

document de travail

septembre 2009 | 86

Les transports face aux défis de l'énergie et du climat

Benjamin Dessus, Global Chance, <http://www.global-chance.org>

Contact : Nils Devernois, département de la Recherche, AFD, devernoisn@afd.fr

Département de la Recherche

Agence Française de Développement 5 rue Roland Barthes
Direction de la Stratégie 75012 Paris - France
Département de la Recherche www.afd.fr



Avertissement

Les analyses et conclusions de ce document sont formulées sous la responsabilité de ses auteurs. Elles ne reflètent pas nécessairement le point de vue de l'AFD ou des institutions partenaires.

Directeur de la publication : Jean-Michel SEVERINO

Directeur de la rédaction : Robert PECCOUD

ISSN : 1954-3131

Dépôt légal : 3^e trimestre 2009

Mise en page : Anne-Elizabeth COLOMBIER

Avant-propos

Pour donner une plus grande visibilité aux travaux de l'association Global Chance, l'Agence Française de Développement (AFD) s'est proposé de publier dans sa collection Documents de travail des textes parus en janvier 2009 dans le dernier numéro de la revue Les cahiers de Global Chance ¹.

Global Chance est une association de scientifiques qui s'est donné pour objectif de tirer parti de la prise de conscience des menaces qui pèsent sur l'environnement global pour promouvoir les chances d'un développement mondial équilibré. Elle a pour mission d'identifier et de promouvoir des réponses collectives nouvelles et positives aux menaces de changement global dans un esprit de solidarité Nord-Sud, d'humanisme et de démocratie (www.global-chance.org).

¹ Global Chance (2009), « Vers la sortie de route : les transports face aux défis de l'énergie et du climat », les cahiers de Global Chance, n° 26, janvier. Edition commune avec Liaisons Energies-francophonie (www.iep.org)

Sommaire

	Introduction	7
<hr/>		
1.	Constats, tendances et marges de manœuvre	9
1.1	État des lieux	9
1.2	Le poids des infrastructures dans les transports	25
<hr/>		
2.	Les prévisions d'évolution	31
2.1	Des prévisions qui conduisent à une double impasse	31
2.2	Les transports en manque de pétrole	36
<hr/>		
3.	La technologie et ses limites	39
3.1	Le progrès technique pour les véhicules et la motorisation	39
3.2	Les solutions électriques de motorisation	40
3.3	Les agrocarburants dans la ligne de mire	45
3.4	Des carburants liquides propres à partir du charbon ou du gaz ?	50
<hr/>		
4.	Changer de paradigme ?	55
4.1	Les transferts de modes de transport	55
4.2	Le couplage mobilité/PIB	59
4.3	Vers un compromis entre technologie et maîtrise des besoins ?	62
4.4	De l'objet automobile au service de mobilité	64
4.5	Plaidoyer pour la relocalisation	68
<hr/>		
5.	Expériences et témoignages	73
5.1	Le développement du transport urbain à Shanghai	73
5.2	Le défi énergétique et climatique de la motorisation en Inde	76
5.3	Ho-Chi-Minh-Ville : développement économique et mobilité durable	79
5.4	Mobilité urbaine et rurale en Afrique	81
5.5	Déplacements des populations isolées en Afrique subsaharienne : comment économiser l'énergie	84
5.6	Comment la bicyclette améliore la situation sanitaire des populations rurales en Ouganda	88
5.7	La mobilité vue de Douala	89
5.8	La zone industrielle de Sidi Bernoussi	91
5.9	États-Unis : la fin de l'étalement urbain ?	92
<hr/>		
	Liste des sigles et abréviations	
<hr/>		
	Bibliographie	

Introduction

L'actualité récente nous rappelle que la question des transports, aussi bien dans les pays du Nord que du Sud, des personnes comme des marchandises, est au cœur des grands défis et des grandes contradictions de ce début de siècle. Socle historique encore incontesté du développement des échanges et du commerce – tous deux considérés comme indissociables du développement économique et social – les transports sont à la fois :

- le symbole constamment réaffirmé de la liberté et de la modernité des sociétés ;
- un enjeu industriel majeur pour les très puissantes multinationales de l'automobile, de l'aviation, de la construction navale et du pétrole, qui représentent à elles seules une part considérable de la richesse globale des entreprises ;
- un enjeu pour les États, aussi bien par l'activité et l'emploi qu'ils génèrent que par leurs répercussions sur l'aménagement des territoires ;
- un défi financier, en raison des contraintes d'investissements structurels qu'ils engendrent ;
- une source d'externalités négatives en termes de santé, d'accidentologie et d'environnement local ;
- un enjeu majeur pour la planète, avec les menaces d'épuisement du pétrole et du réchauffement climatique dont ils sont largement responsables.

Mais le modèle du « toujours plus loin, toujours plus vite », étroitement lié à la logique du système économique et énergétique actuel, est en train de trouver ses propres limites. Les propos du Secrétaire exécutif de la Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques (UNFCCC ou « Convention climat ») en mai 2008 à l'occasion du Forum international de Leipzig en témoignent. Yvo de Boer n'a pas hésité à interpeller les acteurs des trans-

ports : « Les tendances actuelles du secteur des transports vont toutes à l'encontre de ce que la science nous dit de faire, les politiques actuelles en matière de transport sont totalement inadaptées... Les nouvelles technologies seront certainement utiles, mais on ne peut attendre tout bonnement des solutions magiques ».

La question des transports mondiaux recouvre naturellement des réalités très diverses selon les modes de transport, les régions et l'état de développement des économies. Il est cependant difficile de trouver dans la littérature une expertise et des analyses à la fois indépendantes, précises et accessibles : les visions techniques, industrielles et sociales partielles prédominent. Celles-ci sont sous-tendues par des habitudes de pensée occidentales rarement remises en cause ou bien émanent de spécialistes très compétents mais pointus, dont l'analyse a du mal à dégager l'essentiel de l'accessoire au niveau planétaire. Comme le disait M. de Boer au même Forum, « il n'existe à l'heure actuelle aucun ensemble d'indicateurs reconnus ».

L'association Global Chance, qui rassemble des généralistes sur les questions d'énergie et d'environnement, a voulu dresser un état des lieux des transports mondiaux et de leur évolution récente, pour mettre en perspective la question des transports dans les préoccupations actuelles autour des ressources énergétiques et de l'environnement global. Globalement, nous verrons que la poursuite des tendances et des politiques actuelles nous conduit droit dans le mur.

L'analyse portera également sur les marges de manœuvre liées à la pénétration de technologies nouvelles dans les différents modes de transport face aux défis de sécurité énergétique et de réchauffement climatique. Malgré des vertus indéniables, une rapide pénétration des divers progrès tech-

niques raisonnablement vraisemblable est très insuffisante pour compenser à elle seule une croissance non contrôlée des transports de passagers et de marchandises telle qu'elle ressort de la plupart des scénarios prévisionnels.

Les auteurs tenteront ensuite de rebattre les cartes en proposant des pistes nouvelles susceptibles de modifier le

paradigme dans lequel nous sommes aujourd'hui enfermés : transferts de la route et de l'aérien vers le rail et de la voiture vers les transports en commun, relocalisation de la production des biens, circuit court du producteur au consommateur, etc. Des exemples concrets viennent illustrer les différents propos, au travers d'articles consacrés à des pays du Sud ou du Nord.

1. Constats, tendances et marges de manœuvre

1.1 État des lieux²

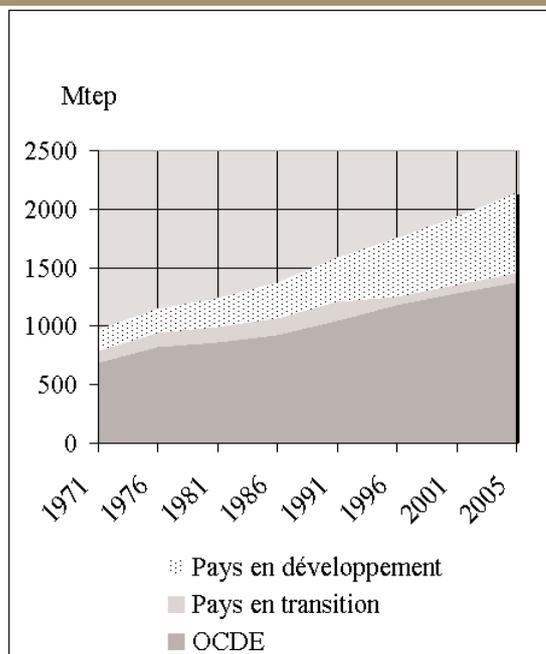
La crise pétrolière que nous connaissons et les préoccupations liées au réchauffement climatique ont replacé la question des transports au centre de nos réflexions. La très forte dépendance au pétrole qui résulte de leur croissance rapide au cours des 30 dernières années et ses conséquences sur les émissions de gaz carbonique (CO₂) inquiètent la plupart des pays et ce d'autant plus que l'histoire des dernières décennies révèle le lien étroit entre le développement économique et la croissance de la mobilité des personnes et des biens. Dans ces conditions, les taux de croissance élevés de grands pays comme la Chine, l'Inde, le Brésil ou la Russie et la progression concomitante des transports apparaissent bien souvent comme autant de menaces pour la sécurité énergétique des pays actuellement les plus développés et pour le climat de la planète.

Un premier état des lieux s'impose pour mettre au jour les réalités très diverses que recouvre cette question des transports mondiaux, selon les modes, les régions et l'état de développement des économies.

Consommations énergétiques

En 34 ans, la consommation d'énergie finale des transports mondiaux a été multipliée par un facteur 2,2 (graphique 1), avec des situations contrastées selon les régions : une croissance soutenue et assez continue dans les pays de l'OCDE (2 % par an), qui représentent encore 64 % de la consommation mondiale de transport (contre 71 % en 1971) ; une chute brutale autour de 1990 dans les pays en transition, qui témoigne de la profonde crise économique subie par la Russie, suivie d'une lente remontée depuis 1996 ; et une explosion dans les pays en développement,

Graphique 1. Consommation totale d'énergie finale des transports mondiaux



Note : Mtep : millions de tonnes équivalent pétrole.
Source : Enerdata.

² D'après Dessus, B. et P. Girard (2009), « L'état des lieux », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

avec un taux de croissance annuel de 4 % sur la période et une participation de 32 % au bilan final en 2005 (contre 19 % en 1971).

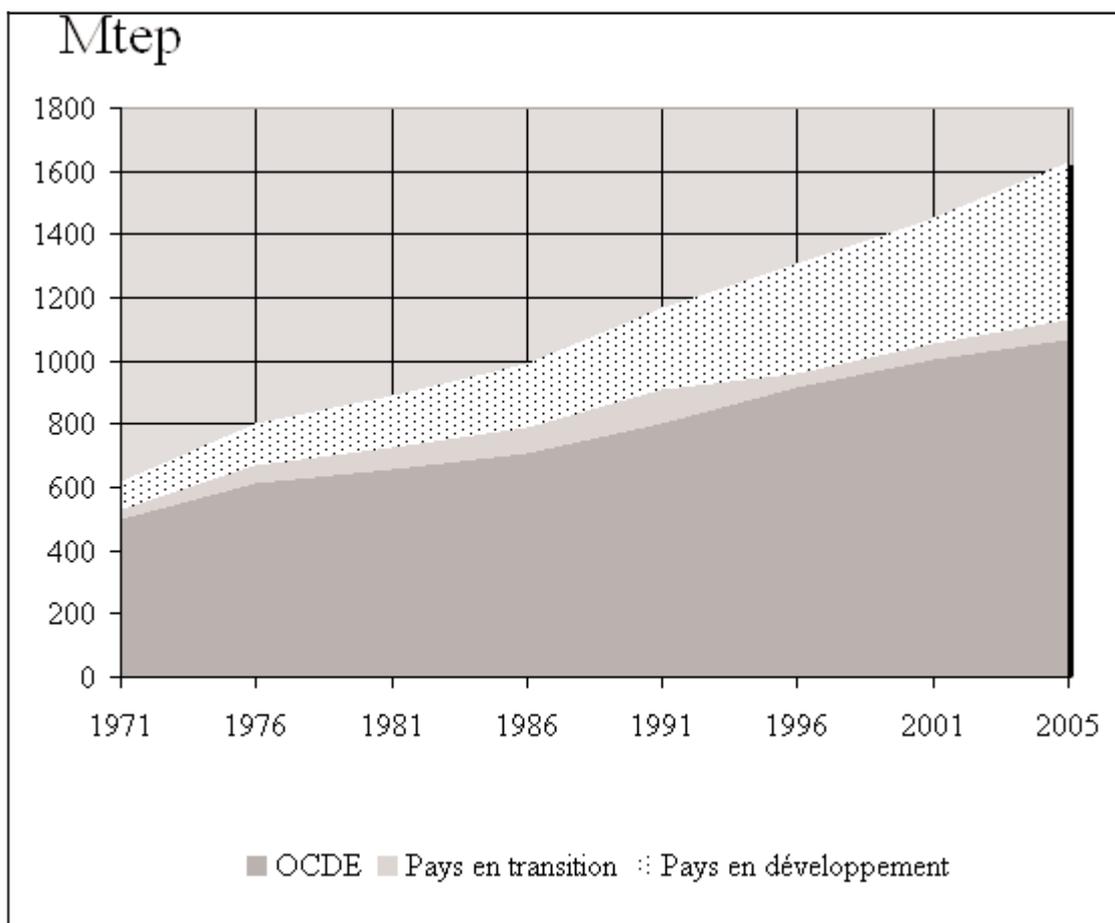
La déclinaison de cette consommation par modes de transport, qui fait l'objet des graphiques 2 à 6, est riche d'enseignement.

Transports routiers

Le principal poste de consommation est le transport routier (marchandises et passagers), avec 1 630 Mtep. À 97 % pri-

sonnier des carburants pétroliers, le transport routier renforce sa prééminence de 12 points dans le bilan, avec 76 % du total en 2005 contre 64 % en 1971. Cela correspond à une multiplication des consommations par 2,6 au niveau mondial : 2,2 dans les pays de l'OCDE mais 5,6 dans les pays en développement. Dans les pays en transition, la forte croissance enregistrée entre 1971 et la fin des années 1980 a été suivie d'un repli d'un facteur 2 après la chute du mur de Berlin puis d'une lente remontée. Au niveau mondial, la consommation des transports routiers de marchandises représente 35 % du total des transports routiers en 2004.

Graphique 2. Consommation d'énergie finale des transports routiers mondiaux



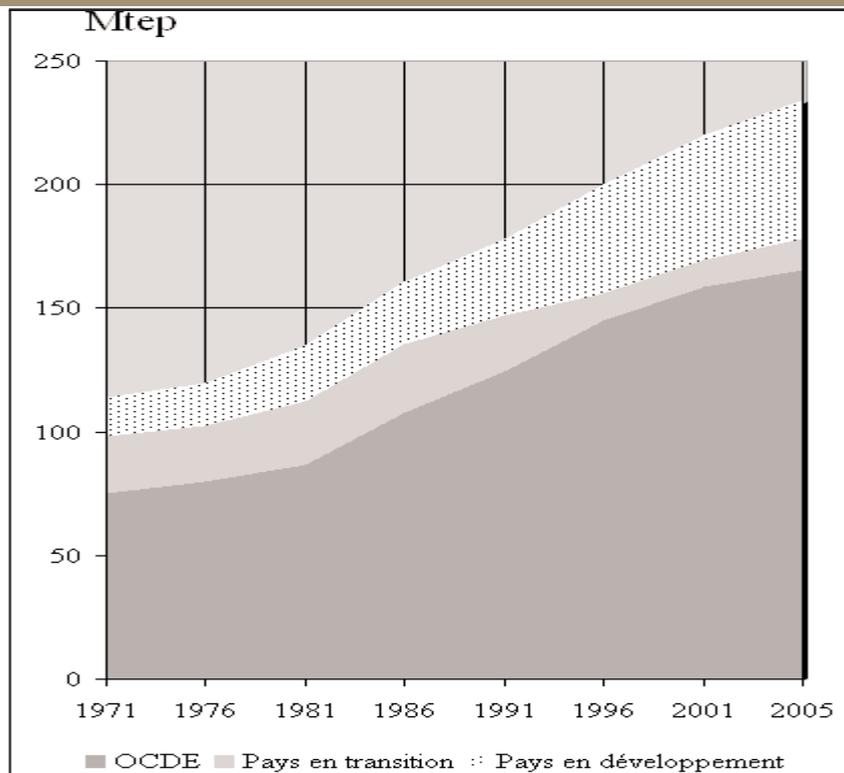
Source : Enerdata.

Transports aériens

Le deuxième poste de consommation mondiale, lui aussi totalement prisonnier des produits pétroliers, est celui des transports aériens. Il se classe cependant loin derrière la route, avec 235 Mtep (11 % du bilan final) contre 113 Mtep en 1971. Après une période de croissance modérée jus-

qu'au début des années 1980, à cause des crises pétrolières, la consommation mondiale connaît une croissance très rapide jusqu'en 2000 (3 %) et un peu plus modérée depuis le début du siècle (2 % par an). La part des pays en développement, encore marginale dans le bilan en 1971 (14 %), augmente rapidement (24 % en 2005).

Graphique 3. Consommation énergétique finale du transport aérien mondial



Source : Enerdata.

Transports ferroviaires

Les transports ferroviaires sont le seul mode de transport dont la consommation mondiale diminue très sensiblement sur la période, non seulement en valeur relative (de 8 % en 1971 à moins de 3 % en 2005) mais aussi en valeur absolue (de 77 Mtep en 1971 à 61 Mtep en 2005). Cela s'explique par une diminution de 25 % pour l'OCDE en première période, suivie d'une stabilisation depuis 1986, par un effondrement dans les pays en transition (dont le trafic ferroviaire était très important du temps de l'URSS) et par une croissance de 40 % dans les pays en développement. Les disparités au sein de ces entités

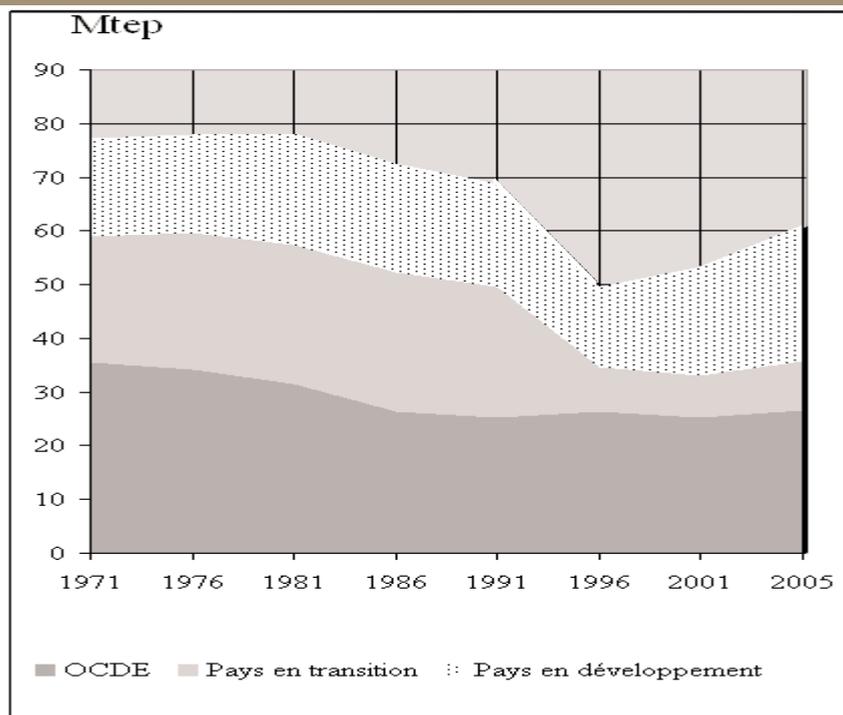
sont pourtant très fortes : dans les pays de l'OCDE par exemple, les États-Unis – à forte tradition de transport ferroviaire de marchandises – augmentent leur consommation de 10 % alors qu'elle décroît en Europe de 40 %. Dans les pays en développement, qui sont loin de tous disposer de réseaux ferroviaires, c'est la Chine qui tire la consommation du secteur, alors que celle-ci s'est effondrée en Inde pendant toute la première période avant de se redresser dans la dernière décennie (tableau 1). En 2005, la Chine représente à elle seule 60 % des consommations d'énergie des transports ferroviaires de l'ensemble des pays en développement.

Tableau 1. Évolution des consommations d'énergie finale des transports ferroviaires en Inde et en Chine, 1971-2005 (en Mtep)

	1971	1976	1981	1986	1991	1996	2001	2005
Chine	6,4	8,1	11,5	12,4	12,9	10,4	14,8	15,0
Inde	8,7	7,6	6,0	5,0	4,1	1,7	2,4	2,6

Source : Enerdata.

Graphique 4. Consommation d'énergie finale du transport ferroviaire mondial



Source : Enerdata.

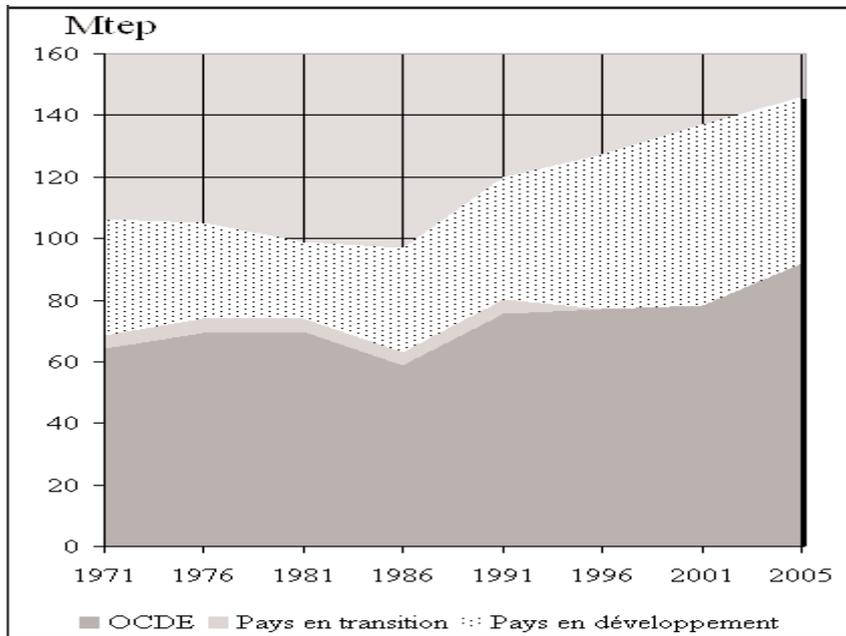
Transports maritimes internationaux et cabotage

Ces deux postes sont en croissance sensible malgré la chute spectaculaire constatée depuis le début des années 1990 dans les pays en transition. Tirées par la mondialisation des échanges, les consommations de transport maritime augmentent fortement depuis 1985 (60 %) pour l'OCDE et les pays en développement, après une chute au début des années 1980. L'Asie du Sud-Est, avec l'Inde, et plus encore la Chine en sont les premières responsables. Les consommations du cabotage, stables pour les pays de l'OCDE et devenues totalement marginales pour les pays en transition, sont tirées par les pays en développement où

elles explosent littéralement (une multiplication par 6), en particulier en Chine (9 Mtep en 2005 contre 0,2 en 1971 !). Les transports par bateau, tous modes confondus, sont complètement dépendants du pétrole et atteignent en 2005 une consommation finale de 206 Mtep, juste derrière le transport aérien.

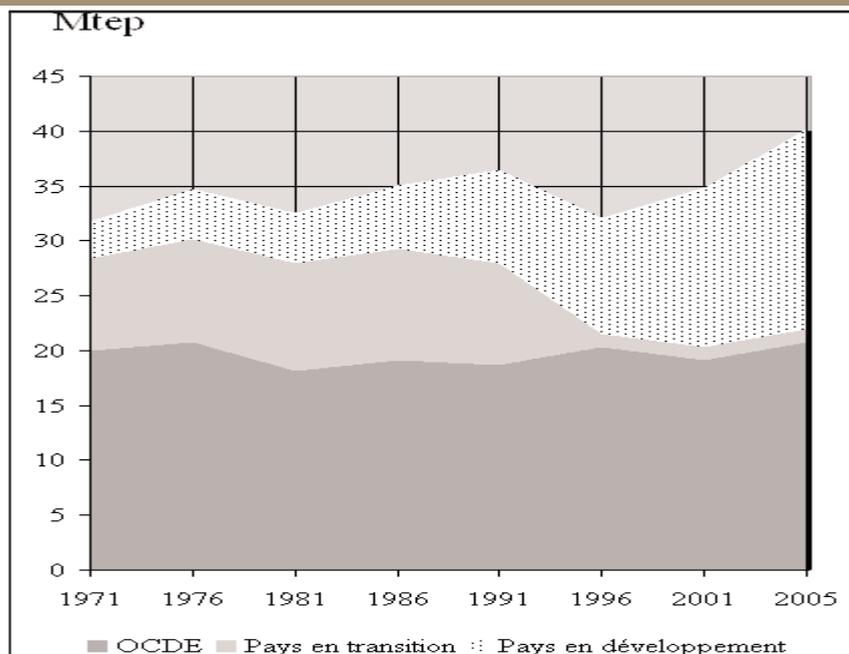
Au total, les trois modes de transport très majoritairement dépendants du pétrole – routier, aérien et maritime – atteignent une consommation de 2 068 Mtep, soit 97 % du total de l'énergie finale consommée par les transports.

