsst.³ Ebenfalls häufig durch die Maschen fällt der Luftverkehr, dessen Akteure zwar punkto Energieeffizienz einiges unternehmen, sich aber punkto Verkehrswachstum - gleichsam „über den Wolken“ - den Zielen der Energie- und Klimapolitik in vielen Fällen kaum verpflichtet fühlen.

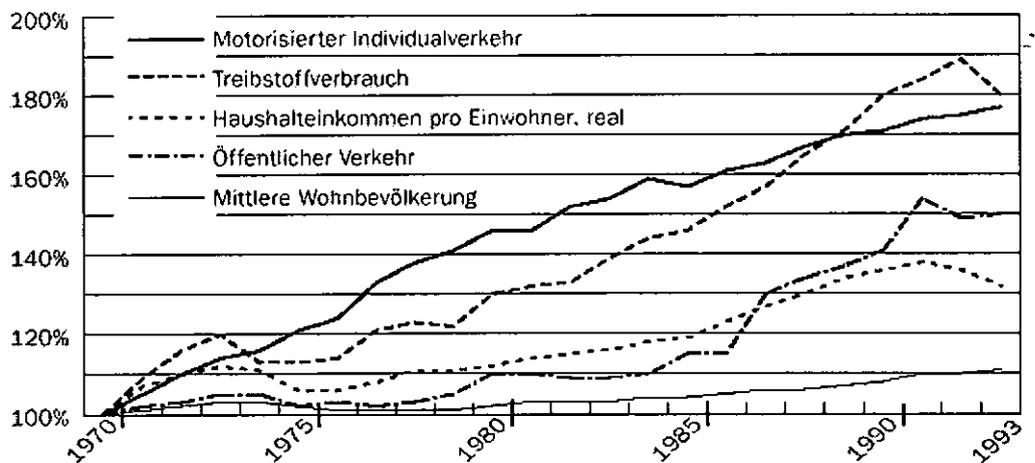
³ Vgl. z.B: UVEK/Dienst GVF (1998), Verkehr gestern, heute, morgen.

Grafik 2-3: Energieverbrauch pro Einwohner in der Schweiz⁽⁴⁾



Grafik 2-4: Keine Entkoppelung von Wachstum und Verkehr⁽⁵⁾

Entwicklung von Verkehr, Bevölkerung und Haushaltseinkommen



Fazit

- Der Energieverbrauch ist ein wichtiger und einer der kritischsten Pfade auf dem Weg zur Nachhaltigkeit.
- Alle Prognosen zeigen, dass zumindest in dieser Hinsicht keine Entwarnung angezeigt ist: Es sind spürbare zusätzliche Massnahmen notwendig, um den Energieverbrauch im Verkehr auf einen nachhaltigen Pfad zu bringen.

⁴ Quelle: Energie 2000, Traffic Box.

⁵ Quelle: Energie 2000, Traffic Box.

3 Verkehrspolitik - welche Kurve?

3.1 Eine Momentaufnahme

Obwohl moderne Verfassungsgrundlagen für eine koordinierte Verkehrspolitik 1988 vom Volk abgelehnt wurden, sind die offiziellen Ziele der Verkehrspolitik durchaus auf Nachhaltigkeit ausgerichtet. Sie lauten⁶⁾

- Schutz der Gesundheit des Menschen und seiner natürlichen Lebensgrundlagen
- Erhaltung der sozialen Errungenschaften der Mobilität
- sparsamer Umgang mit öffentlichen Mitteln
- Abstimmung auf die europäische Verkehrspolitik.

Gegen Ende des Jahres 1998 haben Volk und Stände, das Parlament und die Verhandlungsdelegationen des Bundesrates einige Meilensteine gesetzt, welche die nächsten Jahre massgeblich prägen werden:

- Einführung einer leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe und gleichzeitige schrittweise Anhebung der Gewichtslimite im Schwerverkehr
- Sicherung der Finanzierung („FinÖV“) für einen massiven Ausbau der Schieneninfrastruktur, namentlich
 - durch die beiden geplanten neuen Basistunnel am Lötschberg und am Gotthard (Neue Eisenbahnalpentransversale NEAT),
 - durch den Anschluss ans TGV- und ICE-Netz,
 - durch die Fertigstellung des Konzepts Bahn 2000 (Stunden- und vielerorts Halbstundentakt im öffentlichen Verkehr)
 - und ein (kostspieliges) Lärmschutzprogramm entlang der Bahnlinien und evtl. beim Rollmaterial
- Bahnreform mit teilweise freiem Netzzugang, Verselbstständigung der (und Leistungsauftrag an die) Bundesbahnen und durchgehender Einführung des Bestell-Prinzips für defizitäre Leistungen
- Bilaterales Abkommen im Land- und im Luftverkehr mit der EU