Graphique 5. Consommation d'énergie finale des transports maritimes mondiaux



Source : Enerdata.

Graphique 6. Consommation d'énergie finale du cabotage mondial



Source : Enerdata.

Les émissions de gaz à effet de serre

La consommation de pétrole des transports mondiaux (et, beaucoup plus marginalement, d'électricité produite à partir de combustibles fossiles pour la traction ferroviaire) provoque actuellement des émissions de gaz carbonique de l'ordre de 7 000 M tonnes (Mt) – soit 27 % de l'ensemble des émissions de CO₂ du système énergétique mondial. Ces émissions ont été en croissance constante depuis 30 ans : en 1971, elles représentaient moins de 20 % de l'ensemble des émissions de CO₂ pour 23 % en 1990. Mais les transports contribuent aussi aux émissions de gaz à effet de serre (GES), sous la forme d'émissions de méthane et, beaucoup plus marginalement, de protoxyde d'azote. On peut en effet leur attribuer une part de l'ordre de 60 % des émissions fugitives de la chaîne d'approvisionnement, de raffinage et de stockage du pétrole, estimées à 40 Mt de méthane par an³, soit 25 Mt.

Avec un potentiel de réchauffement global (PRG) de 21 en

2108, la contribution supplémentaire atteint 525 Mt d'équivalent CO₂. Mais si l'on s'intéresse aux conséquences à plus court terme (en 2030 par exemple), les émissions équivalentes passent à plus de 1 800 Mt d'équivalent CO₂. Au total, en tenant compte aussi des émissions de protoxyde d'azote, les émissions des transports mondiaux sont équivalentes à 9 000 Mt de CO₂ à l'horizon 2030 et à 7 700 Mt de CO₂ à l'horizon 2110. Derrière ces chiffres se cachent des évolutions contrastées de trafics et de progrès technique pour chaque mode de transport et chaque région du monde.

L'évolution des différents modes de transport

Les transports routiers

Le tableau 2 montre la très forte inégalité d'accès aux divers transports routiers des différents pays du monde : le nombre de véhicules par habitant dans les pays industrialisés les plus riches et celui de la plupart des pays les moins avancés correspond environ à un facteur 1 000.

Tableau 2. Évolution du taux d'équipement en voitures particulières et en véhicules, 1971-2007

Véhicules/1 000 habitants	1971	2007
Union européenne	380	593
États-Unis	708	824
République de Corée	25	331
Japon	375	594
Argentine	173	196
Brésil	86	127
Chine	3	28
Inde	3	13
Nigeria	2	7
Mali	1	4
Bangladesh, Tanzanie, Arménie, Éthiopie, etc.	n.d.	< 1

Source : Comité des constructeurs français d'automobiles (CCFA), « Densité automobile par pays en 2007 », www.ccfa.fr et Géopopulation, www.geopopulation.com

³ Dessus, B. et B. Laponche (2008), *Réduire le méthane : l'autre défi du changement climatique*, Document de travail n° 68, Agence Française de Développement, Paris (www.afd.fr).

La croissance significative du nombre de véhicules par habitant (souvent d'un facteur 3 ou 4 dans les pays les plus pauvres) masque une part de la réalité. Dans la plupart des pays les plus pauvres en effet, cette augmentation est loin d'être suffisante pour éviter l'exclusion d'un nombre grandissant d'habitants de ce type de transport, du fait de la croissance démographique. Au Nigeria par exemple, alors que la population en 1985 atteignait 75 millions d'habitants et le parc 150 000 véhicules, les chiffres sont passés en 2007 à respectivement 130 millions d'habitants et 875 000 véhicules. En faisant l'hypothèse qu'un véhicule particulier permet l'accès de dix personnes en moyenne au service automobile, cet accès est passé de 1,5 à 9 millions de personnes. Les exclus du service automobile sont donc devenus plus nombreux sur la période, de 73,5 à 121 millions de personnes.

Les voitures particulières et les petits utilitaires

Alors que le parc mondial de voitures particulières (VP) et de petits utilitaires (PU) ne dépassait pas 100 millions d'unités en 1955, il atteignait déjà 375 millions en 1990 et près de 900 millions en 2005. Cela correspond à une progression moyenne, et assez constante, de 4 % par an au cours

de cette période, bien supérieure à celle de la population mondiale (1,7 %/an).

Si les taux d'équipement par habitant atteignent des niveaux très élevés dans les pays riches (82 % aux États-Unis et presque 60 % en Europe et au Japon), ils restent encore très faibles dans les pays émergents (12,3 % au Brésil, 2,8 % en Chine et 1,3 % en Inde), malgré une très rapide progression (près de 50 millions d'immatriculations en 2008 contre 28 millions en 1980).

Amélioration des performances des véhicules mais fortes disparités régionales

Le tableau 3 montre que les progrès très sensibles d'efficacité énergétique des voitures particulières ont été en partie annulés par la montée en puissance et en poids des parcs automobiles. Globalement, le gain d'efficacité est de l'ordre de 20 % en 20 ans. On constate par ailleurs une différence encore importante entre les consommations moyennes des parcs automobiles européens et japonais et ceux de l'Amérique du Nord ou des pays en développement (de 30 à 50 %).

Tableau 3. Évolution des consommations spécifiques moyennes selon les régions, 1985-2004 (en litres pour 100 km)

	1985	2004
OCDE	11,5	9,3
Amérique du Nord,	13	11,6
Europe	10	7,7
et Pacifique	12	8,6
Pays en transition	12	10
Pays en développement	12,5	10,3
Chine	12	11,3
Inde	12	10,1
Brésil	13	9,1

Source : Les Cahiers du CLIP (1993), *L'auto-condamnation : un exercice de prospective mondiale pour l'automobile* et Agence internationale de l'énergie (2006), *Energy Outlook*.

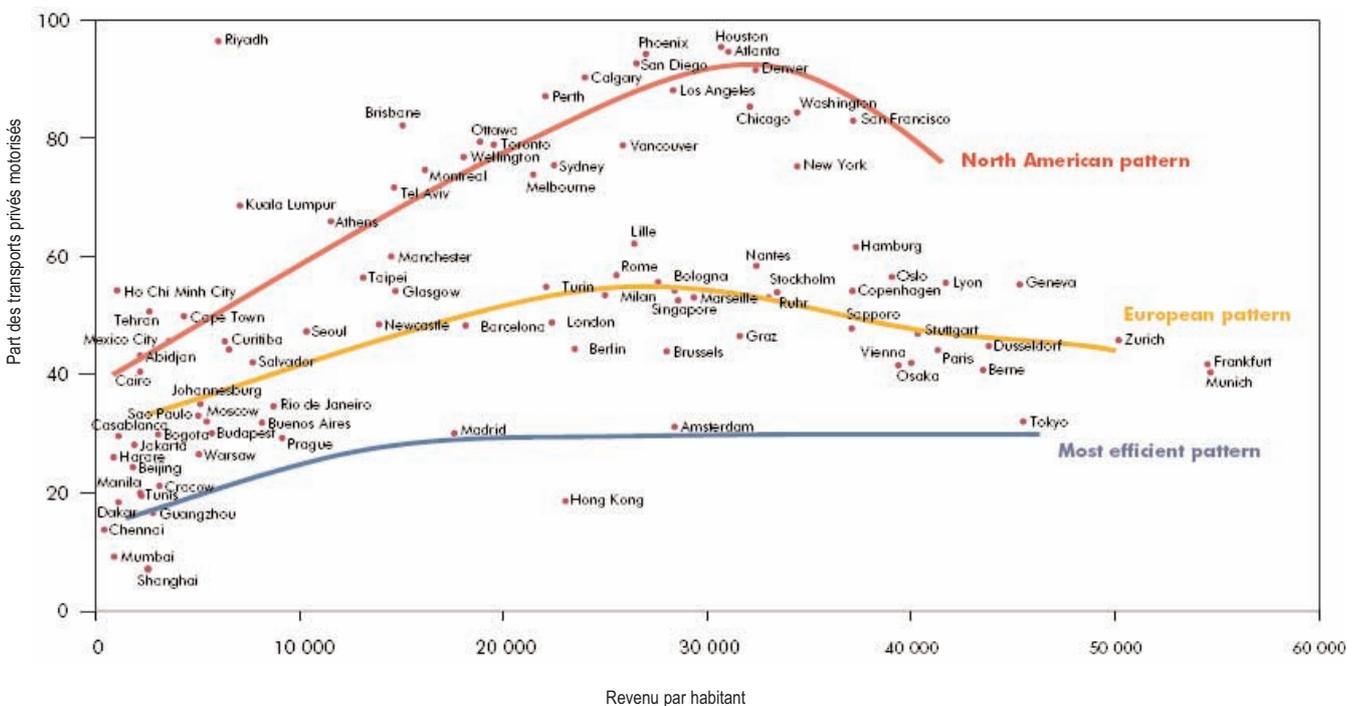
En même temps, la généralisation de la circulation automobile dans les villes où les conditions sont particulièrement défavorables à l'usage de la voiture engendre une dégradation sensible des performances réelles des véhicules. Les graphiques 7 et 8 sont à cet égard éloquentes. Le graphique 7, qui indique la part des trajets effectués en véhicule individuel en fonction de la richesse des habitants des villes, met en évidence trois modèles très divergents :

- le modèle américain, caractérisé par une croissance très rapide du transport automobile jusqu'à un PIB/habitant de l'ordre de 30 000 dollars (USD) et des taux supérieurs

à 90 %, puis une légère décroissance au-delà d'un PIB/habitant de 30 000 USD ;

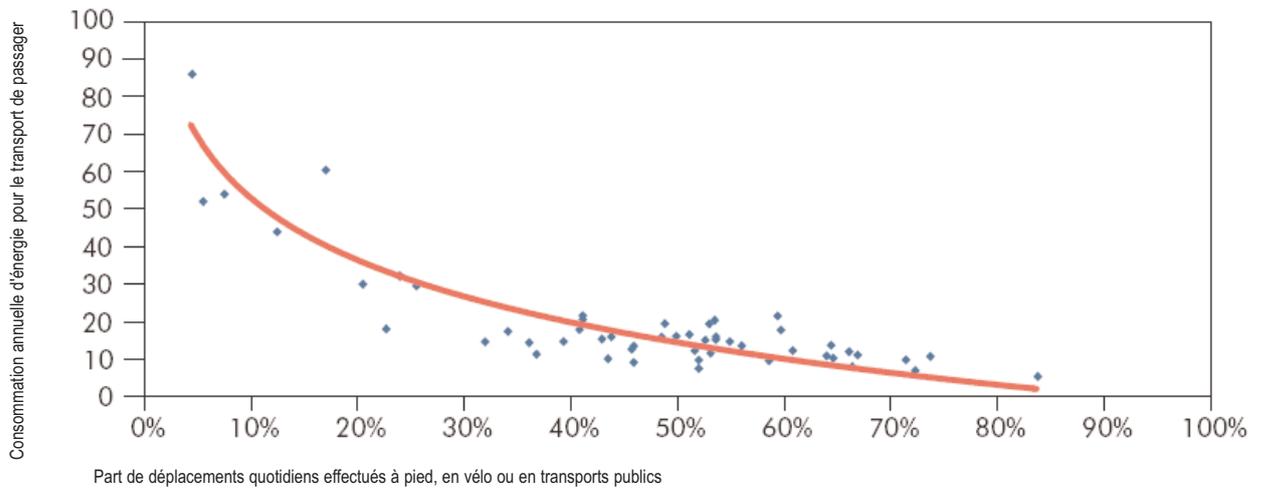
- le modèle européen, avec une saturation du taux de transport en voiture qui se situe aussi vers un PIB/habitant de 30 000 USD mais à une valeur de l'ordre de 55 %, avec une décroissance ensuite vers 50 % aux PIB les plus élevés ;
- le modèle le plus efficace, où la saturation du taux de trajets en voiture se produit pour des PIB/habitant nettement plus faibles (20 000 USD) à une valeur de l'ordre de 35 %. C'est le cas de villes comme Madrid, Amsterdam ou Tokyo.

Graphique 7. Trois modèles contrastés de déplacement urbain en fonction de la richesse des habitants



Source : Energy Technology Perspectives© OECD/IEA, 2008, figure 15.11, p. 448.

Graphique 8. Consommation d'énergie des transports en ville en fonction du taux de déplacement, hors véhicule particulier



Source : Energy Technology Perspectives© OECD/IEA, 2008, figure 15.10, p. 447.

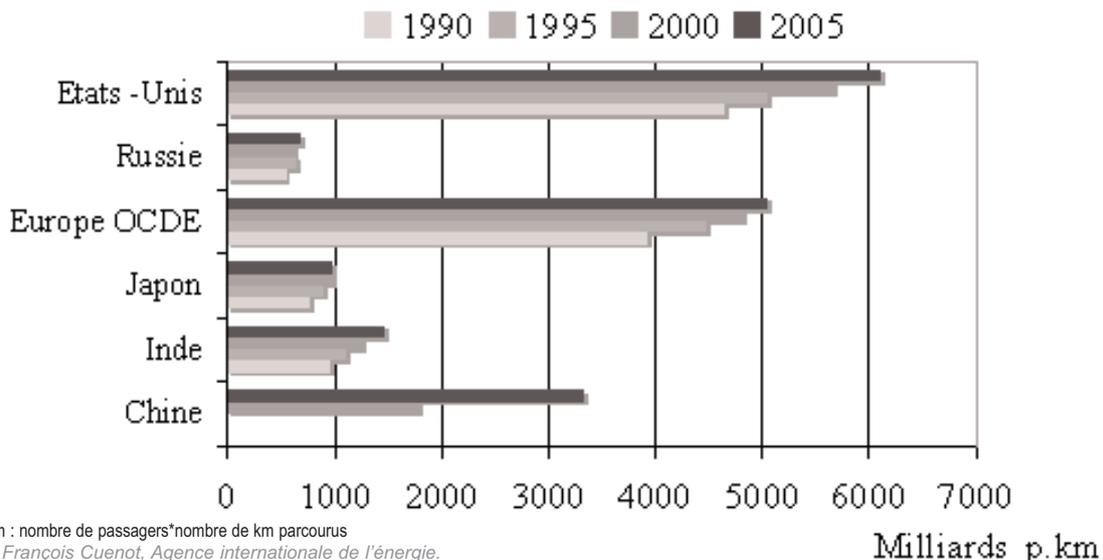
Le graphique 8 montre l'évolution de la consommation annuelle d'énergie d'un citoyen moyen, en fonction du taux de trajets quotidiens effectués en transport en commun, à bicyclette ou à pied. Dans les villes américaines comme Atlanta ou Houston, où 95 % des trajets sont faits en voiture individuelle, la consommation d'énergie est sept ou huit fois supérieure à celle de villes comme Madrid, Amsterdam, Casablanca, Buenos Aires ou Tokyo (où 30 à 35 % des trajets ont lieu en voiture) et quatre fois supérieure à celle de villes comme Mexico ou Londres (où 50 % des trajets s'effectuent en voiture).

Augmentation des trafics dans tous les pays du monde, avec une inflexion très récente dans les pays riches

Les statistiques d'évolution du trafic routier de passagers ne sont ni complètes ni uniformément fiables. Il n'est donc pas possible d'estimer précisément cette évolution par grande région du monde. Mais l'exemple d'un certain nombre de grands pays permet de dégager les tendances principales depuis une quinzaine d'années.

Les graphiques 9 et 10 retracent l'évolution du trafic de l'ensemble des transports routiers de passagers depuis 1990. Ils couvrent donc, en plus du trafic automobile, celui des deux (ou trois) roues et celui des cars et des bus.

Graphique 9. Évolution des trafics routiers de passagers, 1990-2005 (en milliards de passagers.km)



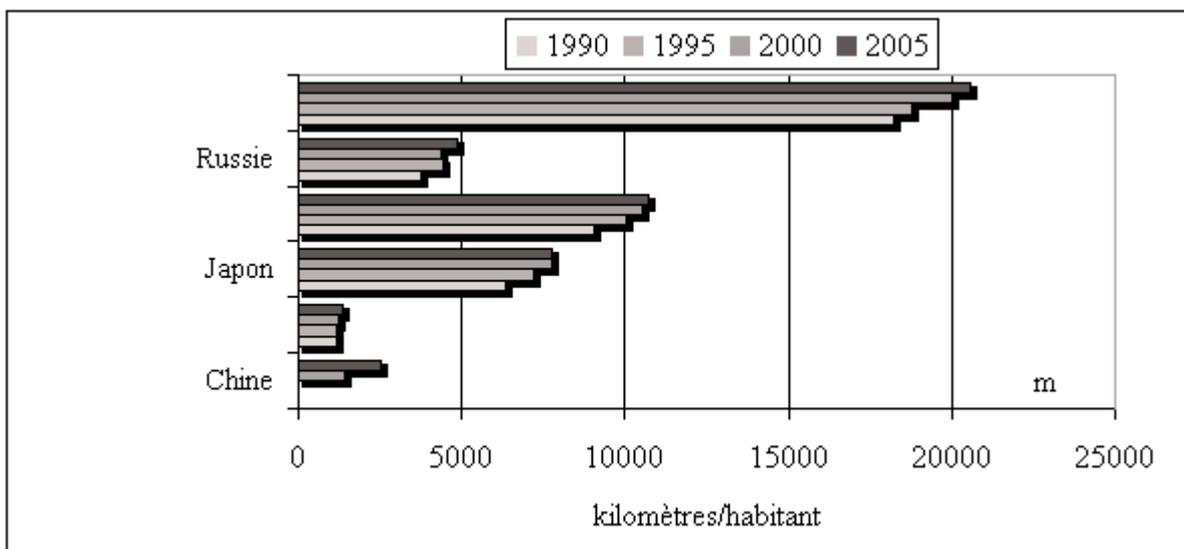
Partout, la progression du trafic routier de passagers est très étroitement liée à la croissance du PIB

Dans les pays de l'OCDE, l'augmentation du trafic reste vive entre 1990 et 2005 (29 % en Europe, 30 % aux États-Unis et 27 % au Japon). Elle explose dans les grands pays émergents (en Inde, avec une croissance de 57 % en 15 ans et en Chine, avec une croissance de 86 % en 5 ans, supérieure à la croissance du PIB au cours de la même période). En valeur absolue, la prééminence traditionnelle des États-Unis et de l'Europe dans les trafics routiers est fortement entamée par celle des pays émergents. En 2005, la Chine et l'Inde réunies rattrapent quasiment le trafic européen. Le graphique 10 permet d'apprécier l'évolution des trajets annuels par habitant effectués par la route dans ces mêmes pays.

Aux États-Unis, en Europe et au Japon, l'augmentation de la mobilité routière par habitant est encore significative au cours de ces 15 dernières années (respectivement 13, 19 et 22 %). Elle atteint 30 % en Russie, 19 % en Inde et 80 % en Chine – soit un rapport de 10 à 15 entre les pays les plus riches et les pays émergents et probablement dix fois plus important encore avec la plupart des pays les moins avancés.

Dans la période post-2005, une inflexion s'est produite en Europe et aux États-Unis en réponse à la flambée des prix du pétrole. Mais il est trop tôt pour en inférer des tendances à plus long terme, surtout dans un environnement de fluctuation rapide des prix pétroliers, au gré de la conjoncture internationale.

Graphique 10. Évolution du nombre de km effectués par la route par habitant et par an, 1990-2005



Source : François Cuenot, Agence internationale de l'énergie.

Tableau 4. Répartition régionale du parc de véhicules de transport de marchandises et de transport collectif (en pourcentage)

Régions	Part du parc
Amérique du Nord	46
Amérique du Sud	4
Europe de l'Ouest	10
Europe de l'Est	4
Japon	9
Asie (hors Japon)	16
Moyen-Orient	6
Afrique	5
dont :	
Afrique du Nord	(2)
Afrique du Sud	(2)
Afrique subsaharienne	(1)
Total	100

Source : www.sasi.group.shef.ac.uk/worldmapper

Le transport routier de marchandises et les transports collectifs (cars et bus)

Le parc mondial de véhicules de transport de marchandises et de transport collectif dépasse 200 millions d'unités en 2008. Près de la moitié de ce parc est concentrée aux États-Unis.

Là encore, les disparités d'équipement sont considérables : le taux est de 30 véhicules pour 100 habitants aux États-Unis, de 14 au Japon et de 6 en Europe de l'Ouest, mais il est inférieur à 1 pour 100 habitants en Afrique subsaharienne ou au Bangladesh.

Le trafic routier de marchandises affiche une croissance importante étroitement liée à la progression du PIB

L'étude sur les transports routiers de marchandises

réalisée dans les années 1990 par le Club d'ingénierie prospective (CLIP, 1993) avait mis en évidence une très forte croissance de ce mode de transport dans la plupart des pays depuis 1965, nettement corrélée à l'augmentation du PIB. Dans tous les cas, la croissance observée pendant la période 1965-1988 était au moins égale à celle du PIB des pays concernés : une élasticité au PIB de 1,67 pour l'Europe des 12, de 1,01 pour les États-Unis, de plus de 2 en Inde et de 1,63 pour la Chine (de 1980 à 1990).

Comme pour le trafic routier de passagers, les séries dont on dispose aujourd'hui ne permettent pas de décrire de façon fiable l'évolution mondiale depuis 1990. Cependant, le tableau 5 fait apparaître une liaison encore forte de la croissance du trafic avec celle des PIB.

Tableau 5. Évolution du trafic routier de marchandises, 1990-2005

	1990	1995	2000	2005	Taux de croissance du transport routier	Taux de croissance du PIB
	(en milliards t.km)				(en pourcentage)	
Canada	247	283	348	346	2,5	2,7
Chine	0	0	439	751	11	9
Japon	779	904	967	916	1	1,4
Europe/OCDE		1 370	1 591	1 705	2	1,8
Russie	258	220	197	223	-0,7	-0,6
États-Unis	1 755	2 154	2 490	2 693	2,3	3

Source : François Cuenot, Agence internationale de l'énergie.

Dans les pays occidentaux et en transition, la croissance du trafic, encore significative, reste étroitement liée à la croissance du PIB avec une élasticité autour de 1 (0,71 au Japon, 0,77 aux États-Unis, 1,1 en Europe et au Canada et 1,15 en Russie). En Chine, le trafic augmente au rythme de 11 % entre 2000 et 2005, soit deux points de plus que la croissance économique.

Quand on rapproche le tableau 5 du tableau 3 sur les consommations d'énergie, on ne constate qu'une lente amélioration de l'efficacité énergétique moyenne (à un rythme de l'ordre de 0,7 % par an), malgré les progrès techniques sur les moteurs. Comme pour les véhicules particuliers, une partie des gains d'efficacité a été annulée par la montée en puissance des motorisations.

Les consommations de carburant sont très contrastées selon les pays : 110 gep/t.km⁴ au Japon, un peu moins de 80 en France et de l'ordre de 45 à 50 en Allemagne et en Australie. Ces taux reflètent à la fois des différences de taille moyenne des camions, d'âge moyen des véhicules des parcs et de nature des trajets effectués (zones urbaines, routes, autoroutes)⁵.

Les transports ferroviaires

Le trafic de passagers connaît une croissance mondiale sensible dans la dernière période avec des situations très contrastées selon les pays pour un mode qui reste marginal au niveau mondial. Le tableau 6 permet de prendre conscience de la diversité des situations et des évolutions depuis 1970.

L'Union européenne (UE) ou le Japon voient leur trafic augmenter de 35 % sur la période, alors que les pays de l'ancien bloc de l'Est connaissent une nette décroissance sur la même période. Les situations au sein même de l'UE sont très contrastées : se côtoient des pays comme la France, où le trafic a augmenté de 90 % sur la période, des pays comme l'Espagne ou l'Italie, qui ont connu des croissances plus modestes (de l'ordre de 50 %) et des pays comme la Pologne, où le trafic ferroviaire s'est effondré d'un facteur 2. Aux États-Unis, le trafic est très modeste (40 fois plus faible qu'en Europe) et continue à décroître.