Die leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe ist dabei besonders hervorzuheben. Die bisherige pauschale Abgabe wird deutlich erhöht und neu nach den gefahrenen Kilometern und dem zugelassenen Gesamtgewicht bemessen werden. Die Höhe der Abgabe wird dabei schon im Verfassungsauftrag ausdrücklich auch mit den externen Kosten begründet. Das Gesetz ist nebst einigen schwedischen Ansätzen eines der ersten europäischen Instrumente zur Internalisierung der externen Kosten im Verkehr und eine der ersten fahrleistungsabhängigen Schwerverkehrsabgaben.

Auch das bilaterale Abkommen bedeutet mit der Anerkennung der schweizerischen Abgabepolitik durch die EU einen Schritt zur Kostenwahrheit und damit zur Nachhaltigkeit.

⁶ Vgl. Bundesrat Leuenberger M. (1997), Integrierte Verkehrspolitik 2000+, in: Porträt NFP 41, Bern.

Damit hat die Schweiz zentrale Schritte zur Umsetzung der Nachhaltigkeit im Verkehr und namentlich der Kostenwahrheit eingeleitet. Zwar haben entscheidende Vorlagen den Segen des Volkes erhalten, aber noch ist beispielsweise das Abkommen mit der EU nicht definitiv unter Dach. Auch sind in vielen Bereichen noch zusätzliche Massnahmen nötig, namentlich im Personenverkehr (etwa beim Treibstoffverbrauch der Fahrzeuge), bei der Realisierung der ehrgeizigen Luftreinhalteziele in den Städten und entlang der Hauptachsen, bei der Klimapolitik und in anderen Bereichen mehr.

Als weitere Meilensteine - neben der aufwendigen Umsetzung und der Genehmigung der bilateralen Abkommen - stehen deshalb unter anderem an:

- Prüfung einer Alpentransitabgabe zur Umsetzung des Alpenschutzartikels der Bundesverfassung (d.h. der Alpeninitiative zur Verlagerung des Transitgüterverkehrs auf die Schiene)
- Förderung des kombinierten und des Schienengüterverkehrs, u.a. mittels Rollender Landstrasse und einem System für den Binnenkombiverkehr (genannt KLV-CH oder Pegasus)
- Beschlüsse von Parlament und Volk zu den Volksinitiativen „Halbierung des motorisierten Strassenverkehrs“, „Tempo 30 innerorts“ und mittelfristig „Kampf dem Stau“ (Ausbau von Gotthardtunnel und A1)
- Diskussion eines Leitbildes „Verkehrstelematik“ und Treffen entsprechender Massnahmen
- Vorbereitung weiterer Etappen der Bahnreform
- Prüfung von Strassenabgaben im Personenverkehr, u.a. im Zusammenhang mit Begehren zur Schaffung von Rechtsgrundlagen für ein Road-Pricing in Agglomerationen
- Klärung der Rahmenbedingungen der Luftfahrt im Rahmen des Sachplans Infrastruktur der Luftfahrt
- Weiterführung der Energiepolitik, u.a. im Rahmen eines Programms „Energie 2000plus“
- Klärung des Einbezugs des Verkehrs in eine Energie- und/oder CO₂-Abgabe
- Entscheide zum Konzessionsgesuch für eine Pilotstrecke der Swissmetro
- Allenfalls Erlass eines Sachplans Verkehr resp. Verkehrsinfrastrukturen
- Anpassung der Emissionsgrenzwerte für Fahrzeuge an die neuen Werte der EU (Euro-3, Euro-4 usw.)

3.2 Wichtige Trends - auch aus dem NFP 41

Welches sind die wichtigsten Trends in der Verkehrsentwicklung, die für die künftige Verkehrspolitik entscheidend sind? Dazu wagen wir im Folgenden eine erste Übersicht. Zunächst sei erwähnt, dass im NFP 41 zwar mit 52 Projekten eine sehr breite Palette von Themen abgedeckt wird, dass aber selbstverständlich in anderen Forschungsprogrammen und -projekten der Schweiz und der EU ebenfalls zahlreiche wichtige Themen zu behandeln werden, die für unseren Überblick wesentlich sind.