Au niveau mondial, on assiste globalement depuis 2002 à un regain d'intérêt pour le transport ferroviaire (20 % en 5 ans) (tableau 7).

Tableau 6. Trafic ferroviaire de passagers, 1970-2006 (en milliards p.km)

	1970	1990	2000	2005	2006
États-Unis	9,9	9,7	8,8	8,7	n.d.
Japon	288,8	387,5	384,3	391,2	393,7
Russie	191,1	274,4	167,1	172,2	177,6
Ukraine	n.d.	82,0	51,8	52,7	53,4
Union européenne (27)	277,2	344,9	348,1	359,8	374,4
Pologne	36,9	50,4	19,7	18,2	18,6
Italie	32,5	44,7	47,1	46,1	48,2
Belgique	8,3	6,5	7,8	9,2	9,6
France	41,0	63,7	69,9	76,5	78,8
Espagne	15,0	16,7	20,1	21,6	22,1

Source : statistiques 2007 de l'Union internationale des chemins de fer (UIC), www.uic.asso.fr

⁴ Gep/T.km : gramme équivalent pétrole par tonne transportée sur un kilomètre.

⁵ Agence internationale de l'énergie (2008), *Energy Technology Perspectives 2008*, Paris.

Tableau 7. Évolution du trafic ferroviaire de passagers entre 2002 et 2007 (en milliards p.km)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Europe*	596 087	599 438	593 800	621 400	633 800	642 000
Afrique	49 069	49 324	62 700	62 800	63 000	63 400
Amérique	17 959	18 854	11 300	11 100	11 200	11 300
Asie et Océanie	1 344 000	1 348 000	1 481 600	1 559 000	1 656 800	1 751 600
Monde (estimation)	2 007 000	2 016 000	2 149 400	2 254 300	2 364 800	2 468 300

* Turquie et Russie comprises.

Source : statistiques 2007 de l'Union internationale des chemins de fer (UIC), www.uic.asso.fr

Avec 71 % du trafic, l'Asie et l'Océanie dominent très largement. Les premiers responsables de la progression en 2007 sont l'Inde et la Chine, avec un trafic respectif de 695 et 690 giga p.km et une croissance respective annuelle de 12 et 9 % (UIC, 2007). L'Europe (avec la Turquie et la Russie) y contribue pour 25,4 %, contre à peine 3 % pour l'Afrique et un taux totalement marginal (< de 1 %) pour l'Amérique.

Le trafic ferroviaire par habitant varie également très largement d'une région à l'autre (tableau 8).

Tableau 8 : Trafic ferroviaire par habitant en 2007 (en km/an)

	2007
Europe des 27	1 200
Inde	620
Chine	530
États-Unis	25
Afrique	7

Source : Calculs de l'auteur.

Globalement, le transport ferroviaire mondial de passagers reste marginal en 2007 : il ne représente en effet que 8 % du trafic mondial de passagers, bien loin derrière le trafic routier. Dès 1995, il était également devancé par le trafic aérien.

Un trafic ferroviaire de marchandises en augmentation, qui ne parvient pourtant pas à maintenir sa part dans le trafic mondial de marchandises

On retrouve des caractéristiques analogues pour le transport ferroviaire de marchandises, avec une diversité considérable de situations et d'évolution du trafic (tableau 9).

Alors que le trafic de marchandises des États-Unis, très important (au contraire de son trafic passagers), est multiplié par deux depuis 1990, celui de l'Europe accuse une chute spectaculaire d'un facteur 2,1 depuis cette époque : si le trafic de l'Italie progresse légèrement (de 10 %) depuis 1970, celui de la France et de la Pologne régresse de plus de 50 %.

Tableau 9. Évolution du trafic ferroviaire de marchandises, 1970-2006 (en milliards t.km)

	1970	1990	2000	2005	2006
États-Unis	n.d.	1 554,1	2 257,6	2 531,3	2 900
Japon	63,4	27,2	22,1	22,8	23,1
Russie	1 672	2 522,9	1 373,2	1 858,1	1 950,8
UE (27)	n.d.	488,2	172,8	224,0	237,9
Pologne	99,3	83,5	54,0	50,0	53,6
Italie	18,1	21,2	25,8	22,2	20,9
Belgique	7,8	8,4	7,7	8,0	8,6
France	67,6	49,7	55,4	39,7	40,8
Espagne	10,3	11,6	12,2	11,6	11,6

Source : statistiques 2007 de l'UIC, www.uic.asso.fr

Tableau 10. Évolution du trafic ferroviaire de marchandises selon les régions, 2002-2007 (en milliards t.km)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Europe*	2 141,3	2 339,2	2 500,6	2 532,7	2 653,6	2 797,5
Afrique	130,6	130,3	128,8	130,8	131,3	129,1
Amérique	2 732,9	2 827,6	3 050,3	3 371,4	3 503,2	3 498,1
Asie et Océanie	2 148,0	2 315,2	2 544,7	2 709,5	2 866,5	3 061,0
Monde (estimation)	7 152,8	7 612,3	8 224,4	8 744,4	9 154,6	9 485,7

* Turquie et Russie comprises.

Source : statistiques 2007 de l'UIC, www.uic.asso.fr

On constate une vive reprise, de 6 % par an, au niveau mondial. L'Amérique vient en tête, avec 37 % du trafic (dont plus de 80 % aux États-Unis), suivie de l'Asie-Océanie, avec 32 % (avec une très forte prééminence de la Chine [73 % pour une croissance annuelle de 7 %] et de l'Inde [16 %]). L'Europe (Communauté des États indépendants [CEI] et Turquie comprises) compte pour près de 30 % du total, avec une très forte prééminence de la Russie (75 %). Une fois encore, l'Afrique affiche un trafic ferroviaire marginal (1,4 % du total mondial).

Un dernier indicateur utile de l'évolution de l'ensemble des transports ferroviaires est l'évolution par région de la longueur des réseaux ferrés.

La longueur totale des réseaux évolue peu. On peut en revanche observer que le taux d'utilisation en 2007 varie fortement d'une région à l'autre :

- en Europe, pour quelque 350 000 km de réseaux, on observe un trafic de marchandises de 2 800 giga t.km et un trafic de passagers de 640 giga p.km ;
- en Asie, pour environ 215 000 km de réseaux, le trafic de marchandises est de 3 000 giga t.km et le trafic de pas-

sagers de 1 750 giga p.km, soit un taux d'utilisation au moins deux fois supérieur à celui de l'Europe ;

- en Amérique, le taux d'utilisation est nettement plus faible avec, pour quelque 380 000 km de réseaux, un trafic de marchandises de 3 500 giga t.km et un trafic de passagers négligeable ;
- en Afrique, avec environ 60 000 km de réseaux, le trafic de marchandises est de 130 giga t.km et le trafic de passagers de 63 giga p.km, ce qui traduit une faible utilisation.

Les transports aériens

Le trafic aérien a connu une croissance quasi ininterrompue depuis les années 1970. En 2005, il a atteint 4 milliards p.km, plus de 12 % du trafic mondial de passagers, contre à peine 1 milliard p.km en 1980 (soit un taux de croissance de 5,7 % par an). Ce taux de croissance exceptionnel masque des disparités considérables dans les distances parcourues en avion : alors qu'elles sont souvent inférieures à 10 km par habitant et par an dans les pays les moins avancés, où le transport aérien est exclusivement réservé à une très petite élite (< 1 % de la population), elles atteignent 1 200 km par habitant et par an en Europe et 3 500 km par habitant et par an aux États-Unis.

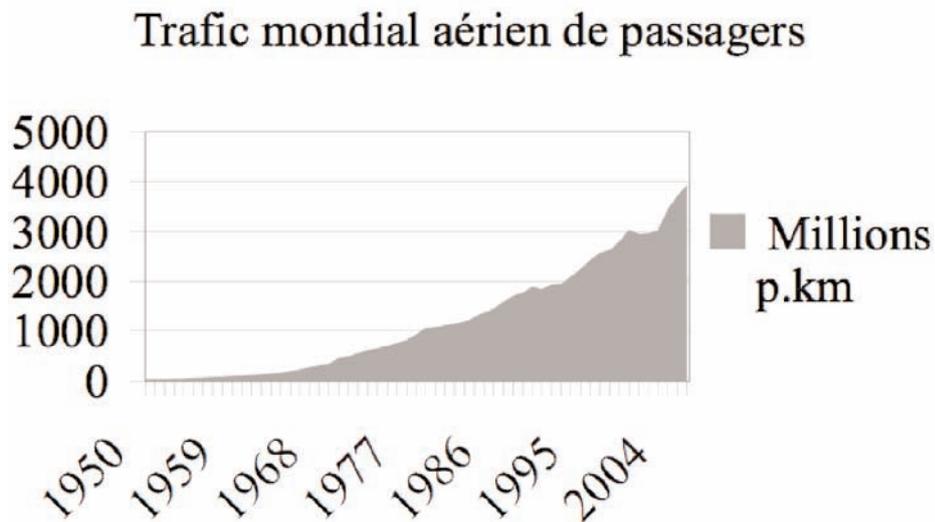
Tableau 11. Longueur des réseaux ferroviaires, 2004-2007 (en km)

	2004	2005	2006	2007
Europe*	349 695	352 364	360 169	356 058
Afrique	56 099	57 517	57 779	58 582
Amérique	391 720	389 199	386 945	381 884
Asie et Océanie	213 209	215 632	216 851	215 492
Monde (estimation)	1 010 723	1 014 712	1 021 744	1 012 016

* Turquie et Russie comprises.

Source : statistiques 2007 de l'UIC, www.uic.asso.fr

Graphique 11. Évolution du trafic aérien mondial de passagers, 1950-2004



Source : Association internationale des transports aériens (IATA), www.iata.org/index, in Girard, P. (2008), « Prospective sur les carburants », *Écrin*.

Il en est de même pour le fret aérien, qui se développe à très vive allure (DGAC, 2005) : entre 1960 et 2002, le trafic de fret aérien (intérieur et international confondus) est passé de 2 à 117 milliards t.km. Son importance a été ainsi multipliée par 58. Jusqu'en 1970, la croissance du fret aérien a suivi celle des passagers ; depuis, avec la mise en service des gros porteurs et de leur version tout cargo puis le développement du fret express, cette activité évolue encore plus rapidement.

Ces mutations sont la conséquence de deux phénomènes concomitants : l'augmentation, chaque année, du nombre de passagers et de la masse de marchandises embarquées ; et l'allongement de la longueur moyenne des trajets. Dans le même temps, les progrès techniques réalisés sur le plan des consommations par passager ou tonne transportée sont importants, passant de 8 litres de carburant pour 100 p.km en moyenne en 1970 à 5 litres en 2005. L'Airbus A380 consomme pour sa part environ 3 litres pour 100 p.km (Girard P., 2008). Mais ces derniers progrès ne se généraliseront pas avant une vingtaine d'années, la grande majorité de la flotte ne devant pas être renouvelée avant 2020.

Le transport maritime et le cabotage

Dopé par la montée en puissance, extrêmement rapide, des échanges commerciaux engendrée par la mondialisation depuis le tournant des années 1990, le transport maritime (de pétrole, pour la moitié) connaît une très forte croissance, surtout depuis le début des années 2000. La masse de matières transportées est ainsi passée de 5,1 milliards de tonnes en 2000 à 7,4 milliards en 2007⁶, soit une progression annuelle de 7 %.

Une véritable rupture s'est produite dans la géographie des échanges sur ces dix dernières années. L'impact du développement des exportations de l'Asie du Sud-Est et, en particulier de la Chine, en est largement responsable : en huit ans, entre 1997 et 2005, la part des marchandises mondiales manutentionnées en Chine est passée de 2,5 à 8,8 % du trafic mondial. La taille des porte-conteneurs construits a plus que doublé depuis 1990. La puissance des moteurs des bateaux les plus récents (de l'ordre de 80 MW) permet d'atteindre couramment des vitesses de croisière de plus de 40 km/heure. Les progrès de rendement de ces moteurs et la rationalisation de la logistique permettent de maintenir les

⁶ *Le Monde*, 25 octobre 2008.

consommations spécifiques de ces modes de transport dans des valeurs de l'ordre de dix à 12 gep/t.km d'énergie primaire, bien inférieures à celles de la plupart des autres modes de transport. Ils sont cependant très insuffisants pour ralentir significativement la croissance rapide des consommations globales de pétrole qu'entraîne l'explosion du trafic.

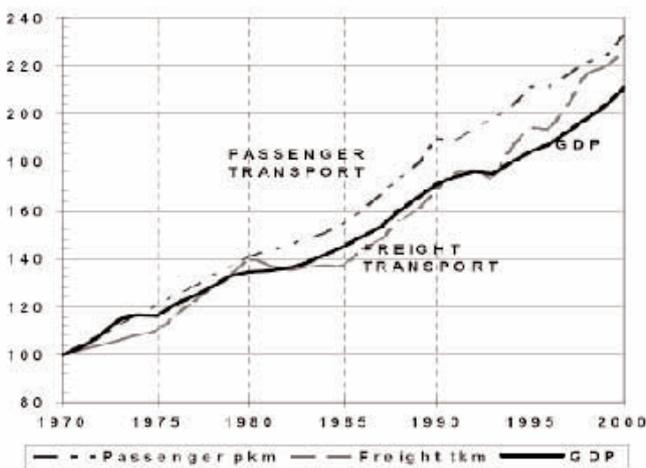
Un constat global alarmant pour l'avenir

Depuis une trentaine d'années, on constate une progression apparemment irrésistible du transport de passagers comme du trafic de marchandises avec la croissance éco-

nomique, tous modes de transport confondus, dans les pays industrialisés comme dans les pays émergents (voir les graphiques 12 et 13 pour l'Europe et la Chine).

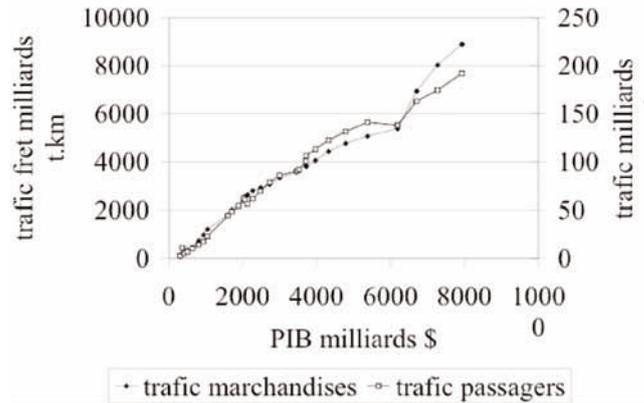
L'élasticité au PIB du trafic total de passagers et de marchandises (tous modes confondus) varie selon les régions et les époques, mais elle reste toujours positive et, dans la plupart des cas, proche de l'unité. C'est dans ce contexte historique qu'il nous faut donc replacer les perspectives d'évolution des consommations énergétiques des transports mondiaux et leurs conséquences sur les ressources de pétrole et les émissions de GES.

Graphique 12. Union européenne : évolution du PIB, du trafic de passagers et du fret, 1970-2000



Légendes : Transport de passagers, Fret, p.km, T.km, PIB
 Source : Commission européenne, Direction générale de l'énergie et des transports, "Energy and transport in figures".

Graphique 13. Chine : évolution du trafic de passagers et de marchandises, tous modes confondus, par rapport au PIB, 1952-2005



Source : <http://www.stats.gov.cn/english/statisticaldata/index.htm>

1.2. Le poids des infrastructures dans les transports⁷

La question des infrastructures mérite une attention particulière dans l'analyse de l'évolution des transports et de leur consommation. Les transports et leurs infrastructures entretiennent en effet une relation dialectique complexe avec l'urbanisme, l'aménagement du territoire, les modes de production des biens et leur distribution, au point que l'on a souvent bien du mal à distinguer l'œuf de la poule.

En France par exemple, est-ce la banalisation du véhicule individuel qui explique l'exode en banlieue de plus en plus lointaine des urbains des grandes villes ou bien les politiques très volontaristes d'accession à la propriété, sous forme de pavillons individuels, pratiquées depuis bientôt 40 ans (et qui ont rencontré une forte adhésion sociale) qui ont entraîné l'explosion du parc automobile ? Les deux, probablement. Il existe en effet une relation complexe d'incitation réciproque dont les paramètres varient selon les sociétés, leur développement, leurs valeurs et leur organisation.

L'urbanisme

La comparaison d'une ville latine comme Barcelone et d'une ville américaine comme Atlanta, toutes deux fortes d'environ un million d'habitants, mais avec une densité d'habitants 20 fois plus importante pour la première, met en évidence des différences de conception urbanistique considérables, avec des conséquences importantes en termes d'infrastructures de transports. Atlanta a opté pour une faible densité de construction, un minimum d'immeubles collectifs, des réseaux autoroutiers urbains, des centres commerciaux déconcentrés et une circulation à 95 % automobile. Barcelone a choisi un centre-ville piétonnier, de nombreux immeubles collectifs et des transports en commun, d'où un trafic routier bien moindre en proportion.

Bien évidemment, cela induit un écart majeur dans les consommations d'énergie et les émissions de GES. Sous l'effet combiné de plus grandes distances à parcourir et de l'emploi presque unique de la voiture en l'absence de transports en commun, un habitant d'Atlanta consomme sept fois plus d'énergie pour ses trajets quotidiens qu'un habitant de Barcelone qui parcourt des distances moins impor-

tantes, beaucoup plus souvent à pied ou dans des transports en commun moins dispendieux en énergie que la voiture individuelle.

Les exemples de ce genre abondent : les besoins énergétiques d'une mère de famille emmenant ses enfants à l'école dans son 4x4 climatisé au milieu des encombrements du matin pour leur éviter d'être écrasés et ceux de celle qui les conduit à pied ou en métro à l'école voisine sont aussi dans un rapport qui va de dix à l'infini. De même, les dépenses énergétiques de transport d'un ménage habitant un pavillon moderne bien isolé en grande banlieue et travaillant en centre-ville ou dans une autre banlieue (de l'ordre de 1,6 tep par an⁸) dépassent aujourd'hui bien souvent l'ensemble de celles liées au confort domestique (moins d'une tep par an).

L'histoire et les politiques économiques

L'histoire du développement façonne la nature des infrastructures de transport des différents pays. Aux États-Unis, où la conquête de l'Ouest et le réseau ferroviaire sont étroitement liés, une très forte tradition de transport ferroviaire de marchandises s'est maintenue, qui représente encore aujourd'hui, malgré le développement des routes et l'explosion du fret aérien, une part importante du trafic intérieur de marchandises. La situation est très différente dans des pays comme le Brésil ou le Mexique, aux dimensions comparables, où la pénétration vers l'Ouest n'a pas reposé sur le train et dont le trafic ferroviaire reste marginal par rapport à la route.

De même, des politiques publiques *a priori* sans rapport avec les transports peuvent se révéler très structurantes en la matière. C'est le cas par exemple des politiques très décentralisées d'emploi local telles qu'il s'en développe aujourd'hui dans tous les villages de France, qui tentent

⁷ D'après Dessus, B. (2009), « Le poids des infrastructures dans la question des transports », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

⁸ Sur la base de deux travailleurs effectuant chaque jour ouvrable 50 km de trajet du domicile au travail avec un véhicule consommant 8 litres aux 100 km.

d'attirer dans des zones industrielles ou artisanales des petites et moyennes entreprises. Ces politiques imposent en fait un quasi-monopole du transport routier de marchandises, car les quantités livrées annuellement à chacune de ces zones sont généralement très insuffisantes pour rentabiliser un terminal ferroviaire.

Au-delà des choix individuels, l'aménagement et l'organisation de la ville, le type d'organisation internationale, régionale et locale de production, de commerce et de distribution des produits de consommation et les habitudes sociales jouent un rôle prépondérant dans le développement des transports et les dépenses énergétiques qui y sont associées. Or, nous avons spontanément tendance à attribuer l'essentiel des écarts de dépenses énergétiques de transport à la plus ou moins grande efficacité énergétique des outils que nous employons. Dans le cas de la comparaison Barcelone/Atlanta, la différence pourtant très significative des performances moyennes des véhicules (7,7 litres aux 100 km en Europe contre 11,6 aux États-Unis⁹) ne contribue qu'à 20 % de la différence des performances globales.

Infrastructures de transport et inertie des dépenses énergétiques

Les infrastructures de transport se caractérisent dans la plupart des cas par des coûts initiaux élevés et des durées de vie importantes, souvent supérieures au siècle, très rarement inférieures au demi-siècle. C'est particulièrement vrai des transports ferroviaires, des installations portuaires et des grands axes autoroutiers, mais un peu moins des réseaux routiers dont la constitution s'effectue souvent par étapes successives, depuis les chemins vicinaux ou les pistes non asphaltées d'intérêt local ou régional jusqu'aux routes à grand débit d'intérêt national. Cette progressivité

est un élément important de l'attrait du réseau routier puisque les véhicules, motorisés ou non, tolèrent aisément de passer sans rupture de routes modernes et bitumées à des pistes ou chemins en plus ou moins bon état, ce qui est totalement exclu pour les transports guidés.

Mais dans tous les cas, ces infrastructures engendrent des inerties considérables dans les usages de transport et se révèlent très structurantes pour l'urbanisme, les modes de production et de distribution des biens et des produits et l'activité sociale. Une autoroute avec une bretelle tous les 20 km a des conséquences très différentes sur les futures implantations humaines, y compris en termes d'emplois, de celles d'un train à grande vitesse (TGV) avec des arrêts tous les 200 km ou d'un train régional desservant tous les gros bourgs. Cette très grande inertie rend d'autant plus importante l'attention aux dépenses énergétiques unitaires du trafic effectué à partir de ces différents modes de transport.

Infrastructures de transport de passagers

Le tableau 12 tient compte des taux d'occupation moyens de chacun des modes de transport, très différents selon les modes : ils sont faibles pour les véhicules particuliers en ville (souvent inférieurs à 30 %), un peu plus élevés sur autoroute (jusqu'à 50 %) et nettement plus élevés pour les TGV, le métro ou l'avion (70 à 80 %). Par ailleurs, ils varient fortement selon les pays et les politiques publiques mises en œuvre (covoiturage par exemple). Notons que les consommations unitaires du tableau 12 sont données en énergie finale. Dans le cas des transports guidés consommateurs d'électricité, la consommation d'énergie primaire peut être multipliée par un facteur un à 3,5¹⁰, selon la nature de la filière de production d'électricité.

Tableau 12. Consommation d'énergie finale des différents modes de transport de passagers en Europe (en p.km)

Mode de transport urbain	Gep/p.km	Mode de transport interurbain	Gep/p.km
Tramways	4-6	TGV	5-8
Métros	7-15	Trains nationaux	9-11
Autobus	20-30	Autocars	10-12
Véhicules particuliers	50-60	Véhicules particuliers	25-30
		Avion	50-60

Source : Explicit, « Actualisation des efficacités énergétiques des transports » et Commission française des comptes de l'environnement, Rapport 2006.

⁹ Agence internationale de l'énergie (2006), "The Alternative Policy Scenario", World Energy Outlook 2006, Paris.

¹⁰ Typiquement 1 pour l'hydraulique, le photovoltaïque et l'éolien, 2 pour l'électricité ex gaz naturel, 2,8 pour l'électricité ex charbon, 3,5 pour l'électricité nucléaire.

Tableau 13. Consommation d'énergie finale des différents modes de transport de marchandises en Europe (en t.km)

Mode de transport urbain	Gep/T.km	Mode de transport interurbain	Gep/T.km
Véhicules utilitaires légers	150-160	Véhicules utilitaires légers	120-130
Poids lourds 3-6 t	130-140	Poids lourds 3-6 t	65-70
Poids lourds > 25 t	50-55	Poids lourds > 25 t	25-30
Moyenne poids lourds en milieu urbain	80	Moyenne poids lourds en interurbain	40
		Trains entiers électriques	3-4
		Trains entiers diesel	13-15
		Wagon isolé électrique	6-7
		Wagon isolé diesel	25-27
		Fret aérien	400-410
		Voies d'eau	10-12

Source : Explicit, « Actualisation des efficacités énergétiques des transports » et Commission française des comptes de l'environnement, Rapport 2006.

Infrastructures de transport de marchandises

Le tableau 13 tient compte également des taux d'occupation moyens de chacun des modes de transport

Les écarts sont considérables : en ville, la voiture consomme dix fois plus d'énergie finale que le tramway (trois fois plus d'énergie primaire environ) et, de plus, sous forme de pétrole. Quant au fret aérien, il est 100 fois plus dispendieux en énergie finale (et plus de 30 fois en énergie primaire) que le transport par train entier électrique.

Bien entendu, les ordres de grandeur sont susceptibles de varier sensiblement selon les régions. En Amérique du Nord par exemple, où les consommations unitaires des véhicules particuliers sont en moyenne 50 % plus élevées et le taux d'occupation plus faible qu'en Europe, les

consommations spécifiques des véhicules urbains par passager sont supérieures de 60 %. En Afrique au contraire, malgré des consommations spécifiques également élevées, le taux d'occupation supérieur des véhicules (covoiturage, taxi brousse, etc.) permet sans doute de maintenir des valeurs plus proches de celles de l'Europe.

Infrastructures de transport et émissions de GES

Les émissions de GES des différents moyens de transport sont également très diverses puisque les moyens de transports guidés, qui peuvent être alimentés à partir d'électricité (pourtant souvent produite avec des rendements médiocres), peuvent échapper en partie à la contrainte d'emploi des énergies fossiles (tableaux 14 et 15).

Tableau 14. Émissions de CO2 des différents modes de transport de passagers en Europe (gramme de CO2/p.km)

Mode de transport urbain	Gramme de CO2/p.km	Mode de transport interurbain	Gramme de CO2/p.km
Tramways	18-27	TGV électriques	22-37
Métros	30-65	Trains nationaux électriques	40-50
Autobus urbains	60-90	Autocars	32-40
Véhicules particuliers	160-190	Véhicules particuliers	78-95
		Avion	155-185

Source : calculs de l'auteur. Pour l'électricité, nous avons retenu le mix européen de production d'électricité qui conduit à des émissions légèrement inférieures à 400 g par kWh.

Tableau 15. Émissions de CO₂ des différents modes de transport de marchandises en Europe (gramme de CO₂/t.km)

Mode de transport urbain	Gramme CO ₂ /T.km	Mode de transport interurbain	Gramme CO ₂ /T.km
Véhicules utilitaires légers	465-495	Véhicules utilitaires légers	370-400
Poids lourds 3-6 t	400-435	Poids lourds 3-6 t	200-220
Poids lourds > 25 t	155-170	Poids lourds > 25 t	75-95
Moyenne poids lourds en zone urbaine	250	Moyenne poids lourds en zone interurbaine	125
		Trains entiers électriques	14-18
		Trains entiers diesel	40-45
		Wagon isolé électrique	28-32
		Wagon isolé diesel	78-84
		Fret aérien	1 240-1 270
		Voies d'eau	30-37

Source : calculs de l'auteur. Pour l'électricité, nous avons retenu le mix européen de production d'électricité qui conduit à des émissions légèrement inférieures à 400 g par kWh.

Le tramway en ville émet 8 fois moins de CO₂ que la voiture. Quant aux TGV (malgré la dégradation des performances d'efficacité qu'entraîne cette grande vitesse¹¹), ils sont 6 à 7 fois moins émetteurs de CO₂ que l'avion et 3,5 fois moins que la voiture en Europe.

Le tableau 15 fait par ailleurs apparaître des différences considérables d'émission de CO₂ pour les transports sur longue distance : on observe un rapport de l'ordre de 80 entre les émissions du transport aérien et du « train entier » électrique (et encore de 40 pour un wagon isolé) pour une tonne de fret entre Paris et Berlin par exemple.

Les coûts d'investissement

Les capacités d'écoulement de trafic des infrastructures de

transport sont très variables : elles peuvent atteindre 30 000 à 60 000 passagers par heure pour un métro ou un réseau express régional (RER) comme celui de la région parisienne, contre 9 000 passagers au maximum (6 000 voitures) pour une autoroute urbaine deux fois trois voies.

Les coûts d'investissement des infrastructures, très divers selon les modes de transport, dépendent beaucoup des conditions locales (montagne ou plaine, densité de construction, etc.). La fourchette des coûts d'investissement de chaque mode est donc large. Les tableaux 16 et 17 donnent quelques indications sur les ordres de grandeur des coûts d'investissement au km et des surfaces de terrain artificialisées pour les infrastructures les plus lourdes.

Tableau 16. Infrastructures de transport urbain

Mode de transport urbain	Coût d'investissement dans les infrastructures (millions USD/km)	Capacité de pointe (passagers/heure) (6 000 voitures)	Investissement/capacité de pointe/km (USD)	Encombrement (hectares par km)
Autoroute 2x3 voies	70 à 110	7 500 à 9 000 (6 000 voitures)	9 000 à 15 000	4 à 5
Métro	35 à 84	30 000	1 200 à 2 800	1,5
RER	70 à 125	60 000	1 100 à 2 100	1,5
Tramway	28 à 56	2 000 à 4 000	7 000 à 28 000	< 1

Source : Crozet Y. (éditeur scientifique), A. Arabeyre, D. Bouf, A. Chausse, J.-P. Nicolas M. Perez et F. Toilier (1994), *La mobilité en milieu urbain : de la préférence pour la congestion à la préférence pour l'environnement*, Laboratoire d'économie des transports.

¹¹ Barbier, C., L. Cauret et C. Vlassopoulou (2001), « Transports à l'horizon 2030 », *Les cahiers du CLIP*, n° 14.

Tableau 17. Infrastructures de transport interurbain

Mode de transport urbain	Coût d'investissement dans les infrastructures (millions USD/km)	Capacité de pointe (passagers/heure)	Investissement/capacité de pointe/km (USD)	Encombrement (hectares par km)
Ligne à grande vitesse	24 à 48	2 000 à 4 000	6 000 à 24 000	1 ha
Autoroute 2x3 voies	9 à 35	7 000 à 9 000 (6 000 voitures)	1 000 à 5 000	4 à 5 ha

Source : « Le réseau autoroutier en chiffres », www.journaldunet.com/management

En ville, l'écoulement des pointes de trafic en métro ou en RER est beaucoup plus efficace, à la fois en termes de capacité, d'espace artificialisé et d'économie d'investissement par passager que l'autoroute urbaine ou le tramway. En rase campagne, l'autoroute se révèle plus efficace et moins chère en infrastructures pour écouler les pointes de circulation, mais elle consomme 4 à 5 fois plus d'espace. De plus, elle reporte une part considérable de l'investissement sur l'utilisateur, en charge directe¹².

L'ensemble des éléments met en évidence la très forte dépendance des consommations de transport (en nature et

en quantité d'énergie) par rapport aux infrastructures générales d'aménagement du territoire et aux choix initiaux d'infrastructures de transport. Ces choix, bien souvent motivés par des considérations dans lesquelles le transport n'est pas le paramètre dominant, introduisent de très fortes inerties, souvent supérieures au siècle, dans les comportements de mobilité et induisent des phénomènes d'exclusion qui rendent très difficile un retour en arrière par rapport aux choix initiaux. La prise de conscience de l'importance de ces phénomènes est donc cruciale dans la conduite de politiques de transport économes en énergie et peu émetteurs de GES au service du développement économique et social.

¹² À ce propos, on pourra noter que le transport en TGV d'un passager en Europe entraîne l'investissement de six à 12 kW de motrice, le transport automobile de 40 à 100 kW de moteur et le transport aérien en avion de ligne moderne de 35 à 130 kW de réacteur.

2. Les prévisions d'évolution

2.1 Des prévisions qui conduisent à une double impasse¹³

En se basant sur l'expérience des 30 dernières années, la plupart des scénarios prévisionnels à moyen et long termes anticipent une croissance toujours vive de l'ensemble du trafic mondial de passagers et de marchandises et en analysent les conséquences énergétiques et environnementales à des horizons donnés. Nous examinons ici les scénarios développés en 2006 par l'Agence internationale de l'énergie (AIE, 2006) à horizon 2030 ainsi que ceux du Conseil mondial de l'énergie (CME, 2007), élaborés en 2007.

Les scénarios de l'AIE

L'AIE a mis au point un scénario mondial dit de « référence » (où les politiques suivies par les différents pays sont celles décidées

en 2006) et un scénario dit de « politique alternative » (dans lequel des politiques volontaristes sont envisagées pour réduire les consommations de pétrole et les émissions de GES [en fait, le CO₂] des différents secteurs économiques), le tout dans un contexte d'énergie relativement bon marché (un pétrole autour de 50 USD le baril).

Le scénario de référence

On constate une augmentation de 60 % de l'énergie finale consommée par le secteur au niveau mondial et une augmentation de 55 % de l'usage du pétrole, qui reste très largement dominant en 2030 (93 % contre 95 % en 2004) (tableau 18).

Tableau 18. Scénario de référence de l'AIE : consommation d'énergie finale du secteur mondial des transports (en Mtep)

	1990	2004	2015	2030
Pays de l'OCDE	985 (960)	1 282 (1 245)	1 484 (1 413)	1 659 (1 571)
Pays en transition	154 (135)	140 (90)	176 (115)	204 (133)
Pays en développement	296 (275)	547 (526)	794 (758)	1 248 (1 180)
Total	1 435 (1 370)	1 969 (1 861)	2 454 (2 286)	3 111 (2 884)

Note : la consommation de pétrole dans la consommation d'énergie finale est indiquée entre parenthèses.
Source : AIE, *World Energy Outlook*, 2006.

¹³ D'après Global Chance (2009), *op. cit.*

Tableau 19. Scénario de référence de l'AIE : consommation d'énergie finale du secteur mondial des transports, par mode (en Mtep)

	2004	2030
Route	1 567	2 425
Aviation	238	455
Rail et maritime	165	231
Total	1 969	3 111

Source : AIE, *World Energy Outlook*, 2006.

Les situations régionales sont contrastées : on observe une nouvelle augmentation de 30 % des consommations finales d'énergie dans les pays de l'OCDE, qui sont pourtant déjà très équipés en moyens de transport ; une multiplication par 2,3 de la consommation en énergie finale et en carburants pétroliers dans les pays en développement (3 % par an) et une augmentation de 46 % des consommations finales d'énergie et de 48 % des carburants pétroliers dans les pays en transition. Le tableau 19 propose la répartition de la consommation d'énergie finale par mode de transport.

L'essentiel de la consommation de pétrole vient des transports routiers, où la forte augmentation du trafic (marchandises et passagers) n'est pas, et de loin, compensée par les gains d'efficacité énergétique des véhicules particuliers et des poids lourds à horizon 2030 (de l'ordre de 10 %). La propriété individuelle des automobiles et les modes occidentaux d'organisation de la mobilité restent la règle générale. Le nombre de voitures est multiplié par deux en 2030. Le scénario de référence ne chiffre pas l'augmentation du trafic mais, compte tenu des considérations précédentes, celle-ci doit se situer autour d'un facteur 1,8 sur la période pour les marchandises et pour les passagers.

Les transports aériens voient leur flotte passer de 16 800 avions en 2004 à 44 000 en 2030, soit une croissance de 3,8 % par an¹⁴. Mais la progression du trafic envisagée dans le scénario de référence est encore plus rapide, puisqu'elle atteint 4,7 % par an sur la période. Dans ces conditions, la consommation finale des transports aériens, totalement pétrolière, atteint 455 Mtep en 2030 contre 238 Mtep en 2004 et représente 16 % de la consommation pétrolière des transports mondiaux.

Le scénario de référence ne donne pas d'indication précise, ni sur l'évolution du transport maritime, ni sur celle du

transport ferroviaire. Cependant, les données relatives à l'évolution de la consommation des carburants alternatifs – qui stagne autour des 4 % du total – montre que la part des transports ferroviaires demeure négligeable dans les dépenses énergétiques finales.

En résumé, le scénario de référence table sur une évolution sans changement majeur des principaux déterminants des tendances passées : possession individuelle des voitures (et donc étroite relation entre parcs nationaux, trafic et richesse des habitants), faible développement du rail et poursuite à un rythme rapide de la croissance des transports aériens tirés par la mondialisation des échanges.

Il en résulte une augmentation de la consommation du pétrole de 60 % par rapport à 2004. Pour répondre à cette demande, la production de pétrole doit passer de 48 Mbarils/jour à 70 Mbarils en 2030, soit 85 % de la production actuelle de pétrole. Les émissions de CO₂ passent pour leur part d'environ 6 800 Mt en 2004 à 10 700 Mt en 2030¹⁵.

Le scénario de politique alternative

Ce scénario a pour ambition de tester les conséquences de la généralisation des politiques de maîtrise de l'énergie et de diversification énergétique proposées pour assurer une meilleure sécurité énergétique et une réduction des émissions mondiales de GES. La dernière colonne du tableau 20 montre que l'effort porte principalement sur les transports routier et aérien, bien plus que sur un transfert de mode vers le rail et le transport maritime.

¹⁴ Les trois quarts de cette flotte seront par conséquent mis en service pendant la période 2005-2030 et bénéficieront des progrès techniques aujourd'hui acquis.

¹⁵ Compte tenu de pertes de la chaîne amont du pétrole (extraction, raffinage, transports), estimées à 15 %, et d'émissions de CO₂ de 3 tonnes par tep (hors émissions fugitives de méthane).

Tableau 20. Scénario de politique alternative de l'AIE : consommation d'énergie finale du secteur mondial des transports, par mode (en Mtep)

	2004	2030	2030 Scénario de référence - scénario de politique alternative
Route	1 567	2 159	266
Aviation	238	419	36
Rail et maritime	165	226	5
Total	1 969	2 804	307

Source : AIE, *World Energy Outlook*, 2006.

Dans ce scénario, où la propriété individuelle de la majorité des parcs automobiles et l'organisation de la mobilité ne sont pas plus remises en cause que dans le scénario de référence, l'effort porte principalement sur le progrès technique appliqué à l'efficacité énergétique des transports routiers et aériens¹⁶. Dans le domaine automobile par exemple, ce progrès se traduit dans chacune des régions par des consommations moyennes nettement plus faibles que dans le scénario de référence (tableau 21).

Cette différence considérable d'efficacité des véhicules (22 à 25 % selon les régions) entre les deux scénarios explique l'essentiel des économies de carburant réalisées. Il en est de même pour l'aviation. En outre, le recours à des carburants alternatifs est largement encouragé au cours de la période puisque la production de l'ensemble de ces carburants (agrocaburants, électricité, etc.) passe à 190 Mtep environ (contre 135 dans le scénario de référence).

Globalement, ce scénario d'intense pénétration du progrès technique permet de limiter la production de pétrole indispen-

sable aux transports à 63 Mbarils/jour (75 % de la production actuelle totale de pétrole) au lieu de 70 Mbarils/jour dans le scénario de référence. De la même manière, les émissions de CO₂ passent à 9 000 Mt en 2030 (au lieu de 10 700).

Les scénarios du CME

Ces scénarios ont été établis en 2007, en faisant appel au modèle « Pôles » du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) français. Ils décrivent différentes évolutions de la consommation et de la production d'énergie dans le monde jusqu'en 2050, sur la base d'hypothèses qualitatives concernant le degré d'engagement et de coopération internationale des gouvernements des différents pays dans le domaine de l'énergie et de l'environnement. L'évolution de la population et du PIB des différentes régions constituent les principaux déterminants des scénarios envisagés. Les différences d'évolution des intensités énergétiques de chacun des scénarios sont prises en compte à travers des facteurs additifs à ceux engendrés par le marché, le progrès technique et les prix de l'énergie, qui sont l'essentiel des leviers du modèle.

Tableau 21. Scénarios de référence et de politique alternative de l'AIE : consommation moyenne des nouveaux véhicules en 2030 (en litre de carburant pour 100 km)

	2004	2030 Scénario de référence	2030 Scénario de politique alternative
Pays de l'OCDE	9,3	8,3	6,2
Pays en transition	10	9	7
Pays en développement	10,3	9,1	7,1

Source : AIE, *World Energy Outlook*, 2006.

¹⁶ Des transferts de modes très marginaux vers les modes guidés sont cependant envisagés pour quelques pays, en particulier les États-Unis et la Chine.

Tableau 22. Scénarios du CME : évolution du PIB et des consommations de carburant pétrolier par habitant

Croissance du PIB	2020 (%)	2035 (%)	Consommation transport/habitant	2005 (tep/hab.)	2020 (tep/hab.)	2035 (tep/hab.)
Léopard	3,3	2,3	Léopard	0,33	0,36	0,36
Éléphant	3,1	1,9	Éléphant	0,33	0,33	0,33
Lion	3,7	2,8	Lion	0,33	0,36	0,38
Girafe	3,8	3	Girafe	0,33	0,36	0,43

Source : Energy Scenario Development Analysis : WEC policy to 2050. World Energy Council, 2007.

Quatre scénarios sont présentés :

- Léopard décrit un scénario d'engagement et de coopération faible des gouvernements sur les questions énergétiques et environnementales ;
- Éléphant décrit un scénario de fort engagement des gouvernements mais de faible coopération sur ces questions ;
- Lion décrit un scénario de fort engagement et de forte coopération des gouvernements sur ces questions ;
- Girafe décrit un scénario de faible engagement des gouvernements mais de forte coopération internationale.

Les quatre scénarios tablent sur une évolution de la population mondiale de 1,1 % jusqu'en 2020 et de 0,9 % jusqu'en 2035. En 2035, la population mondiale devrait être de l'ordre de 8 600 millions d'habitants, contre 6 400 millions en 2005.

Les évolutions du PIB dans chaque scénario sont présentées au tableau 22, en même temps que la consommation finale de carburant par habitant pour les transports.

Le tableau 23 propose une estimation de la consommation de pétrole pour les transports et du prix du baril en 2035, selon les quatre scénarios¹⁷.

Tableau 23. Scénarios du CME : prix du pétrole et consommation mondiale de carburant en 2035

	Consommation mondiale de pétrole pour les transports (Mtep)	Prix du baril (USD de 2005, en PPA)
Léopard	3 100	90
Éléphant	2 840	74
Lion	3 270	70
Girafe	3 700	82

Note : PPA : parité de pouvoir d'achat.

Source : Energy Scenario Development Analysis : WEC policy to 2050. World Energy Council 2007.

¹⁷ Dans le modèle Pôles, les prix du pétrole sont le résultat d'un calcul à partir d'une simulation de l'offre et de la demande.

Tableau 24. Scénarios du CME : fourchettes de consommation totale et par habitant des carburants pétroliers, selon les régions

	2005 (tep/hab.)	Consommation totale de carburant	2035 (tep/hab.)	Consommation totale de carburant
Afrique	0,07	62	0,07 à 0,12	120 à 204
Asie	0,14	540	0,21 à 0,29	1 080 à 1 490
Europe	0,6	470	0,6 à 0,67	454 à 507
Amérique latine	0,29	129	0,48 à 0,71	274 à 405
Amérique du Nord	1,76	757	1,48 à 1,55	772 à 810

Source : Energy Scenario Development Analysis : WEC policy to 2050. World Energy Council, 2007.

Ces deux tableaux montrent les limites de la sensibilité du secteur des transports à la diversité des politiques décrites par les scénarios. Ce sont les politiques publiques qui ont le plus d'influence : on observe 30 % d'écart en 2035 entre le scénario Éléphant de forte implication des gouvernements et le scénario Girafe de faible implication des gouvernements. La consommation mondiale de pétrole pour les transports augmente de 35 % dans le scénario le plus économe et de 76 % dans le plus dispendieux par rapport à 2005. Le prix du baril reste dans une fourchette assez étroite, entre 70 et 90 USD.

L'analyse par région fait apparaître le maintien d'une grande hétérogénéité des situations (tableau 24).

Sur la période, le rapport de consommation de carburant par habitant d'un Américain et d'un Africain passe de 25 à 21 ce qui, compte tenu de la pénétration des progrès d'efficacité énergétique des automobiles très probablement plus rapide en Amérique qu'en Afrique, implique en fait un

renforcement de l'inégalité d'accès des Africains aux services automobiles. Le tableau 24 met aussi en évidence la faible sensibilité de ce secteur aux actions publiques envisagées. À l'exception de l'Europe – qui maintient sa consommation à peu près constante quelque soit le scénario – l'augmentation de la consommation régionale de carburants pétroliers est généralisée dans toutes les autres régions.

Le rapprochement des consommations de carburant et des émissions établies par les quatre scénarios du CME et les deux scénarios de l'AIE au même horizon, en 2030 (tableau 25) montre que ces deux exercices de prévisions se confortent : la consommation de carburant tourne autour de 2 700 Mtep et les émissions de CO₂ sont de l'ordre de 9 000 Mt pour les politiques les plus volontaristes de maîtrise de consommation alors que, dans les scénarios les moins ambitieux en termes de réduction d'émissions, la consommation atteint jusqu'à 3 300 Mtep et les émissions dépassent 11 000 Mt de gaz carbonique.

Tableau 25. Scénarios du CME et de l'AIE : consommations de carburant et émissions de CO2 en 2030

	Consommation de carburant	Émissions de CO2
CME – Léopard	2 850	9 830
CME – Éléphant	2 655	9 160
CME – Lion	2 980	9 970
CME – Girafe	3 300	11 400
AIE – scénario de référence	2 880	10 730
AIE – scénario de politique alternative	2 580	8 900

Source : récapitulation de l'auteur à partir des tableaux précédents.

Le rapprochement des besoins de pétrole ainsi engendrés à l'horizon 2030 (de 60 à 75 Mbarils/jour) avec les prévisions de production pétrolière à cette époque montre la tension extrême qui s'exerce sur les ressources pétrolières.

Il en est de même pour les émissions de CO₂. Dans l'optique d'une division par deux des émissions mondiales de CO₂ à l'horizon 2050 (autour de 13 milliards de tonnes), il est indispensable d'avoir stabilisé les émissions vers 2020 et d'amorcer ensuite une réduction continue dans les dix

années suivantes, pour atteindre une valeur de 20 à 22 milliards de tonnes. La part des transports dans les émissions de CO₂ deviendrait alors considérable, passant de 25 % en 2005 à 40 ou 50 % en 2030.

L'ensemble de ces prévisions met donc en évidence des contradictions majeures entre l'évolution de la consommation mondiale des transports, l'évolution de la production potentielle de pétrole et l'exigence de réduction des émissions mondiales de GES.

2.2 Les transports en manque de pétrole¹⁸

Lorsque les spécialistes des transports s'attellent à des exercices de prospective, ils se concentrent sur les évolutions du secteur. Mais leurs hypothèses de disponibilité du carburant sont-elles réalistes ? Les transports sont dépendants du pétrole à 98 % et la part des transports dans la consommation mondiale de pétrole est de l'ordre de 50 %.

Le domaine de la prospective pétrolière a beaucoup fait parler de lui ces dernières années, avec la hausse continue des prix du baril. Il est cependant fondamental de distinguer les données utilisées en fonction de leurs sources. Si de nombreux organismes fournissent des chiffres sur le pétrole, les plus consultés et les plus facilement accessibles sont ceux de l'AIE et de la compagnie pétrolière BP. Leurs données sur la production et la consommation passées sont relativement fiables même s'il existe toutefois de petites différences : ainsi pour 2006, la production déclarée par BP est de 81,66 Mbarils/jour, contre 85,2 Mbarils/jour pour l'AIE. L'écart, non négligeable, est dû à des différences de définitions et de modes de calculs.

La tâche se complique pour les prévisions de production de pétrole, car les écarts de vision des différents organismes sont considérables. On ne peut s'exonérer d'une analyse en profondeur de ces décalages, même s'ils ne sont pas directement l'objet de ce texte, afin d'indiquer les principales raisons justifiant le choix des scénarios prospectifs.

Les scénarios prospectifs de l'AIE sont très contestés, depuis déjà plusieurs années. Fondée en 1974 juste après le premier choc pétrolier, l'AIE est en quelque sorte un club des pays consommateurs de pétrole. Sous influence politique des états fondateurs, l'Agence a longtemps produit des prévisions limitées à 30 ans, en évaluant la demande à cet horizon et en calculant le montant des investissements nécessaires pour y parvenir. Ses experts pétroliers sont de fait des économistes. Ils n'ont pas initialement pris en compte les contraintes techniques qui limitent la production de pétrole – contraintes qui ont été plus ou moins censurées politiquement par la suite. L'AIE est donc réputée pour ses prévisions particulièrement optimistes.