Grafik 3-5: Projekte des NFP 41 (vereinfacht)

NFP 41: Verkehr und Umwelt: Wechselwirkungen Schweiz - Europa					
Modul A: Mobilität: Sozio- institutionelle Aspekte	Modul B: Mobilität: Sozio- ökonomische Aspekte	Modul C: Umwelt: Methoden zur Analyse von Auswirkungen	Modul D: Politische und ökonomische Strategien und Rahmenbedin- gungen	Modul E: Verkehrssystem- Management: Potenziale und Auswirkungen	Modul F: Technologie: Potenziale und Auswirkungen
Mobilitäts- management	Güterverkehrs- markt	Naturschutz: Kosten/Nutzen	Kosten- wahrheit	Verkehrsinfo- System & Umwelt	Risikoanalysen
Soziologische Aspekte	Unternehmens- strategien	Partikel- Emissionen	Wettbewerb	Kundeninfo im ÖV	Technikfolgen HGV
Telekomm statt Verkehr?	Kombiverkehrs- standorte	Strategiemodell Umwelt/ Mobilität	EU-Politik und die Schweiz	Datennutzung für Verkehrs- management	Nachfrage Swissmetro
Statistikreform	Zukunfts- Güterbahn	Kriterien und Strategien für Nachhaltigkeit	Freizeitverkehr	Potenziale der Telematik	Räumliche Effekte von Swissmetro
Langsam- verkehr	Integration in EU-Verkehrs- netze	Nachhaltig- keitsprüfung	Grenzregionen		Eurometro
Erreichbarkeit messen	Logistikdreh- scheiben	Verkehr+Raum- ordnung	Institutionen & Finanzierung		
			Nutzen		
			Road Pricing		
			Akzeptanz		

Wir haben versucht, die wichtigsten Trends und Leitgedanken, welche für die Verkehrspolitik der Zukunft wichtig sein dürften, in 41 Thesen zusammenzufassen, die in einem internen Arbeitspapier dargestellt sind. Im Folgenden greifen wir einige heraus (um beim Zahlenspiel zu bleiben: 4+1 Thesen) und möchten damit einige - unvollständige - Anstösse für die künftige Verkehrspolitik geben.

1. Die Trendentwicklung: Wachstum und wirtschaftlicher Druck

Praktisch alle Prognosen zeigen, dass der Verkehr weiter wachsen wird, vor allem der Güterverkehr, das Segment Freizeitverkehr und das Verkehrsmittel Flugzeug. Dabei erlangen die wirtschaftlichen Bedürfnisse und Zwänge der internationalen Konkurrenz zunehmendes Gewicht, unter anderem auch zu Lasten der Randregionen.

2. Energie und Umwelt: Nur teilweise Besserung

Mit dem Wachstum verbunden sind zunehmende CO₂-Emissionen, steigender Energieverbrauch und anhaltende Überschreitungen der Ozon- und Partikel-Grenzwerte, während die anderen Umweltbereichen zum Teil deutlich an Brisanz verlieren.

3. Innovationen: Telematik und weiter?

Die absehbaren Innovationen sind vor allem in der Informations- und Kommunikationstechnologie zu suchen: Verkehrsleitsysteme, Abrechnungssysteme usw. werden in den nächsten Jahren revolutioniert. Ob hingegen bei den Verkehrsmitteln Innovationen wie z.B. Swissmetro/Eurometro den Durchbruch schaffen, ist fraglich. Jedenfalls verdient die Suche nach innovativen (technischen und sozioökonomischen!) Lösungen weiterhin viel Energie.

4. Wirtschaftliche Kräfte werden in jeder Hinsicht stärker

Dies bedeutet: Mehr Wettbewerb, Verstärkung privatwirtschaftlicher Unternehmensformen, stärkeres Kosten-Nutzen-Denken, aber auch knappe Mittel der öffentlichen Hand und stärkerer Einfluss weltweiter wirtschaftlicher Kräfte („Globalisierung“).