Les géologues impliqués dans l'exploration – un facteur clé quand il s'agit de prévisions – sont une source d'informations pertinentes. L'Association for the Study of Peak Oil and Gas (ASPO) dispose de données confidentielles d'assez bonne qualité et fournit des scénarios bien plus réalistes que ceux de l'AIE. Cette communauté de spécialistes est d'accord sur le fait que nous sommes proches du point maximum de la production pétrolière mondiale, aussi appelé *Peak Oil* ou « pic de Hubbert¹⁹ », du nom de son inventeur. Le simple fait de vouloir maintenir la production mondiale à un niveau

¹⁸ D'après Wingert, J.-L. (2009), « Les transports en manque de pétrole », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

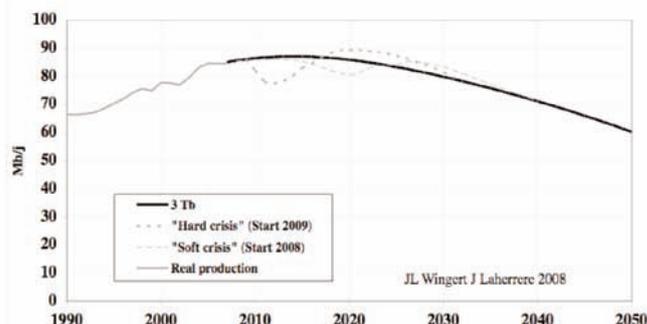
¹⁹ La dynamique du pic est la suivante : l'augmentation de la production demande de mettre de nouveaux gisements en exploitation ; or, les gisements les plus faciles d'accès et les plus volumineux ont été exploités en premier ; les gisements restants sont donc de plus en plus difficiles d'accès et de plus petite taille – ce qui implique un rythme de mise en production de plus en plus lent et donc une production mondiale stationnaire puis nécessairement décroissante.

constant nécessite de remplacer d'une année sur l'autre 4 à 5 % de la production mondiale manquant du fait de gisements arrivant en fin de vie. La dynamique du pic a deux conséquences importantes : la production va baisser et la nature des pétroles produits change.

La baisse de la production a été modélisée de manière réaliste par Jean Laherrère²⁰, membre fondateur de l'ASPO. La production mondiale devrait atteindre son pic aux alentours de 2015 avec une marge d'erreur de plus ou moins 5 ans. Il s'agit là d'une prévision sans contrainte majeure sur la demande. Diverses simulations ont été faites en fonction de l'ampleur de la crise économique prévisible (le graphique 14 a été élaboré en 2008) pour conclure à un décalage du pic de l'ordre de 5 ans. La perturbation de la production est relativement forte sur les premières années et l'onde de choc s'atténue pour devenir négligeable vers les années 2030. En pratique, nous entrons dans une phase de production de pétrole dite en « plateau ondulé », qui précède le déclin. Nous accorderons donc plus d'importance aux prévisions vers 2030-2035 des scénarios de transport qu'à celles situées vers 2015-2020.

La deuxième conséquence du pic de production de pétrole est le changement de composition des pétroles produits. Chaque gisement possède ses caractéristiques et, à l'instar de la production vinicole, il existe des « crus » de pétrole. Ainsi, le Brent de la mer du Nord possède des caractéristiques naturelles proche de la demande. Cela signifie que les opérations de raffinage peuvent en gros se limiter à une purification et une distillation pour séparer le pétrole brut en fractions plus ou moins lourdes – ce

Graphique 14. Production de pétrole (avec scénarios de crises économiques)



Légendes : 3 Tb (térabarils), « Crise sévère » (début 2009), « Crise légère » (début 2008), Production réelle.

Source : S.L. Wingert, *Les cahiers de Global Chance*, n° 26).

qui n'est pas trop coûteux en énergie.

Dans nos calculs actuels, nous considérons qu'il y a une perte de 15 % entre le pétrole énergie primaire et l'énergie finale destinée aux transports. Si l'on ne dispose plus de pétroles légers préférentiellement exploités dans le passé et que l'on doit utiliser du pétrole lourd pour satisfaire la demande en carburants relativement légers (essence ou diesel), il faut « casser » les grosses molécules lourdes (*cracking*) dans des unités de conversion grosses consommatrices d'énergie. Or, s'il reste encore des gisements *off-shore* de pétrole léger, nous allons rapidement devoir composer avec des pétroles de plus en plus lourds.

En résumé, la production de pétrole va baisser. On peut certes imaginer de réserver une part de plus en plus importante du pétrole aux transports, mais les « crus » que l'on devra utiliser étant de plus en plus lourds, la production de carburants pour les transports nécessitera de plus en plus de pétrole brut.

Tableau 26. Produits pétroliers disponibles pour les transports (en Mt/an)

	2015	2020	2030	2035
Pétrole brut	4 337	4 277	3 977	3 773
50 % du pétrole brut	2 168	2 138	1 988	1 886
Énergie finale utilisée dans les transports	1 843	1 817	1 690	1 603

Note : Scénario de Laherrère sans contraintes sur la demande.

Source : calculs de l'auteur.

²⁰ Laherrère J. et J.-L. Wingert (2008), Forecast of liquids production assuming strong economic constraints, 7e conférence annuelle de l'ASPO, Barcelone.

Nous considérerons pour simplifier que ces deux tendances inverses se neutralisent et que la part de pétrole que l'on peut consacrer aux transports restera stable dans le temps, soit un équivalent de 50 %, avec 15 % de pertes (tableau 26).

Lorsque l'on compare les chiffres du tableau 26 avec ceux de l'AIE et du CME, on constate que le pétrole nécessaire à la demande de transports projetée par ces deux organismes n'existe pas. Dans le cas le plus défavorable (celui du scénario Girafe du CME), il faudrait consacrer la totalité du pétrole aux transports, ce qui est totalement irréaliste. Les scénarios les plus économes sont le scénario de politique alternative de l'AIE (2 804 Mtep/an en 2030) et le scénario Éléphant du CME (2 840 Mtep/an en 2035). Cela reviendrait à consacrer respectivement 70 et 75 % du pétrole mondial aux transports et ce, en fermant les yeux sur le taux de conversion – lequel dépend de la qualité des pétroles et n'a certainement pas été pris en compte dans les scénarios présentés.

Comment consacrer plus de pétrole aux transports afin de rendre ces derniers scénarios réalisables ? Regardons tout d'abord où va le pétrole non destiné aux transports, car c'est là qu'il faudrait prélever une partie du pétrole nécessaire. Aujourd'hui, la pétrochimie consomme environ 8 % du pétrole et la production d'électricité de l'ordre de 9 %, pour une production de pointe difficile à réduire. Les fiouls lourds et autres bitumes destinés aux secteurs industriels

représentent 18 % et le fioul de chauffage pour les particuliers 14 %. Un report sur d'autres sources d'énergie est délicat, car le gaz naturel va également subir de fortes contraintes de production environ une décennie après le pétrole – les tensions se faisant déjà sentir. Reste le charbon, qui est abondant. Mais sa production nécessite des infrastructures lourdes, dont la disponibilité va constituer un goulet d'étranglement. De plus, la substituabilité du charbon au pétrole liquide est loin d'être triviale. On peut transformer directement le charbon en hydrocarbure liquide, grâce au procédé Fisher-Tropsch, mais le rendement est médiocre. Compte tenu de l'explosion de ses besoins, la Chine semble avoir abandonné de tels projets tout simplement pour utiliser directement le charbon.

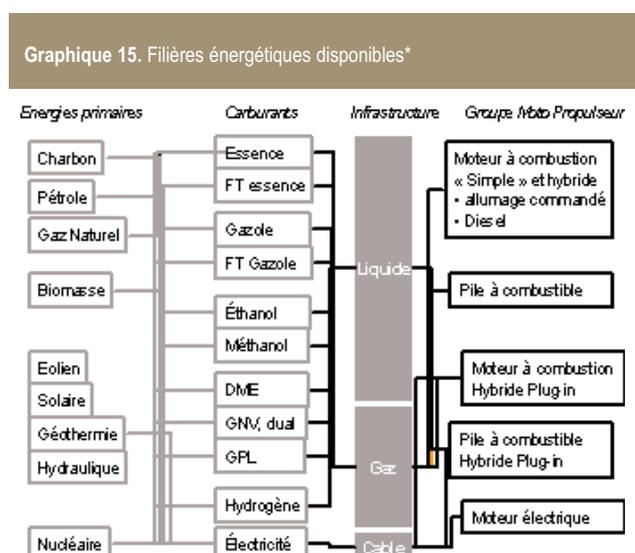
Il n'est donc pas possible de raisonner hors du contexte caractérisé, d'ici 2030-2035, par une population mondiale toujours en croissance et des tensions multiples dans le domaine des énergies, sans même parler des problématiques de pollution, laissées de côté ici pour se concentrer sur la possibilité technique de fournir le carburant nécessaire aux scénarios de transport de l'AIE et du CME.

Tout indique donc que les scénarios prévisionnels d'évolution des transports à l'horizon 2030, même les moins gourmands en pétrole, font en fait l'impasse sur la disponibilité – insuffisante – des ressources pétrolières.

3. La technologie et ses limites

3.1 Le progrès technique pour les véhicules et la motorisation²¹

De nombreux rapports français et européens s'intéressent à l'évolution prospective des technologies destinées aux véhicules et, en particulier, à l'analyse des performances de couples moteurs-carburants plus ou moins nouveaux, à la fois du point de vue de la nature et de la quantité de carburants mobilisés, des émissions polluantes et des émissions de GES. Chaque binôme possible présenté dans le graphique 15 offre des caractéristiques différentes de consommation, d'émissions de CO₂/km, de prix, de fiabilité et de maturité.



* FT : Fischer-Tropsch (procédé permettant de fabriquer un carburant de synthèse) ; DME : diméthyléther (carburant pour moteur diesel similaire au GPL) ; GNV : gaz naturel véhicule ; GPL : gaz de pétrole liquéfié
Source : G. Plassat, *Les cahiers de Global Chance*, n° 26

Pendant près d'un siècle, le développement automobile s'est fondé sur un couple unique, le moteur à combustion interne associé au pétrole. Aujourd'hui, sous l'effet de contraintes multiples (effet de serre, pollution, diversification énergétique), une multitude de solutions font leur appa-

rition. Mais comme ces paramètres sont liés, le choix d'un binôme alternatif est fonction de la performance du binôme de référence. C'est ainsi que toute amélioration énergétique et/ou économique sur le couple de référence retarde, voire évince la diffusion de solutions alternatives. En effet, le compromis performance/prix a une incidence décisive en matière d'efficacité énergétique. De plus actuellement, le potentiel de gain énergétique apporté par la technologie est très généralement utilisé pour créer de la valeur marchande sous forme de performances (consommation, reprise) ou de pseudo-performances (vitesse maximale, puissance moteur) plutôt que pour réduire la consommation absolue des véhicules. Tant que l'efficacité énergétique n'aura pas une valeur marchande suffisante, le gain énergétique observable par le client sera réduit.

La comparaison entre les véhicules légers et les véhicules lourds est particulièrement intéressante : sur autoroute, un camion chargé à 40 tonnes consomme environ 35 litres/100 km et un autocar avec 50 personnes moins de 25 litres/100 km. Par analogie, un véhicule individuel équivalent de 800 kg devrait consommer moins de 1 litre/100 km ! Sans même compter les progrès importants envisageables pour ces véhicules lourds, en agissant à la fois sur le véhicule, son usage et quelques points d'infrastructures (voir le tableau 27 qui décrit les potentiels de réduction des émissions de CO₂ sans changer de carburant).

²¹ D'après Plassat, G. (2009), « Quelles marges de progrès d'efficacité pour les technologies actuelles de véhicules légers et lourds ? », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

Tableau 27. Potentiels de réduction des émissions de GES par type de véhicule lourd (en pourcentage)

		2020	2020	2020	NEUF/RETROFIT*
		ROUTIER	MIXTE	URBAIN	
		(40 t)	(19 t)	(19 t)	
Technologie dual fuel	Diesel	12	6	-5	N / R
Hybridation	Diesel	5	10	20	N
	AC*	7	15	25	N
Progrès sur le moteur seul	Diesel	10	5	2	N
	AC*	10	5	2	N
Récupération de l'énergie à l'échappement		5	3	0	N / R
Allègement		5	5	5	N
Réduction de la résistance aérodynamique		6	2	0	N / R
Réduction de la résistance au roulement		5	2	1	N / R
Réduction de la consommation des accessoires		2	3	5	N
PL grand volume		30			N

Note : AC : allumage commandé (moteur fonctionnant avec de l'essence ou du GNV) ; RETROFIT : solution adaptable sur un véhicule existant pour améliorer ses performances. Les potentiels indiqués ne sont pas tous cumulables.

Source : Gabriel Plassat, Ademe.

Pour un véhicule léger, une simulation complète permet de dégager quelques ordres de grandeur : en partant d'un véhicule standard actuel²², la performance énergétique de son équivalent utilisant les mêmes technologies mais conçu en fonction d'un objectif de sobriété est estimée comme suit : 850 kg, 90 gCO₂/km et vitesse maximale (Vmax) de 165 km/h. Les briques technologiques nécessaires sont là – d'autant qu'une grande partie du gain provient de la réduction de poids du véhicule.

Rappelons qu'au début des années 1980 – il y a donc plus de 25 ans – sous la pression de la crise pétrolière, Renault et Peugeot (en France) avaient déjà mis au point et se proposaient de commercialiser des « voitures 3 litres » qui pesaient de 800 à 900 kg et dont les émissions de CO₂ auraient été inférieures à 100 g/km²³. Nous avons donc d'abord besoin d'un modèle économique et social permettant de vendre ou de mettre à disposition des usagers des véhicules de ce type plutôt que de progrès technologiques.

3.2 Les solutions électriques de motorisation²⁴

Quand on pense à la voiture électrique, on a en général en tête une automobile qui fonctionne avec une transmission mécanique classique mais avec un moteur électrique à la place du moteur thermique et un coffre rempli de lourdes batteries.

En fait, l'introduction de l'électricité dans la traction d'un véhicule recouvre bien d'autres possibilités, qui ont toutes en commun le recours à un ou plusieurs moteurs électriques pour fournir l'énergie mécanique nécessaire.

Les différentes filières se différencient d'abord par la fourniture de l'énergie électrique aux moteurs, selon que l'électricité est stockée dans le véhicule à partir d'une source fixe ou fabriquée dans le véhicule lui-même à partir

d'un combustible embarqué. On peut donc distinguer quatre grandes formes de véhicules électriques :

- les véhicules électriques « classiques », dont les batteries sont rechargées à partir du réseau ;
- les véhicules qui brûlent du méthanol embarqué dans un reformeur, lequel fournit l'hydrogène nécessaire à une pile à combustible (PAC) qui fournit à son tour l'électricité alimentant le moteur de la voiture ;
- les véhicules « hybrides » à moteur thermique brûlant de l'essence ou du fuel associé à un alternateur qui fournit l'électricité nécessaire au moteur de la voiture ;

²² 1 360 kg, 130 gCO₂/km, diesel 1.6 litre et 120 chevaux.

²³ Le contrechoc pétrolier de 1986 a mis fin à ce projet.

²⁴ D'après Dessus, B. (2009), « La fée électricité sous le capot ? », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

- les véhicules à PAC alimentés par un stock d'hydrogène embarqué, lui-même obtenu par électrolyse ou reformage dans des installations fixes et distribué dans les stations service, etc.

Bien entendu, il existe de nombreuses combinaisons possibles selon le programme de trajets prévu, depuis le véhicule purement électrique sur batterie à faible autonomie jusqu'aux véhicules hybrides actuels qui peuvent utiliser les deux modes de traction en fonction des conditions des trajets (ville ou route) et disposent de l'autonomie que leur procure leur réservoir d'essence ou de fuel.

Des avantages certains pour la chaîne de traction

Dans tous les cas, l'introduction d'un moteur électrique et d'une batterie dans la chaîne de traction présente deux intérêts :

- l'excellent rendement mécanique d'un moteur électrique (supérieur à 90 %), quel que soit son régime. C'est un point important puisque l'on sait qu'un moteur thermique ne dépasse guère 40 % de rendement nominal et que ce rendement dépend très largement des conditions d'usage (démarrage à froid, accélérations brutales, ralenti, etc.) ;
- la possibilité de récupérer l'énergie de freinage pour recharger partiellement la batterie du véhicule.

Si de plus on parvient à placer les moteurs électriques directement sur les roues du véhicule pour les entraîner (« moteur roue »), on évite la déperdition liée aux frottements mécaniques qu'entraîne la transmission de l'énergie mécanique d'un moteur jusqu'aux roues (bielles, arbre de

transmission, boîte de vitesse, différentiel, etc.), de l'ordre de 10 %.

La traction électrique présente donc des avantages certains en termes d'efficacité, mais il faut s'assurer qu'ils ne sont pas en partie perdus, en amont du moteur électrique, pour produire l'électricité et, éventuellement, la transporter et la stocker dans le véhicule.

En amont du moteur électrique

C'est en amont du moteur électrique que le tableau s'inverse. Alors que la mise à disposition du carburant dans le réservoir d'une voiture s'effectue avec un rendement de 80 à 85 % pour l'essence et de 85 à 90 % pour le diesel (en tenant compte des dépenses énergétiques d'extraction du pétrole, du raffinage et du transport jusqu'à la pompe), il en va bien différemment pour un véhicule à traction électrique.

La voiture électrique

Dans le cas de la voiture électrique « classique », il faut produire l'électricité, la transporter, charger les batteries puis en extraire l'électricité nécessaire au moteur électrique. Toutes ces étapes comportent des pertes, souvent importantes (tableau 28).

Les centrales électriques présentent des rendements de 30 à 60 % pour les filières thermiques qui brûlent un combustible²⁵. Les pertes de transport et de distribution d'électricité sont de l'ordre de 7 % pour un réseau moderne. Le rendement de charge et de décharge des batteries est de l'ordre de 65 % pour les batteries actuelles et pourrait atteindre 70 à 75 % pour les nouvelles batteries.

Tableau 28. Rendement global de la mise à disposition de l'électricité aux bornes, selon les filières de production (en pourcentage)

	Rendement de production	Rendement de transport et de distribution	Rendement de charge et de décharge des batteries	Rendement global
Énergies renouvelables	8-95*	93	65-75	5-66
Nucléaire	30-35	93	65-75	18-24
Charbon	35-40	93	65-75	21-28
Fuel	40-45	93	65-75	24-31
Gaz naturel	50-60	93	65-75	30-42

* De la géothermie à basse température ou le photovoltaïque au silicium amorphe à l'hydraulique.

Source : synthèse de l'auteur.

²⁵ Nucléaire : 33 % ; charbon : 35 à 40 % ; fuel : 40 à 45 % ; gaz naturel : 50 à 60 %.

La voiture à hydrogène

Ces véhicules utilisent, à travers une PAC, de l'hydrogène embarqué et stocké dans le véhicule ou de l'hydrogène fabriqué à partir d'un carburant liquide (en général le méthanol) à bord même du véhicule.

L'hydrogène produit dans des installations fixes. L'hydrogène peut être fabriqué par électrolyse mais avec un très mauvais rendement : de 15 à 25 % si l'on tient compte du rendement des usines de production d'électricité (tableau 28), de celui des électrolyseurs (inférieur ou égal à 60 %), de la compression et du stockage à bord du véhicule (de l'ordre de 75 %). Mais on peut obtenir un meilleur rendement en le produisant à partir de méthane dans des unités industrielles (75 %). Compte tenu de la compression et du stockage, le rendement global de l'hydrogène à bord du véhicule est alors de l'ordre de 55 %.

L'hydrogène produit à bord des véhicules. On peut produire l'hydrogène à bord même du véhicule, par reformage de méthanol stocké à bord. Le rendement global de l'opération se situe dans une fourchette de 50 à 60 %.

Les véhicules hybrides

Reste la possibilité d'alimenter le (les) moteur(s) de la voiture électrique à partir d'une batterie elle-même char-

gée à bord par un alternateur entraîné par un moteur à essence ou diesel. C'est le principe des véhicules hybrides actuels. Le rendement du groupe propulseur peut atteindre 40 % dans le meilleur des cas, car cette solution permet d'utiliser le moteur thermique à sa puissance nominale où son rendement est maximum. Le tableau 29 résume les résultats obtenus pour ces différents véhicules.

Ces rendements sont à comparer avec ceux des filières actuelles de motorisation, qui tournent autour de 17 % pour les moteurs modernes essence à injection et de 22 % pour le diesel à injection directe (*common rail*).

On voit que les rendements énergétiques des différentes filières évoluent dans une large fourchette : 4 à 5 % pour la filière hydrogène ex-électrolyse quand l'électricité est produite à partir de photovoltaïque ; 8 à 10 % quand l'électricité est d'origine nucléaire ou charbon ; 40 % pour l'électricité produite à partir de gaz naturel dans une centrale à cycle combiné ; et plus de 65 % pour la filière électricité directe lorsque celle-ci est produite par de l'hydraulique. Mais cet avantage ne s'applique qu'à des véhicules de faible autonomie (de l'ordre de 100 à 150 km) et à délai de recharge élevé (plusieurs heures), qui sont limités à un usage en ville tant que les infrastructures d'échange de batteries, sur le modèle des relais de poste, ne seront pas disponibles.

Tableau 29. Fourchettes de rendement « du puits à la roue » des différents véhicules non conventionnels susceptibles d'être mis sur le marché dans les 10 ans et utilisés en cycle urbain (en pourcentage)

	Rendement jusqu'au moteur	Rendement du groupe motopropulseur	Rendement total
Véhicule électrique à moteur central	5-66	85	4,2-66
Véhicule électrique « moteur-roue »	5-66	95	4,8- 63
Véhicule à PAC hydrogène compressé ex-électrolyse*	4-43	55	2-24
Véhicule à PAC hydrogène compressé ex-gaz naturel*	55-60	55	30-33
Véhicule à PAC ex-méthanol*	50-60	45	22-27
Hybride essence 2005	80-82	35-40	28-33

Note : * hypothèse : tous les véhicules à PAC sont équipés de « moteur-roue ».

Source : la prospective d'évaluation économique des filières non nucléaires (Mission d'évaluation économique de la filière nucléaire, juillet 2000) et calculs de l'auteur.

Il faut également observer qu'à l'exception notable du véhicule « moteur-roue » électricité ex-renouvelables (hydraulique, éolien) ou gaz naturel, les meilleures filières ne permettent que des gains relativement modestes par rapport aux meilleurs diesels actuels (au maximum de 11 points), même s'ils restent souvent appréciables par rapport aux meilleures filières essence actuelles (jusqu'à 16 points).

Du point de vue des ressources énergétiques et de la sécurité d'approvisionnement en pétrole, la voie la plus prometteuse semble être l'usage direct d'électricité, soit dans des véhicules dont les missions sont réduites aux faibles déplacements, soit dans des véhicules possédant à la fois un moteur thermique et des batteries de capacité suffisante et

susceptibles d'être rechargées sur le réseau électrique. Mais cela suppose bien entendu de disposer d'un réseau électrique et de moyens de production suffisants.

Les émissions de GES

Le tableau 29 permet de comparer aisément les fourchettes d'émissions de GES engendrées par les différentes filières à la filière la plus répandue actuellement – la filière essence. C'est l'objet du tableau 30, où la comparaison est effectuée par rapport à un véhicule type à essence censé émettre 130 grammes de CO₂ par km à l'échappement (5 litres aux 100 km). Compte tenu des pertes de raffinage et de transport du carburant (de l'ordre de 15 %), un tel véhicule émet en fait de l'ordre de 150 grammes de CO₂ par km.

Tableau 30. Émissions de GES : comparaisons des filières (en gramme/km)

	Émissions de CO ₂ (compte tenu de l'amont du carburant)
Véhicule essence de référence (130 grammes/km)	150
Diesel <i>common rail</i>	115
Hybride essence	75-90
Véhicule électrique classique	
Électricité gaz naturel	50- 70
Électricité nucléaire ou renouvelable	5-10
Électricité charbon	125-165
Mix électrique européen	48- 68
Véhicule électrique avancé (moteur-roue)	
Électricité gaz naturel	45- 63
Électricité nucléaire ou renouvelable	4-9
Électricité charbon	110-150
Mix électrique européen	43-60
Véhicule à PAC hydrogène ex-électrolyse	
Électricité gaz naturel	145
Électricité nucléaire ou renouvelable	5-10
Électricité charbon	350
Mix électrique européen	140
Véhicule à PAC hydrogène ex-méthanol	75-90
Véhicule à PAC hydrogène ex-gaz naturel	60-70

Source : calculs de l'auteur.

Le rapprochement des tableaux 29 et 30 permet de mettre en évidence les points suivants :

- la filière voiture électrique alimentée par de l'électricité d'origine renouvelable affiche les meilleures performances combinées sur le plan de la préservation des ressources et des émissions de GES. C'est également le cas pour le véhicule alimenté par de l'électricité nucléaire, en ce qui concerne les émissions de CO₂²⁶. Vient ensuite la voiture électrique ex-gaz naturel. Il faut noter que même avec de l'électricité ex-charbon, cette filière n'engendre pas d'émissions plus importantes que la filière essence actuelle, ce qui met bien en relief l'avantage de rendement qu'apporte une motorisation électrique ;
- la filière à PAC à hydrogène ex-gaz naturel arrive ensuite, qui combine une efficacité énergétique honorable et des émissions légèrement supérieures à la filière précédente ;
- les véhicules hybrides à essence et à PAC à hydrogène ex-méthanol à reformeur embarqué font jeu à peu près égal ;
- en revanche, les filières à PAC à hydrogène électrolytique, plombées par leurs très mauvais rendements, affichent de mauvaises performances d'émissions. L'exception nucléaire, où les émissions de CO₂ sont évidemment faibles, se paye d'un très mauvais rendement énergétique et des différents risques associés à cette énergie. Cet inconvénient disparaît si l'électricité est produite par des énergies renouvelables.