4+1: Europäische Vernetzung gewinnt an Bedeutung

In der Politik, der Forschung, der Infrastrukturplanung und in der Wirtschaft wird die europäische Vernetzung immer wichtiger. Die Schweiz darf sich nicht mehr als Insel fühlen.

3.3 Wichtige Herausforderungen

Ein konsistenter Ueberblick über ein optimales Massnahmenpaket für das nächste Jahrhundert würde nicht nur den Rahmen dieses Referates, sondern wohl auch meiner Kenntnisse sprengen. Ich begnüge mich daher mit einigen Hinweisen:

Der verkehrspolitische Massnahmen-Mix lässt sich auf viele Arten gliedern:

- Die einen unterscheiden Massnahmen bei der Nachfrage von Massnahmen auf der Angebotsseite.
- Andere sprechen von „Vermeiden - Verlagern - Verträglich bewältigen“ (oder Saving - Shifting - Smoothing).
- Gängig ist auch - wenn wir vom Energieverbrauch sprechen - die Unterteilung in die Ansatzpunkte „spezifischer Verbrauch“ und „Verkehrsmengen“, wobei an beiden Ansatzpunkten sowohl eine Verminderung wie auch eine Verlagerung auf energieeffizientere Techniken resp. Verhaltensweisen möglich ist.
- Natürlich können die Massnahmen auch im Sinne eines Werkzeugkastens eingeteilt werden, etwa in freiwillige und Informations-Massnahmen, technische Normen, Normen zum Betriebsablauf (z.B. Tempo), marktwirtschaftliche Instrumente (Wettbewerb, Abgaben, Subventionen), Infrastrukturen/Angebotsplanung und raumplanerische Massnahmen.

Alle Analysen dieser Massnahmen zeigen immer wieder, dass es nicht „eine“ Schlüsselmassnahme oder Patentlösung gibt, die alle Probleme löst. Auch die Massnahmen, welche auf dem Papier die höchste Effizienz versprechen, z.B. Abgaben, haben ihre Probleme z.B. im Akzeptanzbereich und im Verhältnis zu den Nachbarländern.

Weiter ist klar, dass jede Massnahme mit zunehmender Dosierung ein immer schlechteres Kosten-Nutzen-Verhältnis bekommt.

Alle diese Ueberlegungen zeigen, dass es letztlich einen Massnahmenmix braucht, der aus allen Bereichen die effektivsten und effizientesten Teilmassnahmen kombiniert.

Ich möchte daher auf die Darstellung eines solchen Massnahmenmix verzichten, und stattdessen Herausforderungen nennen, die sich aus meiner Sicht()die sus den zentralen Trends ergeben:

1. Die Politik muss die Steuerung der „schwierigen Verkehrsbereiche“ angehen

Freizeitverkehr, Luftverkehr und Güterverkehr sind schwieriger zu beeinflussen als der Pendlerverkehr. Trotzdem darf die Politik hier nicht kapitulieren und muss einen zweckmässigen Massnahmenmix entwickeln und umsetzen (Mix von freiwilligen Massnahmen, Regulierungen und marktwirtschaftlichen Instrumenten etc.).

2. Wachstum dämpfen oder Kapazitäten ausbauen?

Die alte Frage wird sich schon bald neu stellen: Sollen die zunehmend überlasteten Kapazitäten ausgebaut werden, was wiederum mehr Verkehr auslösen wird, oder sollen die Nachfrage dämpfenden Massnahmen verstärkt werden? Die Nachfragedämpfung könnte in erster Linie über marktwirtschaftliche Instrumente erfolgen.

3. Kritische Umweltziele ernst nehmen - oder weiter wursteln?

Einige Umweltziele sind nur mit spürbaren weiteren Massnahmen erreichbar. Dazu gehören namentlich griffige marktwirtschaftliche Instrumente zur Durchsetzung der Kostenwahrheit (auch im Personenverkehr, auch im Luftverkehr), eine herzhaftere Raumplanung und eine rasche (evtl. geförderte) Einführung neuer Technologien (verbrauchsarme und emissionsarme Fahrzeuge).

Mit der bisherigen Haltung der Mehrheit in den Exekutiven und Legislativen, welche kurzfristige wirtschaftliche Aspekte höher gewichtet hat als die Umweltprobleme, werden solche Massnahmen trotz vieler schöner Worte auch künftig nicht ergriffen werden.

4. Neue Technologien - rasche Anpassung gefragt

Für den Umgang mit neuen Technologien wie Swissmetro/Eurometro oder Verkehrstelematik ist eine rasche Reaktion der Politik erforderlich: Förderkriterien und Beurteilungskriterien sind gefragt, sodann eine Klärung der Zuständigkeiten. Innovationen im Verkehrsbereich dürfen nicht durch administrative Hürden gebremst werden.

4+1. Internationale Vernetzung

Die Zusammenarbeit mit der EU und insbesondere mit den Alpenländern muss in der Politik und in der Forschung wesentlich verstärkt werden. Dazu sind auch die institutionellen Voraussetzungen zu schaffen, damit die Schweiz rasch agieren und nicht nur reagieren kann.

Exkurs zur Verkehrsforschung

Auch die Verkehrsforschung wird sich zunehmend international ausrichten müssen. Bereits im 3. und im 4. Forschungsrahmenprogramm der EU wurden zahlreiche entscheidende Projekte durchgeführt, die in der Schweiz noch nicht genügend zur Kenntnis genommen werden. Mit dem 1999 anlaufenden 5. Forschungsrahmenprogramm wird die Bedeutung der EU-Forschung weiter zunehmen. Gleichzeitig gibt es in der Verkehrsforschung in der Schweiz zahlreiche Förderinstitutionen und -programme, deren Profile sich nicht immer klar voneinander abgrenzen.⁽⁷⁾ Die wichtigsten „Players“ sind die Strassenforschung des UVEK resp. des ASTRA, die energiebezogene Verkehrsforschung des BFE, die marktorientierten Förderprojekte von Energie2000 (resp. Energie2000 plus) und das NFP 41. In Zukunft sind aber Programme wie die „2000 Watt Gesellschaft“ des ETH-Bereichs und allfällige „Nationale Forschungsschwerpunkte“ des Nationalfonds im Auge zu behalten. Eine bessere Koordination und die Verhinderung von Doppelspurigkeiten (auch mit der EU-Forschung) sind nötig. Es besteht die Gefahr der Verzettelung, ohne dass die Schweiz - mit wenigen Ausnahmen - mit ihren recht grossen Fördermitteln gleichzeitig in der Verkehrsforschung zur internationalen Spitze gehören würde. Es wäre sinnvoll, eine jährliche schweizerische Verkehrsforschungskonferenz ins Leben zu rufen.

⁷ Vgl. dazu das Dokument des NFP 41: „Übersicht über die Verkehrsforschung der EU und in der Schweiz“.

Die inhaltlichen Schwerpunkte müssten in Zukunft vermehrt auf den Güterverkehr, auf internationale Fragen, auf das Auslösen und Bewerten von Innovationen aller Art sowie auf die Verknüpfung von Informations- und Kommunikationstechnologien mit dem Verkehr gesetzt werden. Daneben muss der Umsetzung der vielen guten Ideen noch mehr Beachtung geschenkt werden (durch marktnahe Pilotprojekte, Monitoring und Erfolgskontrollen und Akzeptanz- und Umsetzungsforschung).

4. Fazit

In der Schweiz sind einige viel versprechende Ansätze für eine nachhaltige Verkehrspolitik auszumachen. Das Nationale Forschungsprogramm „Verkehr und Umwelt“ versucht, Akzente im Sinne eines integrierten Ansatzes zu setzen und der Politik weitere Grundlagen und Impulse zu geben. In einem Projekt wurden konkrete Indikatoren für Nachhaltigkeit aus den Bereichen Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft vorgeschlagen, die für Anwendungen, Vertiefungen und Weiterentwicklungen zur Verfügung stehen.

In der politischen Landschaft beginnt sich das Prinzip der Kostenwahrheit langsam durchzusetzen. Das Jahr 1998 stellt in vieler Hinsicht ein Jahr der Durchbrüche dar.

Zentrale Umwelt- und Energieprobleme des Verkehrs sind jedoch weit von einer Lösung entfernt. Die Marschrichtung ist zwar klar, der politische Konsens-Weg aber nicht überall.

Das NFP 41 wird versuchen, in einigen Bereichen weiter gehende Anstösse zu geben und auch die Brücke von Forschung zur Politik zu stärken. Alle Akteure sind gefordert, in ihrem Bereich einen Beitrag zu leisten, innovativ und beharrlich zu sein, und nicht den schwarzen Peter auf die anderen Disziplinen und Akteure abzuschieben.