En Europe, l'introduction de véhicules électriques dans le parc partout où cela est possible est de nature à diminuer sensiblement la pression sur l'approvisionnement en pétrole, puisque celui-ci ne contribue que marginalement à la production d'électricité (< 10 %). Elle devrait également permettre de diminuer les émissions spécifiques de GES des nouveaux véhicules d'un facteur 2 par rapport aux véhicules équivalents à essence et de 70 % par rapport aux véhicules diesel. L'introduction de véhicules hybrides ou de véhicules à PAC méthanol est susceptible d'engendrer des économies de pétrole de 30 à 35 % par rapport au diesel actuel et une diminution de 40 % des émissions de CO₂.

De réelles marges de progrès technique pour des résultats malgré tout modestes

Ce tour d'horizon montre qu'il existe encore des marges de progrès non négligeables en matière de nouvelles motorisations électriques. Si elles parvenaient à pénétrer sur le marché de façon massive, et malgré de nombreuses contraintes de nature technique ou organisationnelles²⁷, elles devraient permettre une réduction sensible des consommations unitaires de pétrole, une diversification des sources de carburants vers d'autres énergies fossiles, du nucléaire ou des renouvelables et une réduction des émissions de CO₂.

La combinaison de l'ensemble des progrès techniques décrits pourrait au mieux se traduire, à l'horizon de 35 à 40 ans, par une consommation équivalente moyenne mondiale de l'ordre de trois litres aux 100 km (véhicules d'entrée de gamme), contre un peu plus de cinq aujourd'hui, et par une réduction des émissions spécifiques de CO₂ d'un facteur 2 au grand maximum. Ces résultats – loin d'être négligeables – attirent néanmoins plusieurs commentaires.

Tout d'abord, il est assez surprenant de voir réapparaître aujourd'hui l'objectif des « voitures 3 litres » comme l'aboutissement d'un long et coûteux processus, alors qu'il était acquis il y a plus de 20 ans²⁸. Ensuite, si l'on met en regard les effets potentiels maximaux du progrès technique que nous venons de décrire – à supposer qu'il se répande dans l'ensemble du monde avec la dynamique nécessaire pour jouer à plein en 2050, ce qui est loin d'être acquis – on constate que ceux-ci sont loin d'être suffisants pour assurer une stabilisation des consommations de pétrole et, *a fortiori*, l'indispensable diminution des émissions de GES que la croissance prévue des trafics automobiles risque d'entraîner²⁹. L'AIE anticipe ainsi une multiplication par 2,2 du parc mondial de voitures individuelles d'ici 2030. Sans même parler

²⁶ Ce n'est évidemment pas le cas pour la préservation des ressources de combustible nucléaire ni pour les autres problèmes d'environnement et de sécurité du nucléaire.

²⁷ Parmi lesquelles la question du véhicule dédié à la seule ville, la création d'un réseau de recharge ou de rechange de batteries électriques, la distribution d'hydrogène sous pression dans des stations-service, etc.

²⁸ Les constructeurs automobiles répliquent que la puissance, le confort et la sécurité des véhicules actuels (beaucoup plus lourds que les prototypes 3 litres) sont sans commune mesure avec les véhicules 3 litres des années 1980, ce qui est probablement vrai mais pas forcément pertinent...

²⁹ Dans la plupart des scénarios, le trafic automobile mondial est multiplié par un facteur supérieur à 4 en 2050 par rapport à 2005 (soit une croissance moyenne de 3,5 % par an), alors que le progrès technique envisagé ne permet qu'un gain d'un facteur inférieur à 2 à cette même date sur les émissions (1,6 % par an).

des risques liés à la prévisible montée en gamme des véhicules dans le monde, il n'est manifestement pas possible de compter sur le seul succès éventuel des percées

technologiques potentielles pour répondre aux défis que constituent la raréfaction du pétrole et le réchauffement climatique.

3.3 Les agrocarburants dans la ligne de mire³⁰

Censés réduire les émissions de GES engendrées par le secteur des transports et rendre celui-ci moins dépendant des carburants pétroliers, les agrocarburants sont en pleine expansion. S'ils restent marginaux par rapport à la consommation totale des transports routiers, à moins de 2 %, ils sont tirés par les ambitieux objectifs de développement fixés par les pouvoirs publics, que ce soit aux États-Unis ou en Europe. La France compte ainsi atteindre un taux d'incorporation de 7 % dès 2010 et l'UE envisage un taux de 10 % d'ici 2020. De leur côté, les pays du Sud se mobilisent, qu'il s'agisse de réduire leur dépendance à l'égard du pétrole ou d'exporter pour répondre à la demande du Nord. Cet engouement soudain qui s'accompagne d'un développement à marche forcée suscite des controverses. En cause, les bilans énergie et GES des agrocarburants et leur impact sur les écosystèmes, les systèmes agraires traditionnels ou la production alimentaire.

Au Nord : en finir avec les bilans énergie-GES taillés sur mesure

Deux arguments officiels fondent le recours aux agrocarburants : l'indépendance énergétique et la réduction des émissions de GES. Mais la culture des plantes utilisées et leur transformation nécessitent de l'énergie et engendrent des émissions de GES : l'intérêt réel des agrocarburants doit donc être apprécié en détail dans le cadre d'une analyse de cycle de vie (ACV) « du champ à la roue ». Il s'agit d'établir pour chaque filière un bilan énergie-GES aussi proche que possible de la réalité et ce, dans un contexte où les enjeux industriels et politiques prennent vite le pas sur l'objectivité³¹. Ainsi en France, le lancement en 2003 d'un ambitieux plan « Biocarburants » a été précédé par la réalisation d'une étude très favorable aux filières projetées (ADEME-DIREM, 2002) mais dont la validité méthodologique a été vivement contestée, au point qu'une nouvelle évaluation a dû être lancée en 2007. Confiée à la société Bio Intelligence Service (Bio IS) et encadrée par un comité

technique où, fait nouveau, la société civile était représentée³², cette nouvelle évaluation s'est limitée dans une première phase à l'examen des méthodes en concurrence afin de définir la plus appropriée.

Mesurer les coûts énergétiques et les impacts environnementaux

La comparaison entre agrocarburants et carburants pétroliers présente une difficulté majeure : comme la production des agrocarburants de 1^{ère} génération s'accompagne de celle de coproduits (le plus souvent majoritaires en masse et utilisés pour l'alimentation animale), il faut définir les méthodes d'allocation des coûts énergétiques et des impacts environnementaux aux différents coproduits afin de pouvoir établir le bilan énergie-GES des agrocarburants proprement dits. Trois méthodes concurrentes sont envisageables.

La *méthode de substitution* (ou des impacts évités) impute à l'agrocarburant l'ensemble des consommations énergétiques et des émissions de GES, déduction faite des économies réalisées (c'est-à-dire des impacts évités) grâce à l'utilisation du (des) coproduit(s) secondaire(s) à la place d'un bien que l'on est désormais dispensé de produire. Cette méthode est celle qui reflète le mieux l'incidence de l'insertion de la filière dans le tissu économique existant, mais elle nécessite de nombreuses données sur l'usage des coproduits et l'établissement des bilans énergétiques et GES des produits remplacés.

La *méthode d'imputation massique*, d'application plus simple, attribue à chacun des coproduits une part des

³⁰ D'après Sadones, P., J.-D. Crola et P. Cornut (2009), « Regards critiques sur la folie agrocarburants », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

³¹ Les analyses développées ici s'appuient sur les travaux de l'association EDEN (www.espoir-rural.fr/nos-partenaires/energies-durables-en-normandie). Une version longue de ce texte est d'ailleurs en ligne sur ce site.

³² Par deux membres du Réseau Action Climat – France.

coûts énergétiques et des émissions, proportionnelle à leur masse (comptée en matière sèche). Retenue par l'étude ADEME-DIREM (2002), cette méthode donne les bilans les plus favorables aux agrocarburants – et pour cause : elle les décharge de la plus grosse part des coûts énergétiques et des émissions, opportunément transférés sur les coproduits secondaires, lesquels se voient allouer des charges sans commune mesure avec celles nécessaires pour produire et transporter les aliments du bétail remplacés.

Enfin, la *méthode d'imputation au contenu énergétique* alloue consommations d'énergie et émissions de GES aux agrocarburants et aux coproduits au prorata de leurs contenus énergétiques respectifs. Plus simple d'application que la méthode systémique des impacts évités, plus cohérente avec la finalité énergétique des filières étudiées que la méthode d'imputation massique, cette troisième méthode est celle recommandée par Bio IS (2008).

La question du protoxyde d'azote

Une deuxième difficulté concerne le volet GES des bilans : en plus du CO₂ lié aux consommations énergétiques, il faut comptabiliser le protoxyde d'azote (N₂O) lié à l'utilisation d'engrais azotés sur les sols cultivés. Le facteur clé ici est le taux de conversion de l'azote des engrais en N₂O. Or, les différentes études de bilan ne retiennent pas les mêmes données sur les intrants azotés et ne s'appuient pas sur les mêmes taux de conversion ! Sachant que le PRG sur 100 ans du N₂O est 296 fois plus élevé que celui du CO₂, on mesure l'import-

tance de ce point : pour les filières étudiées par Bio IS, le N₂O représenterait de 19 à 42 % du bilan GES total.

Des performances revues à la baisse

Dans leurs principes comme dans leurs détails, tous ces choix méthodologiques sont lourds de conséquences. En témoignent les résultats de deux études utilisant la méthode d'imputation massique (ADEME-DIREM, 2002) et la méthode de substitution (JRC/CONCAWE/EUCAR, 2007) complétées, pour la méthode d'imputation au contenu énergétique, par les calculs d'EDEN basés sur les préconisations de Bio IS (tableau 31).

Les deux méthodes les plus pertinentes donnent des bilans bien moins favorables que la méthode d'imputation massique, dont on a pu voir qu'elle avantageait artificiellement les agrocarburants. Les filières éthanol perdent ainsi à ce stade l'essentiel de leur légitimité, sachant que les études citées ne prennent pas en compte l'incorporation de l'éthanol sous forme d'ETBE³³, alors qu'il s'agit de la principale forme d'utilisation en Europe et que la synthèse de l'ETBE consomme à elle seule plus de 20 % du contenu énergétique de l'éthanol utilisé. Avec une efficacité énergétique (EE) nettement inférieure à 1, l'éthanol sous forme d'ETBE ne peut être qualifié de renouvelable et son utilisation en substitution à de l'essence ne réduit pas les émissions de GES. Exit donc l'éthanol. Pour les filières diester, l'EE et le gain en GES – beaucoup plus faibles qu'annoncé en 2002 – restent toutefois intéressants à ce stade.

Tableau 31. Résultats des différentes méthodes d'établissement des bilans énergie-GES

	ADEME-DIREM (2002)		JRC/CONCAWE/EUCAR (2007)		EDEN (2008)	
	EE*	GES (%)	EE*	GES (%)	EE*	GES (%)
Blé	2.04	-57	1.19	-22	1,12	-22
Betterave	2.04	-58	1.28	-24	nea	nea
Colza	2.99	-69	2.50	-64	2,14	-49
Tournesol	3.16	-71	neb	neb	neb	neb

* EE : efficacité énergétique = rapport production/intrant (*output/input*).

nea^a : filière non étudiée faute de données fiables.

neb^b : filière non étudiée car marginale en raison du prix élevé des graines.

Source : *petit mémento énergétique (Global Chance) et calculs de l'auteur.*

³³ Éthyl-tertio-butyl-éther. L'ETBE est un carburant obtenu par synthèse chimique de l'éthanol et de l'isobutène. Il peut être incorporé jusqu'à 15 % en volume dans l'essence.

Dans l'angle mort des bilans : les changements d'affectation des sols

Un autre facteur contribue à dégrader le bilan GES de l'ensemble des filières de 1^{ère} génération : il s'agit de leur impact en termes de changement d'affectation des sols (CAS), qui est d'autant plus fort que la productivité en agrocarburant par unité de surface est faible. Les CAS sont directs si la culture énergétique se fait aux dépens d'un milieu naturel non cultivé et indirects si elle repousse vers d'autres surfaces une production agricole préexistante. Ce facteur n'a jusqu'à présent pas été pris en compte par les études de bilan, alors même qu'il pèse sur le bilan GES : les mises en culture entraînent un déstockage du carbone séquestré dans la biomasse et le sol, tout en engendrant de nouvelles émissions de N₂O...

Les conclusions de Bio IS sur ce sujet sont sans appel : dans le cas du colza par exemple, il faut 50 années de production d'agrocarburant pour effacer le préjudice GES engendré par la mise en culture si elle se fait au détriment d'une prairie et 200 années s'il s'agit d'une surface boisée !

Les partisans du diester se réfugient derrière le fait que l'extension des surfaces en colza énergétique ne se fait au détriment ni des prairies ni des forêts, mais seulement sur des zones déjà cultivées auparavant et surtout destinées à l'export. Oublieux de la composante indirecte du problème, ce raisonnement confine à l'hypocrisie, comme le montre l'analyse des conséquences du développement des agrocarburants sur le système agricole mondial.

Du Nord au Sud : effets dominos et vases communicants

Les objectifs de consommation d'agrocarburants que se fixent les pays riches ont un impact considérable sur les pays en développement, du fait de leurs conséquences en cascade sur la production et les échanges agricoles.

Des agrocarburants du Sud pour les voitures du Nord

Il faut noter avant tout l'ampleur de ces objectifs de consommation, trop importants pour éviter des importations en provenance des pays du Sud. D'après l'OCDE (2008)³⁴, leur mise en œuvre à l'échelle européenne supposerait de consacrer 72 % des surfaces agricoles disponibles à la pro-

duction d'agrocarburants. L'UE admet explicitement qu'il faudra augmenter les importations d'agrocarburants ou de matières premières pour les produire : en juillet 2007, Peter Mandelson, alors commissaire européen au commerce, déclarait qu'il faudrait accepter cette idée, en particulier si les agrocarburants produits au Sud se révélaient « *moins chers et plus propres* »³⁵. Cet argument de la compétitivité économique et environnementale est de plus en plus mis en avant pour justifier le choix d'un développement des agrocarburants largement basé sur les importations. Claude Mandil, alors directeur de l'AIE, a ainsi souligné en 2007 que leur bilan énergétique ne justifiait pas les subventions massives nécessaires à l'équilibre économique des filières éthanol au Nord, avant d'appeler l'UE et les États-Unis à importer plutôt qu'à produire sur leurs propres territoires³⁶. Les États-Unis sont de fait dans la même situation que l'Europe : pour atteindre les objectifs ambitieux fixés par la loi sur l'indépendance énergétique et la sécurité (*Energy Independence and Security Act*) de 2007, ils devront faire largement appel aux agrocarburants produits au Sud, en particulier dans les pays latino-américains³⁷.

Qu'elle vienne de l'UE ou des États-Unis, cette demande incite le Sud à développer ses capacités de production et donc les surfaces dédiées aux agrocarburants. Au Brésil, dont l'éthanol de canne à sucre est présenté comme la panacée écologique, le syndicat des industriels de la canne prévoit par exemple d'ici 2020 un doublement de la production et des surfaces, qui passeraient de 7 à 14 millions d'hectares³⁸. Or, cette expansion rapide est lourde de conséquences : les quelque 90 millions d'hectares de terres arables du pays et les zones de canne à sucre sont pour la plupart situés loin de l'Amazonie, mais leur développement repousse d'autres cultures (soja, élevage...) vers celle-ci³⁹. Tiré par les exportations et la demande intérieure, le nouvel essor de l'éthanol brésilien

³⁴ Les chiffres varient fortement selon les études et les hypothèses.

³⁵ Dans un discours, *The biofuel challenge*, prononcé lors d'une conférence internationale sur les agrocarburants organisée par la Commission européenne.

³⁶ *Le Figaro*, « Biocarburant : l'AIE préconise l'importation plutôt que la production », 14 octobre 2007.

³⁷ US Department of Energy (2008), *World Biofuels Production Potential: Understanding the Challenges to Meeting the U.S. Renewable Fuel Standard*, 15 septembre.

³⁸ UNICA, *Frequently Asked Questions About the Brazilian Sugarcane Industry*.

³⁹ Friends of the Earth (2008), *Sustainability as a Smokescreen: the inadequacy of certifying fuels and feeds*, avril.

contribue ainsi à accentuer la déforestation – une situation dont la gravité a été mise en lumière par la démission soudaine, en mai 2008, de la ministre de l'Environnement, Marina Silva. En Asie du Sud-Est, c'est l'huile de palme, elle aussi considérée comme offrant un bon bilan énergie et GES, qui se développe pour satisfaire entre autres la demande du Nord en agrodiesel. D'ici 2020, plus du quart de la production de l'UE pourrait ainsi être assuré par l'importation annuelle de 5,5 milliards de litres d'huiles végétales⁴⁰. Dans des pays comme l'Indonésie et la Malaisie, cela conduirait à une explosion des surfaces dédiées à l'huile de palme, aux dépens de la forêt primaire humide et des tourbières...

Produits agricoles alimentaires : les importations du Nord relancées

Les répercussions transfrontalières des choix politiques de l'UE et des États-Unis prennent aussi la forme d'une demande accrue en produits agricoles alimentaires du Sud pour combler les déficits provoqués par la réaffectation de terres agricoles à la production d'agrocarburants au Nord. Ainsi en Europe, la production de diester à partir de colza diminue les quantités de graines disponibles pour les besoins alimentaires⁴¹, creusant un déficit déjà chronique en matières grasses végétales... Or, l'UE prévoit de satisfaire la majeure partie de sa demande en agrodiesel grâce au colza produit sur ses sols : elle devra donc détourner une énorme quantité de sa production d'huile alimentaire et augmenter fortement ses importations, en particulier d'huile de palme (Thoenes, 2006). Ces dernières ont d'ailleurs déjà plus que doublé entre 2000 et 2006. L'on observe le même type d'effets en cascade sur le continent américain : aux États-Unis, la demande de maïs monte en flèche avec l'ambitieux programme de développement de l'éthanol. Pour y répondre, les agriculteurs américains et canadiens délaissent le soja en faveur du maïs. Résultat : le déficit en soja se creuse, qu'il faut combler par l'importation, ce qui entraîne une augmentation des surfaces cultivées en Amérique latine avec, pour corollaire, un déboisement accru dans le bassin de l'Amazonie.

Impacts en termes d'émissions de GES

Les répercussions en cascade du développement des agrocarburants ont bien sûr des conséquences sur les

populations du Sud, que nous aborderons plus loin. Mais elles ont aussi un impact déterminant sur les bilans GES des agrocarburants, dès lors que l'on intègre les CAS au Sud.

On a vu le poids de ce facteur dans le bilan GES des filières étudiées par Bio IS en France. Les résultats sont tout aussi révélateurs pour les filières du Sud. Dans un rapport pour le gouvernement britannique, E4Tech a calculé qu'il faudrait entre 65 et 138 ans pour que les gains liés à l'utilisation d'agrodiesel produit sur une surface déforestée en Malaisie compensent les pertes liées à la déséquestration initiale du carbone et entre 56 et 144 ans dans le cas de l'éthanol brésilien⁴². Une fois encore, la conversion de surfaces non cultivées engendre d'emblée une « dette carbone » initiale très longue à « rembourser » (Fargione *et al.*, 2008). La pertinence écologique des politiques actuelles d'agrocarburants paraît dès lors définitivement sujette à caution. Sur la base de prévisions optimistes⁴³ de la Commission européenne, Oxfam estime par exemple que la hausse de la demande de l'UE en huile de palme⁴⁴ entraînera d'ici 2020 l'émission de 3,1 à 4,6 milliards de tonnes de CO₂ du fait de CAS indirects (Oxfam International, 2008). Ces émissions, non comptabilisées par les promoteurs européens du diester, représentent de 46 à 68 fois les économies annuelles estimées par la Commission européenne à l'horizon 2020 grâce à tous les agrocarburants (CCE, 2008)...

Au Sud : impacts sociaux et crise alimentaire

Sur le plan de la lutte contre le changement climatique, les espoirs placés dans les agrocarburants ne pèsent pas lourd face à l'expansion de la frontière agricole que leur développement entraîne. Mais les populations des pays du Sud, elles aussi, ne pèsent pas lourd face à la « folie agrocarburants ».

⁴⁰ Joint Research Center (2007), *Biofuels in the European Context: Facts, Uncertainties and Recommendations*, 19 décembre.

⁴¹ En 2007, la France a ainsi consacré 65 % de sa production de colza à l'agrodiesel.

⁴² E4Tech (2008), *Biofuel Review: Greenhouse gas savings calculations for the Renewable Fuel Agency*, juin.

⁴³ Car supposant que plus d'un quart de la demande en agrodiesel sera satisfaite par les filières dites de 2^e génération.

⁴⁴ Pour produire de l'agrodiesel mais aussi pour remplacer l'huile de colza et d'autres huiles alimentaires détournées vers cet usage énergétique.

L'agriculture familiale ne fait pas le poids face à l'agro-industrie

En Afrique, en Asie ou en Amérique latine, les cultures d'exportation (coton, cacao et café) ont connu leur heure de gloire. Aujourd'hui, ce sont les cultures à vocation énergétique qui bénéficient de toute l'attention des pays industrialisés. La course des entreprises et des investisseurs pour acquérir de nouvelles terres entraîne le déplacement de populations vulnérables dont les droits d'accès à la terre sont localement peu protégés, alors même que ces pratiques violent la Déclaration des Nations unies sur les droits des peuples autochtones⁴⁵, adoptée en 2007. Les petits producteurs sont contraints de laisser les meilleures terres aux groupes agro-industriels ou de modifier leur production au détriment des cultures vivrières et de leur mode de vie traditionnel. Les Nations unies estiment ainsi que 60 millions de personnes sont menacées d'expropriation pour faire place aux plantations nécessaires à la production d'agrocarburants⁴⁶. Par ailleurs, alors que les agricultures familiales sont peu soutenues dans les pays du Sud, les agro-industriels bénéficient de zones franches et de réductions de taxes pour favoriser leurs investissements ou profitent de vides législatifs, notamment en Afrique⁴⁷. Or, ce marché créé de toutes pièces est loin de mener au développement. De plus en plus mécanisées et intensives, les monocultures énergétiques mobilisent de larges surfaces mais offrent de moins en moins d'emplois. Sans parler des conditions de travail, parfois déplorables : au Brésil, 312 ouvriers seraient morts au travail et 83 000 auraient été blessés de 2002 à 2005⁴⁸. Amnesty International a récemment signalé des cas de travail forcé⁴⁹ : pour les soutiers de l'industrie des agrocarburants, la vie est loin d'être soutenable.

Crise alimentaire : les agrocarburants au banc des accusés

La terre produit aujourd'hui suffisamment pour nourrir l'ensemble de la population mondiale. Pourtant, 925 millions de personnes souffrent de la faim dans les pays du Sud, dont les trois quarts vivent en milieu rural. Le doublement des prix des denrées alimentaires au cours des trois dernières années est donc un véritable choc pour les pays du Sud, surtout lorsqu'ils sont dépendants des importations pour nourrir leur population. Si les déterminants de cette hausse sont nombreux, seules la spéculation sur les marchés agri-

coles et la demande accrue en agrocarburants peuvent expliquer la flambée récente des cours. Ainsi, 60 % de l'augmentation de la demande de céréales et d'huiles végétales entre 2005 et 2007 est imputable aux agrocarburants (OCDE, 2008). Or, en raison du niveau extrêmement bas des réserves, toute augmentation brutale de la demande a un impact très fort sur les prix. D'après le FMI, l'augmentation de la demande en agrocarburants a ainsi compté pour 70 % dans la hausse des cours mondiaux du maïs en 2007 (FMI, 2008).

Pour les ménages pauvres, qui consacrent la majeure part de leurs revenus à se nourrir, les conséquences sont dramatiques : l'ONU estime que chaque point d'augmentation plonge 16 millions de personnes dans la pauvreté et la faim (Boloignon, 2008). Tandis que l'AIE envisage un décuplement de la consommation totale d'agrocarburants d'ici 2030 (AIE, 2007), certains experts chiffrent à 600 millions l'augmentation du nombre de personnes qui connaîtront la faim en 2025 si la ruée vers les agrocarburants se poursuit au rythme actuel (Ford Runge et Senauer, 2007).

Entre promesses et controverses

Aux promesses initiales ont succédé les controverses. Mais les décideurs, loin de revenir sur leurs choix politiques, rejouent avec les promoteurs des agrocarburants la carte des lendemains qui chantent, en braquant les projecteurs sur les espoirs qu'ouvriraient les agrocarburants de 2^e génération et la mise en place de filières certifiées. Aux controverses répondent ainsi de nouvelles promesses et la « folie agrocarburants » n'a pas fini de soulever des interrogations.

⁴⁵ <http://www.un.org/esa/socdev/unpfi/fr/drip.html>.

⁴⁶ Forum permanent des Nations unies sur les questions indigènes, 2008.

⁴⁷ African Biodiversity Network (2007), *Agrofuels in Africa: the Impacts on Land, Food and Forests* (www.gaiafoundation.org/documents/ABN%20Agrofuels%20Africa.pdf).

⁴⁸ Chiffres de l'administration de la sécurité sociale cités dans The Guardian, "Brazil disputes cost of sugar in the tank", 10 juin 2008.

⁴⁹ Amnesty International (2008), Rapport 2008 : *la situation des droits humains dans le monde*.

3.4 Des carburants liquides propres à partir du charbon ou du gaz⁵⁰ ?

La crainte d'une raréfaction rapide de l'accès aux ressources pétrolières suscite depuis quelques années un regain d'intérêt pour les filières d'obtention de carburants liquides analogues à l'essence, au kérosène ou au diesel à partir d'autres ressources fossiles que le pétrole, en particulier le charbon et le gaz naturel. L'idée n'est pas nouvelle : dès 1920, Hans Fischer et Frantz Tropsch ont réussi à produire du gaz de synthèse par vaporeformage, un mélange d'hydrogène et d'oxyde de carbone (CO), puis à le transformer par synthèse catalytique à haute température en hydrocarbure complexe dont on extrait des carburants automobiles. Cette méthode d'obtention de carburant – dite « indirecte », dans la mesure où elle passe par la fabrication de gaz de synthèse $\text{CO} + \text{H}_2$ – n'est pas la seule possible. Il existe d'autres voies, directes ou indirectes, d'obtention de carburants liquides automobiles à partir de charbon.

La solution de Fischer et Tropsch a connu des applications industrielles pendant des périodes de crise et de rupture brutale d'approvisionnement en carburants pétroliers, comme en Allemagne pendant la seconde guerre mondiale ou dans les années 1950-1960 en Afrique du Sud, du temps où ce pays, en plein apartheid, était soumis à un sévère embargo pétrolier. À ces différentes époques, le prix de revient de ces carburants de synthèse restait beaucoup plus élevé que celui des carburants pétroliers, alors particulièrement bon marché.

La flambée des prix pétroliers a changé la donne au tournant des années 2000. Depuis les années 1950, des progrès significatifs sont enregistrés sur ces procédés, qui sont communs avec ceux de transformation de la biomasse lignocellulosique en carburant. Il devenait donc tentant de les développer industriellement avec l'espoir de détendre la pression qu'exerce la demande mondiale croissante de carburant pétrolier.

Mais l'avènement du 21^e siècle marque aussi une prise de conscience du danger majeur que représentent pour la planète les perspectives de réchauffement climatique. La question des émissions de GES associées à la chaîne

complète de fabrication, de transport et de distribution de ces nouveaux carburants de synthèse par rapport aux carburants classiques est devenue aujourd'hui centrale.

C'est donc du triple point de vue de la sécurité énergétique, de l'économie et des émissions de GES qu'il faut analyser les perspectives de développement du CtL (*coal to liquid*) et du GtL (*gaz to liquid*) ainsi que leur potentiel à moyen et long termes.

La filière CtL

Il existe aujourd'hui de nombreuses voies de valorisation possible du charbon hors du secteur de la production d'électricité (cf. graphique 16).

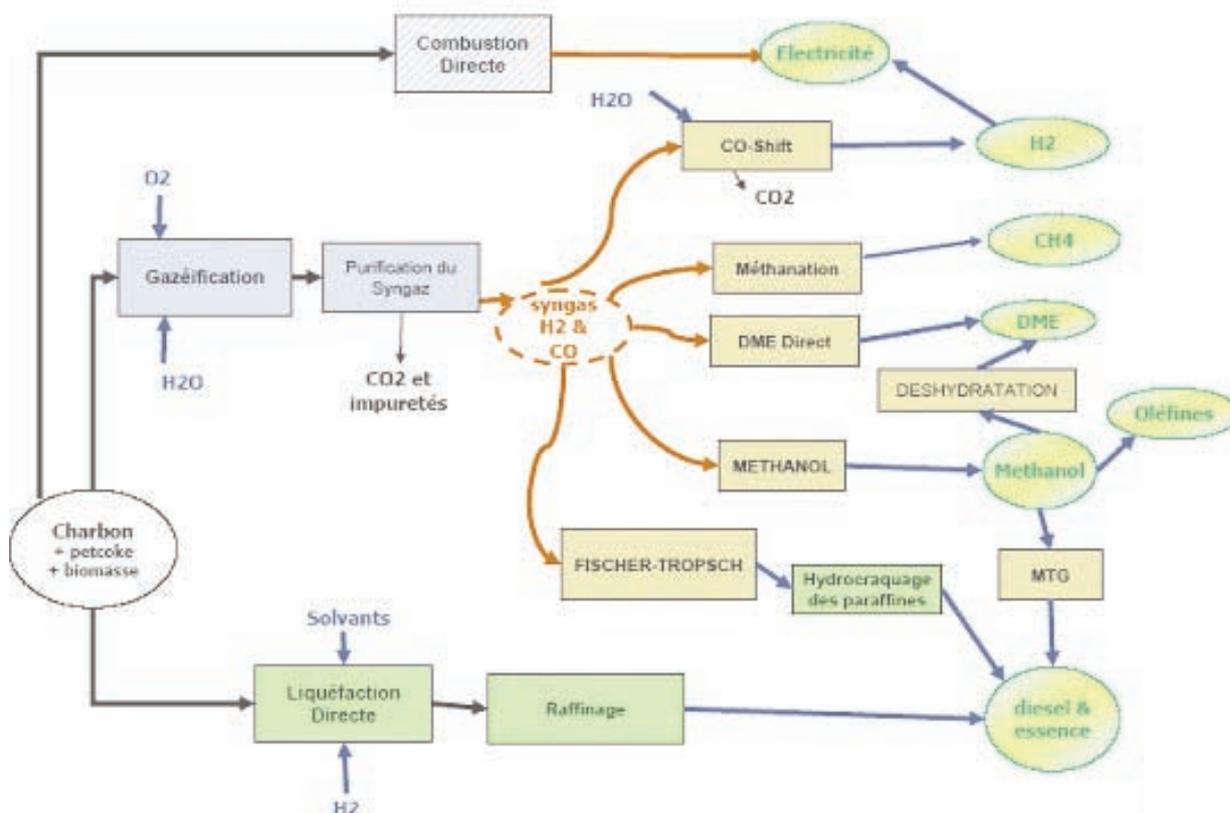
La hausse des cours de brut a ainsi fait émerger de nombreuses voies de valorisation du charbon hors carburant liquide, dont la pétrochimie par les voies « oléfines » qui débouchent sur le polypropylène et polyéthylène.

Pour la production de carburants liquides, les voies de liquéfaction directes et indirectes (*via* la synthèse Fischer-Tropsch) du charbon sont celles qui sont le plus souvent envisagées – on parle alors de CtL. Il existe néanmoins deux autres solutions à partir de la production du méthanol, qui est une synthèse relativement « simple » en comparaison de la voie Fischer-Tropsch. Ce méthanol peut être utilisé directement en mélange dans les voitures (actuellement en pratique en Chine) ou converti dans des produits jugés de meilleure qualité pour un usage dans le secteur des transports comme l'essence ou le DME pour moteur diesel.

Les principaux projets sont essentiellement envisagés en Chine et aux États-Unis, pour des raisons historiques en Afrique du Sud et, dans une moindre mesure, en Inde (Malençon et Massol, 2008 ; Bessereau, et Sanière, 2008 ; Boisseau, 2008). Outre le projet de liquéfaction directe de Shenhua de 20 000 barils/jour et son extension à

⁵⁰ Global Chance (2009), *op. cit.*

Graphique 16. Voies de valorisation du charbon hors électricité



Source : IFP - Panorama 2008 - Philippe Boisseau.

50 000 barils/jour prévue pour 2015, la Chine a annoncé des projets considérables portant sur un total de plus de 700 000 barils/jour (voies directe et indirecte) d'ici 2020. Au plan national, cela se traduirait par un supplément de consommation d'environ 220 Mt de charbon par an (près de 9 % de la consommation de 2004) alors que les réserves de la Chine ne représentent que 55 ans au rythme actuel de consommation. Les incertitudes sur cette filière en Chine restent donc nombreuses, notamment en raison des risques environnementaux et financiers (chaque usine pourrait requérir un investissement supérieur à 5 milliards USD). De son côté, la société sud-africaine Sasol a dans ses cartons une extension de capacité de 80 000 barils/jour, soit en Afrique du Sud, soit en Inde. Enfin, on dénombre aux États-Unis un minimum de six projets de liquéfaction pour une capacité ultime cumulée de près de 150 000 barils/jour. Certains de ces projets sont déjà parvenus au stade de la demande d'autorisation administrative, d'autres sont simplement en cours d'étude de faisabilité.

Le total de ces capacités converge avec les données de l'AIE (AIE, 2006), qui évalue à 750 000 barils/jour la capacité mondiale de production de carburants liquides par ces voies à l'horizon 2030, pour l'essentiel localisée en Chine. On voit ainsi que même si le seuil de rentabilité de ces projets est aujourd'hui atteint, avec les visions les plus optimistes, la capacité de liquéfaction restera longtemps marginale vis-à-vis de l'approvisionnement en brut « traditionnel » : les 750 000 barils/jour annoncés représentent en effet moins de 1 % de la capacité de raffinage mondial ou quatre raffineries de taille moyenne.

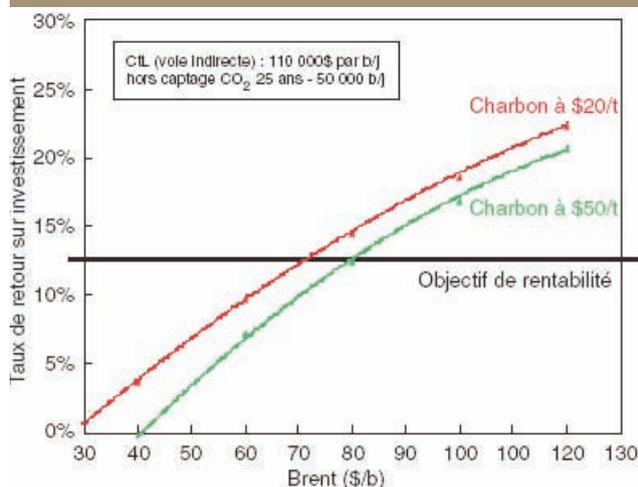
Performances énergétiques et économiques

En supposant que tout l'hydrogène nécessaire au complexe est produit à partir du charbon, le rendement en produit liquide pour les filières CtL est de l'ordre de 3 barils de produit liquide/tonne de charbon, soit environ 0,5 l/kg de charbon, pour un rendement énergétique se situant entre 50 et 60 % (Marion, 2008).

Les performances économiques de la filière CtL sont étroitement liées au prix du charbon, qui reste relativement bon marché par rapport aux autres sources d'énergie. Le graphique 17 montre une évaluation du taux de retour sur investissement (après impôts) d'une usine de liquéfaction de charbon basée sur la technologie indirecte en fonction du prix du brut de référence (Brent), pour une unité de grande taille. L'unité sera préférentiellement implantée près de la mine pour éviter les coûts de transport, beaucoup plus importants pour le charbon que pour les produits du complexe, liquides donc facilement transportables. Les investissements sont évalués à 110 000 USD par baril/jour de produit fini (base : États-Unis début 2007) pour les technologies de liquéfaction démontrées industriellement soit, pour une unité de 50 000 barils/jour, plus de 5 milliards USD (c'est-à-dire à peu près le prix d'une raffinerie de pétrole complète produisant trois fois plus de carburants). La réduction des investissements, qui sont aujourd'hui une vraie barrière au développement de ce type de projet, est donc l'un des principaux axes de progrès de cette filière.

Avec les procédés actuels, on estime que le seuil de rentabilité serait atteint pour un charbon à 20 USD/tonne, à condition que le baril de pétrole se maintienne autour de 70 USD le baril, une valeur qui a été largement dépassée en spot au cours de l'année 2007. Ce coût de 20 USD/tonne de charbon est effectivement atteint dans les mines les plus performantes mais il reste largement inférieur aux prix internationaux. De tels projets ne peuvent

Graphique 17. Taux de retour sur investissement d'une usine de liquéfaction de charbon (technologie indirecte) en fonction du prix du brut de référence



Source : Marion, P. (2008), *op. cit.*

donc concerner, dans un premier temps, que des pays disposant d'une abondante ressource locale en charbon.

Performances environnementales

Les émissions globales du « puits à la roue » de la filière de liquéfaction indirecte représentent environ 230 % des émissions du diesel conventionnel. Moins de la moitié du carbone contenu dans le charbon parvient en effet dans le réservoir du véhicule ; la majorité est transformée en CO₂ dès l'usine de liquéfaction. L'essentiel de ces émissions provient de la production d'hydrogène intégrée dans le complexe qui permet de rectifier le faible rapport H/C du charbon par rapport à celui requis par la production de diesel (pour mémoire, dans la filière pétrole, le carbone est transféré au réservoir à plus de 90 %).

Ces filières CtL ne pourront donc connaître un développement significatif qu'à la condition expresse, soit d'intégrer un captage et un stockage du gaz carbonique émis, soit d'utiliser un hydrogène produit à l'extérieur de l'usine à partir de sources n'émettant pas de GES (nucléaire ou renouvelable). Mais même dans ces conditions, le bilan du puits à la roue reste plus défavorable que celui du diesel pétrolier, avec 25 % d'émissions de CO₂ supplémentaires. Il faut enfin signaler la forte consommation d'eau des procédés de liquéfaction : chaque tonne produite nécessite dix à 20 m³ d'eau.

La filière GtL

Après de longues années de développement qui ont abouti à la construction par Shell de la première unité industrielle en Malaisie en 1993, le développement de la filière GtL de transformation de gaz naturel en carburant a connu une vraie accélération au début des années 2000, avec la remontée des cours du brut. Un grand nombre de projets ont été annoncés, dont certains de très grande ampleur (six au Qatar et un au Nigeria). Ces annonces ont fait naître de grands espoirs quant à l'évolution de ce type de valorisation du gaz naturel qui semblait pouvoir s'inscrire durablement comme un concurrent de la filière GNL (gaz naturel liquéfié). Mais la plupart de ces projets ont à ce jour été annulés, en particulier celui d'ExxonMobil de 154 000 barils/jour. Le seul à avoir été réalisé est celui de Shell/Oryx pour la première phase. Il devrait être rejoint en 2009 par le projet

Carte 1. Installations GtL en fonctionnement



Source : présentation de Rajnish Goswami, vice-président Gas et Power, Wood Mc Kenzie, "GTL, Economics, Challenges and Value Proposition".

Pearl toujours financé par Shell et Qatar Petroleum. La carte 1 indique les principales installations GtL actuellement en fonctionnement dans le monde.

Le nombre d'unités GtL reste aujourd'hui marginal, aussi bien par rapport aux capacités mondiales de raffinage que par rapport aux capacités de liquéfaction de gaz naturel, principale voie actuelle de valorisation du gaz naturel hors pipeline. À long terme, les projections de l'AIE anticipent, tout comme pour le CtL, une capacité de production de 800 000 barils/jour (environ 40 Mt), soit quelques pour cent de la consommation mondiale de carburant.

Performances économiques

L'un des éléments déterminants pour ce type d'unité est le coût d'investissement : à capacité équivalente, le coût d'une unité GtL est 2 à 3 fois supérieur à celui d'une raffinerie. En conséquence, ce type de projet n'est aujourd'hui envisagé que pour des capacités de production très importantes (l'effet de taille diminuant les coûts relatifs), ce qui limite le nombre d'acteurs ayant la capacité financière d'investir dans les unités GtL. Cela d'autant plus que la hausse des cours des matières premières observée ces dernières années a fait exploser le coût d'investissement : le projet Pearl de Shell au Qatar, initialement estimé entre 5 et 7 milliards USD, aurait été réévalué à 18 milliards USD. Compte tenu de ces montants très importants, les zones où les unités GtL peuvent être rentables sont limitées à

quelques pays ayant d'importantes ressources de gaz naturel et un coût d'extraction inférieur à 0,5 USD/mmbtu⁵¹ (en Europe, le prix du gaz naturel est aujourd'hui supérieur à 10 fois cette valeur). Dans ces cas, la rentabilité de ces unités a longtemps été annoncée comme assurée pour un baril de pétrole oscillant entre 20 et 30 USD. Mais compte tenu des dérives d'investissement constatées sur les derniers projets GtL mis en œuvre, cette valeur d'équilibre est aujourd'hui probablement nettement supérieure.

À noter également qu'un projet GtL, nécessairement mis en œuvre dans une zone où le gaz naturel est bon marché, entre toujours en compétition avec une éventuelle unité GNL. À titre de comparaison, pour la valorisation d'environ 6 Gm³, on peut *i*) investir dans une unité de liquéfaction de gaz naturel pour un coût d'investissement d'environ 1,2 milliard USD et produire quatre à 5 Mt de GNL (rendements d'environ 90 %) ; *ii*) investir dans une unité GtL pour un coût compris entre 1,5 à 2,1 GUSD et produire environ 3 Mt de produit (rendements d'environ 60 %). Dans ce dernier cas, on évite néanmoins l'investissement dans un méthanier, estimé à 200 MUSD.

⁵¹ 1 000 000 btu (British Thermal Unit), équivalent à environ 1.055 gigajoules (Gj).

Performances énergétiques et émissions de CO₂

Tout comme pour les filières CtL, le bilan GES et la consommation d'énergie du « puits à la roue » sont plus mauvais que ceux des carburants pétroliers, mais dans une moindre proportion : émissions de GES supérieures d'environ 15 % et consommation d'énergie supérieure d'environ 50 % à celles du diesel ex-pétrole (Maisonier, 2006).

Filières CtL et GtL en bref

Les filières CtL et GtL ont en commun d'exiger des investissements élevés – qui limitent leur développement – et de présenter des bilans énergétiques et d'émissions de GES défavorables – surtout pour le CtL. Leurs potentiels de développement sont équivalents et du même ordre de grandeur que ceux des agrocarburants.

En revanche, même si un certain nombre de projets GtL et CtL de grande ampleur voient le jour, ils ne représenteront

pas une alternative durable à une éventuelle pénurie massive de pétrole à l'échelle mondiale. Cela est d'autant plus vrai pour la filière GtL : contrairement au charbon, qui procure une vraie possibilité de limiter la dépendance énergétique au pétrole de certains pays, le gaz naturel a des caractéristiques beaucoup plus proches du pétrole. Ses ressources sont aujourd'hui limitées à 65 ans au rythme actuel de consommation mondiale et les réserves sont en général loin des grands centres de consommation. La filière GtL ne permet donc pas ou peu de réduire le risque lié à la dépendance énergétique vis-à-vis de pays tiers.

Du point de vue des émissions de CO₂, les deux filières – mais surtout la filière CtL, même dans l'hypothèse d'un captage-stockage du carbone – n'apportent aucune amélioration des émissions spécifiques de CO₂ par rapport aux filières pétrolières actuelles. Bien au contraire, elles les augmentent...

4. Changer de paradigme ?

Nous avons vu les limites du progrès technique et de l'introduction de carburants de substitution, à la fois en termes de progression véritable de l'efficacité absolue mais aussi de dynamique de pénétration – et ce, malgré leur intérêt évident pour desserrer les contraintes qui pèsent sur les ressources et le climat. Disposons-nous d'autres marges de manœuvre ?

Pour faire le tour de la question, il faut évidemment sortir du seul paradigme technologique et s'interroger plus largement sur les principaux déterminants de l'évolution du trafic de personnes et de marchandises. Au cœur de cette démarche, des enjeux à la fois sociaux, culturels, politiques et économiques, qui touchent à l'évolution :

- de la richesse des sociétés et de sa répartition ;
- de l'espace des déplacements, aussi bien pour les personnes que pour les biens, dans le contexte de la mondialisation des échanges, de la mise en concurrence de l'ensemble des acteurs mondiaux et de la recherche maximale de productivité des entreprises ;
- des vitesses de déplacement, avec l'apparition de modes de transport toujours plus rapides et plus gourmands en

énergie, synonymes d'appartenance aux élites mondiales, en même temps que l'exclusion des plus pauvres de la mobilité minimale ;

- du budget « temps de transport » des individus ;
- des modes de déplacement, de l'image culturelle qu'ils renvoient, de leur interchangeabilité et/ou de leur complémentarité, etc.

La prise en compte de ces enjeux conduit à une série d'interrogations :

- quelle place pour un rééquilibrage vers des transports moins gourmands en énergie, qui aurait l'avantage d'éviter de remettre en cause frontalement la notion de mobilité des hommes et des biens, souvent considérée comme synonyme de liberté ?
- quelles perspectives de découplage entre croissance des transports (avec l'ambiguïté qui se cache sous ce vocable) et croissance économique, alors que le lien entre les deux est souvent considéré comme une règle intangible ?
- que nous apprennent les exercices de prospective normative sur la nature et l'ampleur des différents leviers d'action ?

4.1 Les transferts de modes de transport⁵²

Le constat bien établi d'une très forte prééminence des transports routiers de marchandises et de passagers, avec une dépendance quasi totale vis-à-vis du pétrole et les émissions de CO₂ qu'elle entraîne, conduit bien évidemment les décideurs à tenter de remodeler le paysage modal des transports en faveur de transports alternatifs moins énergivores, moins captifs du pétrole et

moins émetteurs de CO₂. Les éléments rassemblés concernant les consommations et les émissions unitaires des différents modes de transport montrent en effet les avantages potentiels de tels transferts. Au-delà de l'intérêt nouveau porté à cette question, il est donc intéressant

⁵² D'après Papon, F. (2009), « Reports modaux croisés entre contraintes climatiques, incantations occidentales et rêves asiatiques », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

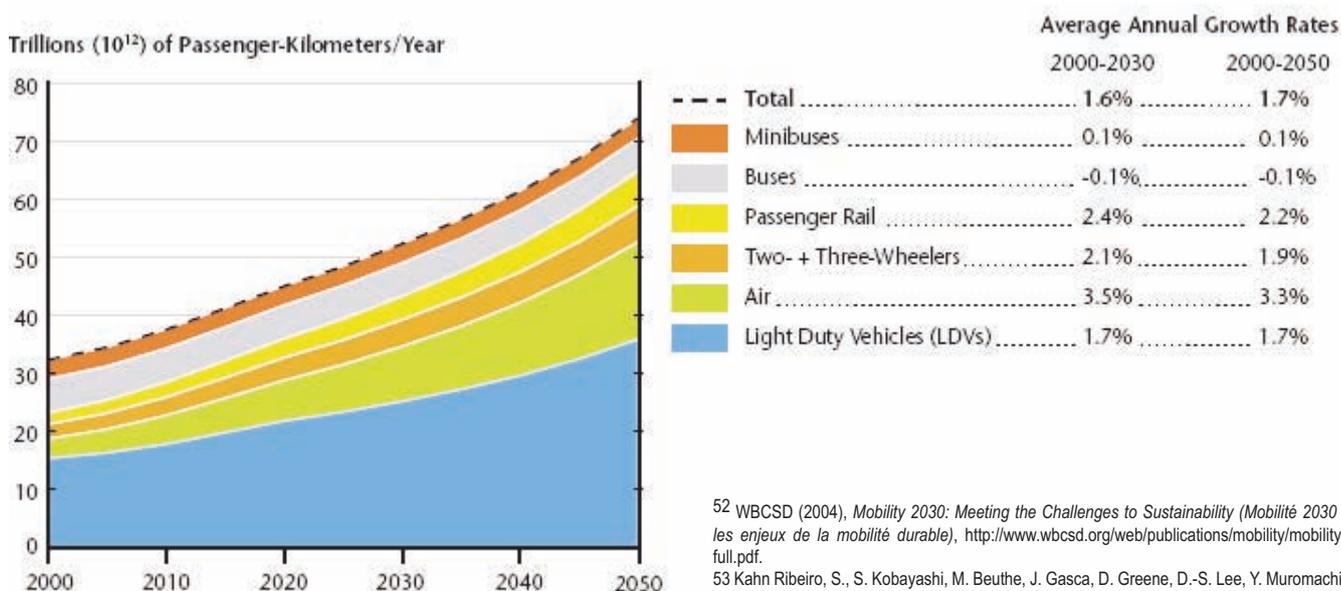
d'analyser à travers la littérature les éléments prospectifs dont nous disposons.