PROGRAMME

9h **Bienvenue**, Fabrizio Carlevaro, directeur du Cuepe

Problématique générale

9h15 **Mobilité, transport, énergie. Analyse et perspectives, perspectives Nord - Sud**
Didier Bosseboeuf, Ademe, Paris

10h **La situation en Europe : perspectives à moyen et long terme**
Michel Frybourg, Groupe ENOES, Paris

10h30 **Pause**

11h **L'évolution technique et la consommation énergétique. Transport quotidien de personnes et transport de marchandises**
Claude Lamure, INRETS, Lyon

11h30 **Politique énergétique et environnementale dans les transports : les instruments économiques**
Philippe Thalman, IREC, EPFL

12h **Questions du public**

12h30 **Repas**

Cas de la Suisse

14h **Les citoyens face à l'automobilité. Une étude de cas: les pratiques modales dans 6 agglomérations suisses et françaises**
Vincent Kaufmann, IREC, EPFL

14h30 **Les impacts de la consommation d'énergie des transports sur l'environnement: une évaluation économique**
Claude Jeanrenaud, IRER, Université de Neuchâtel

15h **Vers une mobilité durable? Perspectives de la politique des transports et de la recherche en Suisse**
Felix Walter, Directeur du Programme national de recherche "Transport et environnement, interactions Suisse-Europe" (PNR 41), Ecoplan, Berne

15h30 **Questions du public**

15h45 **Pause**

16h **Table ronde**
avec les orateurs et le public

17h **Fin de la journée, vin d'honneur**

LISTE DES PARTICIPANTS

M. Georges-Pierre ACKERMANN, TCS, 114, ch. de la Montagne, 1224 Chêne-Bougeries
M. Sébastien AEBY, étudiant, Université de Genève, 23, ch. des Palettes, 1212 Grand-Lancy
M. Jacques ARMENGOL, SIG, Service du Gaz, c.p. 2777, 1211 Genève 2

M. Rémi BECK, DTPE-OCEN, 4, rue du Puits-Saint-Pierre, 1204 Genève
M. Isaac BENGUIGUI, Faculté de Lettres, 11, av. des Cavaliers, 1224 Chêne-Bougeries
M. Jean-Luc BERTHOLET, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève
Mme Laurence BOISSIER, DTPE-OCEN, 4, rue du Puits-Saint-Pierre, 1204 Genève
M. Didier BOSSEBOEUF, Ademe, 27, rue Louis Vicat, F-75737 Paris
M. Roger BOSSON, Clima Suisse, 2, ch. de l'Epargne, 1213 Peti-Lancy
M. Jean-Pierre BOYMOND, 24, rue Louis Martel, F-74160 Saint-Julien
Mme Gisela BRANCO, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève
M. Nicolas BRUN, IUED, 15, rue Louis Favre, 1201 Genève
Mme Anne BURGI, étudiante, Université de Genève, 17, ch. de Roches, 1208 Genève

M. Fabrizio CARLEVARO, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève
Mme Françoise CHAPPAZ, WWF Genève, 10, rue de Villereuse, 1207 Genève
M. Jean-Paul CHAZE, LEA, Université de Genève, 2, rue Dancet, 1211 Genève 4
M. José COLLADOS, Commune de Meyrin, 2, rue des Boudines, 1217 Meyrin

M. Luc DANLOY, retraité CERN, 54, rue de la Prulay, 1217 Meyrin
M. Reinaldo DAVERIO, étudiant, Université de Genève, 62, av. du Lignon, 1219 Le Lignon
Mme Cheryl DOTTI, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève
M. Jean-Marc DUBOST, DAEL, Direction des Bâtiments, 5, David-Dufour, 1211 Genève 8
M. Frédéric DUPRAZ, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève

M. Jacques ERLANGER, CEAT, EPFL, c.p. 555, 1001 Lausanne

M. Antoine FROMENTIN, LASEN, EPFL, 1015 Lausanne
M. Michel FRYBOURG, Groupe ENOES, 108, av. Félix Faure, F-75015 Paris

M. Peter GALLINELLI, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève
Mme Myriam GARBELY, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève
Mme Dolores GONZALEZ, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève
Mme Catherine GRAF, FAPSE, Université de Genève, 9, rte de Drize, 1227 Carouge
M. Alain GROBET, Bureau Demolière, 27, rue Cardinal Journet, 1217 Meyrin
M. Kim GYR, Arrows Design, 36, rue du Port, 1815 Clarens

M. Pierre-André HALDI, LASEN, EPFL, DGC-Ecublens, 1015 Lausanne
M. Ernst HEER, prof. hon., Université de Genève, 16, ch. Tirelounge, 1213 Onex
Mme Catherine HEROLD, 109, rte du Grand-Lancy, 1212 Grand-Lancy
M. Pierre HOLLMULLER, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève

M. Pierre-André IFF, Federal Mogul SA, 16, av. Adrien Jandin, 1226 Thônex

M. Pierre INEICHEN, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève

M. Cédric JEANNERET, Arpège Communication, 26, av. Cardinal Mermillod, 1227 Carouge
M. Claude JEANRENAUD, IRER, 7, Pierre-à-Mazel, 2000 Neuchâtel

M. Vincent KAUFMANN, DA-IREC, EPFL, c.p. 555, 1001 Lausanne
M. Georges KOLB, Association transports et environnement (ATE), 1683 Brenles

M. Bernard LACHAL, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève
M. Benoit LAMBERT, Faculté de Droit, 2, bd. Carl-Vogt, 1211 Genève 4
M. Claude LAMURE, INRETS, case No 24, F-69675 Bron Cedex

M. Nicolas MACABREY, Société GESTE, PSE, 1015 Lausanne
M. Luis MARCOS, Seven-Energie, 10, Valentin, 1014 Lausanne
M. Alastair MCFARLANE, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève
M. André MERMOUD, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève
M. Pierre MILLERET, PM SA, c.p.1571, 1227 Carouge
M. Paul MORACHIOLI, Ecole d'Ingénieurs de Genève, 4, rue de la Prairie, 1202 Genève
Mme Alexandra MOTTU, étudiante, Université de Genève, 3, pl.de l'Octroi, 1227 Carouge

Mme Cam-Lai NGUYEN, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève

M. Eric PAMPALONI, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève
M. Ferruccio PETRACCO, P. Network, c.p. 2767, 1211 Genève 2
M. Philippe POT, Swissmetro SA, 14, rte de Grenet, 1074 Mollie-Margot

M. Yves RENAUD, CERN, case postale, 1211 Genève 23
M. Gil RICHARD, SERISA télébat SA, 1, ch. des Mûriers, 1170 Aubonne
M. Claudio ROLLINI, Féd. des Syndicats Patronaux, 98, rue de Saint-Jean, 1211 Genève 11
M. Franco ROMERIO, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève
M. André ROSSELET, Ass.p.le dév.desEnergies Renouvelables, La Peuffeyre, 1880 Bex
M. Jacques ROYER, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève

M. Gérard SCHMID, c.p. 57, 1216 Cointrin
Mme Daniela SEBELEDI, étudiante, Université de Genève, 12, Conseil Général, 1205 Genève
M. Constantin SOUTTER, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève
M. Guy SUCHET, Féd. des Syndicats Patronaux, 98, rue de Saint-Jean, 1211 Genève 11

M. Jean-Noël TALLAGNON, "Entreprise Romande", 98, rue de Saint-Jean, 1211 Genève 11
M. Philippe THALMAN, DA-IREC, EPFL, c.p. 555, 1001 Lausanne
M. Christian TRACHSEL, 7, Charles Perrier, 2074 Marin
M. Jean-Marc TSCHOPP, DTPE-OCEN, 4, rue du Puits-Saint-Pierre, 1204 Genève
M. Franco TUFO, CITEC Ing.-Conseils, 8, rue des Vieux Grenadiers, 1205 Genève

M. Jacobus VAN DER MAAS, DTPE-OCEN, 4, rue du Puits-Saint-Pierre, 1204 Genève
M. Alberto VELASCO, Député Grand Conseil, c.p. 122, 1211 Genève 9

M. Paul VILPERT, Ecole d'Ingénieurs de Genève, 4, rue de la Prairie, 1202 Genève

M. Felix WALTER, PNR41, Ecoplan, 26, Monbijoustr., 3011 Berne

M. Willi WEBER, CUEPE, 19, av. de la Jonction, 1205 Genève