L'exercice de la prospective est difficile. Il nécessite de rassembler des masses de données, particulièrement quand on veut traiter le monde entier et l'ensemble de la mobilité. Or, ces données font largement défaut dans certaines parties du monde ou pour certains modes de transport. Elles concernent de multiples disciplines et ne peuvent être manipulées que par des équipes importantes. D'autres sont des secrets industriels. C'est pourquoi il y a si peu de prospective exhaustive de la mobilité mondiale. Il n'existe en fait qu'une seule étude de ce type⁵³, publiée en 2004 par le Conseil mondial des affaires sur le développement durable (World Business Council on Sustainable Development – WBCSD), un organisme qui regroupe les principales entreprises internationales dans les secteurs automobile et pétrolier. Cette étude, qui a mobilisé plus de 200 personnes, s'appuie sur des travaux antérieurs d'universitaires et sur des projections de l'AIE. Elle a également servi de base aux travaux du GIEC⁵⁴, dont la raison d'être est de réduire les émissions de CO₂. Alors que l'étude du WBCSD passe en revue de manière très complète tous les moyens de réduire l'impact clima-

tique de l'automobile (et des autres modes), en étudiant de nouveaux couples moteurs-carburants et des véhicules plus efficaces, elle n'aborde quasiment pas la question du report modal vers des modes de transport plus sobres – comme les transports collectifs – et ne signale même pas les modes non motorisés (cf. graphique 18).

Si cette étude – comme beaucoup d'autres – cherche le Saint-Graal du côté de la technologie, c'est que les industriels ne peuvent se résoudre à une diminution de l'automobile et continuent de tabler sur une croissance future. Il existe pourtant un moyen très simple – qui n'est pas ou peu évoqué – de réduire le contenu en carbone de la mobilité : c'est d'opter pour le report modal vers solutions plus sobres, comme les transports collectifs ou les modes non motorisés. On en parle depuis longtemps en Europe, d'abord pour améliorer la qualité de vie en ville, mais aussi pour réduire la dépendance au pétrole et les émissions de CO₂. Les travaux du GIEC citent notamment le potentiel des systèmes de bus à haut niveau de service et des modes non motorisés, ces derniers étant d'ailleurs beaucoup moins coûteux à la tonne de CO₂ évité pour un transfert modal comparable.

Graphique 18. Prévisions de croissance de la demande de transport de voyageurs dans le monde, par mode, selon le WBCSD



Source : Sustainable Mobility Project calculations

⁵² WBCSD (2004), *Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability (Mobilité 2030 : les enjeux de la mobilité durable)*, <http://www.wbcsd.org/web/publications/mobility/mobility-full.pdf>.

⁵³ Kahn Ribeiro, S., S. Kobayashi, M. Beuthe, J. Gasca, D. Greene, D.-S. Lee, Y. Murohachi, P.-J. Newton, S. Plotkin, D. Sperling, R. Wit et P.-J. Zhou (2007), "Transport and its infrastructure", *Climate Change 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.-R. Davidson, P.-R. Bosch, R. Dave, L.-A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, R.-U. et New York, NY (http://www.mnp.nl/ipcc/pages_media/AR4-chapters.html).

La mobilité dans le monde

États-Unis : business as usual

Nombre de publications traitent de tel ou tel aspect des nouvelles technologies ou de la demande de transport, mais aucune ne donne de vue prospective d'ensemble. Il faut pour cela se tourner vers un consortium défendant les intérêts du secteur routier (AASHTO, 2007) ou un groupement d'organismes gouvernementaux, associatifs et industriels de différents modes (FTAG, 2001). Ce dernier, qui souhaite soutenir la croissance économique des États-Unis et préserver le mode de vie américain, ne remet pas en cause le système actuel et propose dix mesures intégrées pour atteindre des objectifs de fonctionnalité, de sécurité et d'indépendance énergétique. Les prévisions tablent sur une augmentation de la circulation routière de 60 % entre 2000 et 2030, sous l'effet de la pression démographique et de l'activité économique (US DoT, 2004). Les mesures préconisées se contentent de satisfaire cette demande et d'atténuer les impacts. Aucun texte ne remet en cause le système actuel, essentiellement fondé sur le mode routier, et les transferts modaux vers des transports collectifs ou non motorisés n'y occupent donc qu'une place mineure.

Europe : le Livre blanc fera-t-il chou blanc ?

Le *Livre blanc* (Commission européenne, 2001) est le document de référence fixant la politique européenne des transports à l'horizon 2010. Il définit quatre directives politiques, dont la première consiste à rééquilibrer les modes de transport. Cette directive se décline en cinq sous-objectifs : *i)* améliorer la qualité du secteur routier, *ii)* revitaliser les chemins de fer, *iii)* contrôler la croissance du transport aérien, *iv)* adapter le système de transport maritime et de navigation intérieure et *v)* relier les modes de transport.

L'évaluation à mi-parcours⁵⁵ de la mise en œuvre des directives du *Livre blanc* montre qu'un grand nombre de facteurs limitent l'application d'une politique de transport durable et contribuent à la poursuite des tendances passées : non-prise en compte des externalités dans les coûts des transports, inertie du fonctionnement des autres secteurs de l'économie et de la société, lenteur de la diffusion des innovations et du changement de comportement, mais aussi présence d'intérêts qui entrent en conflit avec ces objectifs politiques.

Tranchant avec la démarche normative du *Livre blanc*, un autre projet européen – *Foresight For Transport*⁵⁶ – a mené une réflexion sur les transports à partir d'une large consultation d'experts européens. D'après cette étude :

- plus de la moitié des experts sont convaincus que la part modale du ferroviaire ne progressera pas au rythme prévu ;
- la plupart des experts pensent que le rééquilibrage modal ne pourra intervenir qu'à long terme et sur la base d'une politique plus large dépassant le secteur des transports.

Les États européens conduisent des études prospectives proposant différents scénarios d'inflexion des tendances passées. Pour ne prendre que le cas de la France, l'étude de référence est celle menée par le Conseil général des ponts et chaussées (CGPC) (Gressier, 2006). Tout en recherchant une croissance vigoureuse du chemin de fer et une forte réduction des émissions de CO₂, la suprématie de la route n'est pas remise en cause à l'horizon 2050 : la réduction des émissions ne parvient pas à atteindre le facteur 4. Le Laboratoire d'économie des transports (LET) et Enerdata (Château *et al.*, 2008 ; Papon *et al.*, 2008) ont développé pour ce faire des scénarios plus ambitieux (*infra*). Dans leur conclusion, les auteurs soulignent que les automobilistes devront être soumis à une double peine (moins vite, plus cher) et que la tarification – de la circulation urbaine comme du fret – est essentielle pour parvenir au rééquilibrage modal nécessaire.

Japon : un report modal high-tech

Tout aussi préoccupé de durabilité, le Japon a développé une feuille de route technologique concernant l'énergie à l'horizon 2100 (IAE, 2005), prolongée dans une stratégie technologique (ANRE, 2007). Le transport n'est que l'un des secteurs concernés. Si la technologie des carburants, des véhicules, des filières hydrogène ou électrique consti-

⁵⁵ Le projet SUMMA (Sustainable Mobility, policy Measures and Assessment) de la Commission européenne, DG Énergie et transports (<http://www.summa-eu.org/>).

⁵⁶ ICCR (The Interdisciplinary Centre for Comparative Research in the Social Sciences) (2004), *Foresight for Transport. A Foresight Exercise to Help Forward Thinking in Transport and Sectoral Integration* (<http://www.iccr-international.org/foresight/>).

performants qui existaient avant 1990 ont été délaissés après la transition économique et l'explosion de la motorisation. À l'inverse, un pays riche comme la Corée peut se permettre de rééquilibrer les modes : **Séoul** a ainsi démantelé une autoroute pour restaurer une rivière et a rétréci ses artères pour aménager des voies pour les autobus et des pistes cyclables.

Est-il vraiment obligé de passer par une phase énergivore et polluante avant de prétendre à une mobilité durable ?

4.2 Le couplage mobilité/PIB⁵⁷

La corrélation temporelle assez générale entre les trafics des différents modes de transport de marchandises et de passagers et le PIB des sociétés analysées ne nous renseigne pas sur l'importance relative dans l'intensité du couplage observé des deux paramètres qui constituent ces trafics : le nombre de passagers/la masse de produits transportés et les distances moyennes parcourues par ces passagers/ces marchandises

« Couplage » et « découplage » : des concepts flous

L'ambiguïté des concepts de « couplage » et « découplage » prend deux grandes formes dans les études sur la question :

- la coexistence de conclusions empiriques relatives au couplage fort entre trafics et PIB avec des réflexions et des propositions portant sur le découplage ;
- l'absence de distinction claire entre découplage relatif et découplage absolu.

Le découplage relatif entre, d'une part, la consommation d'énergie et les émissions du transport et, d'autre part, le PIB, est une réalité observée ou potentielle incontestable. En revanche, la question semble beaucoup moins tranchée pour le couplage/découplage absolu et ce, du fait de certains concepts sous-jacents à cette notion de couplage et de découplage.

De la confusion entre corrélation statistique et conclusion théorique

Car si les pays développés ont bien du mal à infléchir leur consommation énergétique et leurs émissions de GES, les mesures de report modal annoncées ne leur faisant gagner, lentement et avec réticence, que quelques points de pourcentage, dans le même temps les pays émergents ajoutent goulûment une contribution comparable au total mondial actuel. Autrement dit, pendant que les uns essaient d'apaiser l'incendie qui, de leur faute, ravage la maison Terre avec des verres d'eau, les autres y déversent de l'huile à pleins seaux.

Les études économétriques présentent généralement deux constats – une forte corrélation entre croissance du PIB et augmentation de l'activité de transport ; et une forte corrélation entre augmentation des trafics et croissance du PIB – qui sont interprétés comme le signe d'une grande rigidité de la relation de la demande de transport au PIB et, partant, comme un couplage fort entre ces deux entités. Mais ces fortes corrélations cachent souvent des disparités qui obligent à une certaine prudence dans les conclusions et expliquent l'ambiguïté évoquée.

Ainsi, les études économétriques menées dans le cadre du projet de l'OCDE sur les transports écologiquement viables (TEV) sur l'arc alpin (OCDE, 1999) avaient conclu au fait que les élasticités des trafics d'import/export entre deux pays par rapport à leur PIB respectif suivaient des courbes en cloche, avec des valeurs voisines de 0 aux deux extrémités. D'autres études ont montré que l'élasticité des quantités de marchandises transportées par rapport au PIB pouvait avoir des valeurs très faibles alors que celle des trafics (T.km) par rapport au PIB avait des valeurs proches de l'unité.

En d'autres termes, les fortes corrélations statistiques n'impliquent pas nécessairement l'existence d'une « loi » intangible régissant la relation de la demande de transport au PIB : elles indiquent simplement une conjonction historique entre deux évolutions relativement proches entretenant entre elles des relations complexes.

⁵⁷ D'après Château, B. (2009), « Produit intérieur brut et mobilité : quel couplage ? Quelle fatalité sur la croissance des transports ? », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier 2009.

Des indicateurs imparfaits de la demande de transport

L'une des sources d'ambiguïté vient des indicateurs retenus dans les analyses économétriques : on s'appuie généralement sur les trafics exprimés en passagers/km ou en tonnes/km. Ils sont supposés constituer des indicateurs quantitatifs pertinents de la mobilité, à partir desquels la relation de la demande de transport à la croissance économique peut être analysée.

Or, la demande de transport est une notion plus riche que celle de mobilité, en ce sens qu'elle inclut également des dimensions d'accessibilité, de qualité de service, de vitesse, etc. De même, la mobilité est imparfaitement décrite par l'observation des trafics puisqu'elle traduit la faculté d'accéder à tel ou tel service dans un intervalle de temps donné, et non pas nécessairement le fait de faire tel ou tel kilomètre pour y parvenir. De fait, quand on parle de couplage entre les trafics et le PIB, on mélange deux notions : la relation de la demande de transport au PIB et la relation entre les conditions de satisfaction de la demande de transport et le PIB.

Il existe un consensus général pour exprimer le fait que la demande de transport entretient avec la croissance économique des liens très étroits. A partir de ce constat, certains contestent la notion même de découplage au sens où elle induit qu'il peut exister une situation où demande de transport et croissance économique ne sont plus liées entre elles. D'autres, plus nuancés, mettent sous le vocable « découplage » la possibilité de modifier ce lien, et non pas sa disparition.

Il est certain qu'une bonne partie de l'ambiguïté relevée plus haut vient du sens que les uns ou les autres attribuent au terme « découplage ». Or il existe également un certain consensus entre toutes les études sur le fait que le lien entre demande de transport et PIB peut évoluer, qu'il peut faire l'objet de « mesures » correctives, qu'il peut même constituer un objectif politique.

Une solution pour éviter toute ambiguïté consisterait à parler de « maîtrise » des trafics, de la mobilité et de la demande de transport et non plus de découplage...

De fortes disparités géographiques dans l'évolution des « intensités transport »

On désigne par l'expression « intensités transport » les ratios de trafic de passagers (p.km) et de marchandises (t.km) au PIB : une intensité transport qui reste constante dans le temps suggère un fort couplage du trafic concerné au PIB ; une intensité transport qui baisse ou qui augmente régulièrement dans le temps suggère également un couplage entre les deux grandeurs, quoiqu'inférieur au précédent ; une intensité transport au profil erratique suggère une absence de couplage.

Bon nombre d'études sur le couplage s'appuient sur l'observation statistique de ces intensités. La comparaison des profils d'évolution dans les différentes régions du monde met en évidence : *i)* le contraste d'intensité selon les zones ; *ii)* l'évolution très régulière au sein des zones. Les différences de profils d'évolution sont surtout remarquables entre les États-Unis, le Japon et les pays européens. Elles montrent à tout le moins qu'il n'existe pas de fatalité dans les relations des trafics au PIB et donc de « loi » universelle qui régirait ces relations. Pour autant, la grande stabilité au sein des régions suggère que l'organisation de l'espace et les infrastructures, fortement inertes à l'échelle des périodes retenues pour l'étude statistique, sont des déterminants puissants de ces relations des trafics au PIB. Ces deux observations ne permettent pas de conclure, ni dans un sens ni dans l'autre, sur le couplage de la demande de transport et du PIB, pour les raisons évoquées plus haut.

Le rôle déterminant des infrastructures

L'influence des infrastructures sur les relations des trafics au PIB a été mise en évidence dans plusieurs études sur le découplage conduites dans le cadre de l'OCDE. Cette influence se manifeste en deux temps :

- l'effet d'entraînement du PIB sur le développement des infrastructures ;
- l'effet d'entraînement des infrastructures sur les trafics (pas nécessairement sur la demande de transport...).

Cette observation sur le poids des infrastructures dans le « couplage » absolu est intéressante à deux titres :

- elle montre la relativité des conclusions tirées dans certaines études quant à la prégnance du « couplage » ;
- elle indique une piste importante au regard de la maîtrise des trafics et des leviers pour y parvenir.

Cela étant, aucune étude ne se penche réellement sur l'impact macro-économique du développement des infrastructures. Il est dès lors difficile de trancher, sur le plan statistique, entre « couplage » actif (la croissance économique a entraîné le développement des infrastructures qui a entraîné celui des trafics) et « couplage » récessif (le bridage du développement des infrastructures a bridé en retour la croissance économique et les trafics, sans changer la relation trafics-PIB).

Quelles explications derrière le « couplage » apparent ?

On l'a dit, ce n'est pas tant la demande de transport qui apparaît couplée au PIB dans les corrélations statistiques que les trafics. Si par exemple on considère d'autres indicateurs de la demande de transport (tonnes ou passagers transportés par exemple), le « couplage » apparaît beaucoup plus lâche. Une lecture plus attentive de ces trafics montre ainsi que ce sont surtout les distances moyennes de parcours par passager ou par tonne qui semblent fortement corrélées au PIB.

Si l'on rapproche ce constat de celui fait plus haut sur les infrastructures, on voit se dessiner l'un des principaux mécanismes qui expliquent le couplage apparent : le développement des infrastructures s'accompagne d'un allongement des distances de transport car il permet de multiplier les opportunités :

- soit en matière de localisation des activités de production (et de bénéficiaire ainsi de différentiels dans les coûts de production) ;
- soit en matière de localisation de l'habitat, de l'emploi et de lieux de loisirs.

Pour autant, cet allongement des distances, qui génère des coûts de transport proportionnels, ne peut se développer durablement à des rythmes très différents de celui de la richesse, et donc du PIB. Dans le cas des passagers par

exemple, il a été clairement montré que le poids des dépenses de transport dans le budget des ménages restait très stable dans le temps. De même, le poids des dépenses de transport rapporté à la valeur ajoutée industrielle reste relativement stable. On aurait ainsi à la fois un effet d'entraînement du PIB sur les trafics *via* les infrastructures et les distances, mais également un effet limitant de la croissance du PIB sur l'évolution des coûts de transport, les deux phénomènes provoquant l'apparent couplage observé statistiquement. Ce constat pose néanmoins deux questions : s'il y a un effet limitant du PIB sur les distances *via* les coûts de transports, comment cela apparaît-il dans les corrélations statistiques ? La maîtrise de la demande de transport ne serait-elle, *in fine*, qu'une affaire de coût de transports ?

Les différences observées entre régions du monde dans l'évolution des intensités transport du PIB donnent probablement une première réponse à la première question. Mais encore faudrait-il approfondir le sujet, ce qui n'est pas du ressort de cette étude. L'analyse des structures modales et des vitesses moyennes de déplacement des personnes et des marchandises induites par ces structures modales donne un second éclairage tant à la première question qu'à la seconde. Le coût du transport est en effet la résultante des coûts unitaires des modes d'un côté, de la combinaison des modes de l'autre.

Si l'on admet que le coût unitaire augmente avec la vitesse, une même évolution des coûts moyens de transport peut recouvrir des évolutions différentes de partage modal selon l'évolution des coûts unitaires des modes : plus de vitesse ou plus de coût unitaire. Or, il existe une relation forte entre vitesse et distance moyenne de parcours : soit, dans le cas des passagers, parce que le budget temps affecté au transport est extrêmement stable ; soit, dans le cas des marchandises, du fait du mode de gestion des flux de marchandises et du stockage (le temps maximum qu'une tonne de marchandises peut passer dans le transport est contraint).

En conséquence, l'effet limitant du PIB sur l'évolution des coûts de transport peut être de nature très différente selon le niveau et l'évolution des coûts unitaires des modes, ce

que semble effectivement suggérer les différences entre zones du monde. Une maîtrise des coûts unitaires par mode des transports serait de ce fait un moyen puissant

pour maîtriser la demande transport, pour peu qu'ils ne nuisent pas à l'activité économique mais orientent seulement son organisation spatiale.

4.3 Vers un compromis entre technologie et maîtrise des besoins⁵⁸ ?

A l'horizon 2030, la consommation d'énergie et les émissions de GES auront considérablement augmenté : telle est la conclusion de l'ensemble des scénarios prévisionnels des trafics de passagers et de marchandises dans les différents pays du monde mais aussi des prévisions de croissance économique et de progrès technique pour les différents modes de transport. Cela n'a rien d'étonnant puisque ces prévisions reposent en grande part sur le choix de déterminants tels que l'intensité en trafic des PIB, dont nous venons de voir à la fois l'ambiguïté et les limites.

L'analyse prospective permet de sortir de cette surdétermination, en décrivant des images diversifiées de l'état des transports à partir de paramètres démographiques, temporels, macro-économiques et techniques. L'étude résumée ci-après, même si elle ne concerne que la France, montre tout l'intérêt d'une approche prospective normative qui permet de bien mettre en évidence les déterminants principaux de différenciation et les principaux leviers d'action envisageables.

Le Programme national de recherche et d'innovation dans les transports terrestres (PREDIT, 2008) a demandé au LET et à Enerdata de produire des scénarios de mobilité durable pour les passagers et les marchandises en France à l'horizon 2050. Par « mobilité durable » on entendait entre autres la mobilité des personnes et des marchandises compatible avec une réduction par 4 des émissions de GES du secteur des transports. Cette recherche, à forte dimension quantitative, est basée sur une modélisation des relations systémiques du système de transport formalisée dans le modèle technico-économique TILT (*Transport Issues in the Long Term*)⁵⁹, qui comprend deux modules fondamentaux :

- le premier met en cohérence les trafics avec les vitesses de déplacement et l'usage du temps à partir des détermi-

nants démographiques et macro-économiques de la mobilité ;

- le second prend en compte l'impact du déploiement des nouvelles technologies sur les émissions directes et indirectes du secteur des transports.

Ce faisant, TILT est en mesure d'apprécier les différentes combinaisons de niveaux de trafics et de niveaux de développement des technologies nécessaires pour atteindre l'objectif fixé. C'est dans ce sens que cette prospective peut être considérée comme « normative » puisqu'elle impose une condition aux limites des émissions de GES en 2050.

Le mythe de la technologie salvatrice

Une première famille de scénarios, baptisée « Pégase », prolonge une vision tendancielle⁶⁰ des trafics à l'horizon 2050. L'étroite relation⁶¹ qu'ont entretenue historiquement les budgets-temps de transport (BTT), la vitesse et la distance totale parcourue est supposée perdurer à l'identique. Au fur et à mesure que le PIB progresse, la nature de la demande de mobilité des passagers change. Un couplage fort se met en place entre croissance économique et distance parcourue, avec un BTT pratiquement constant, grâce à une substitution progressive des modes rapides aux modes lents.

Pégase propose donc une vision « en continuité » de la croissance des trafics, sans remise en cause du modèle de développement de la mobilité tel qu'on le connaît depuis cinq décennies. Ce qui permet de mesurer les apports de

⁵⁸ D'après Château, B. (2009), « Mobilité durable : quel compromis entre technologie et maîtrise des besoins ? », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

⁵⁹ TILT est dérivé du modèle VLEEM (*Very Long Term Energy Environment Model*) développé dans le cadre d'un projet de recherche européen (<http://www.vleem.org/>).

⁶⁰ Les niveaux de trafic obtenus dans Pégase sont calés sur le récent exercice de prospective exploratoire livré en 2006 par le CGPC.

⁶¹ Cette relation a été observée et analysée par Schafer (2001).

la technologie au regard de la baisse des émissions de CO₂ et, plus généralement, au regard de l'environnement. Deux variantes ont été testées pour répondre à l'accroissement des vitesses par la substitution modale : une variante volontariste TGV, où celui-ci envahit progressivement tous les transports à longue distance de moins de 2 000 km en Europe et une variante « laisser-faire » avec l'avion.

Les scénarios Pégase aboutissent à une hausse de la mobilité entre 2000 et 2050 de 42 % pour les passagers (contre 13 % pour la population française sur la même période) et de 61 % pour les marchandises. Ces hausses de trafic sont incompatibles avec l'objectif de réduction des émissions de CO₂ avec la technologie actuelle des modes routiers (moteur à combustion interne – produits pétroliers), même dans la variante TGV.

Qu'attendre alors des progrès de la technologie ? Plusieurs innovations technologiques reposant sur les agrocarburants, l'électricité et les technologies hybrides rechargeables bi-énergie ont été testées. Aucune ne permet d'atteindre le facteur 4 pour les seules émissions directes de CO₂ à l'horizon 2050. Dans le meilleur des cas – c'est-à-dire la commercialisation dès 2010 d'hybrides rechargeables avec 100 km d'autonomie, de manière à obtenir une généralisation de ces véhicules dans le parc en 2050 –, les émissions restent supérieures de 21 % à l'objectif dans la variante « avion » et de 19 % dans la variante « TGV ». La prise en compte des émissions indirectes du raffinage, de la production d'électricité et de la production de biocarburants nous éloigne encore plus de l'objectif. Même si l'électricité utilisée par les hybrides rechargeables bi-énergie est entièrement fournie par du nucléaire ou des énergies renouvelables (solaire photovoltaïque notamment), les émissions directes et indirectes restent, au mieux, supérieures de 21 % à l'objectif dans la variante TGV.

En d'autres termes, si l'on s'en tient aux technologies aujourd'hui maîtrisées ou à celles qui ont une probabilité significative de développement industriel d'ici 2050, la contribution de la technologie ne permettrait pas d'aller au-delà d'un facteur 2 dans le meilleur des cas, avec une progression tendancielle des trafics. Pour atteindre l'objectif du

facteur 4 dans un tel contexte, il faudrait impérativement pouvoir recourir massivement aux PAC et à l'hydrogène produit sans émissions de CO₂. Cette rupture technologique paraît toutefois hautement improbable à cet horizon. Par conséquent, l'atteinte de l'objectif du facteur 4 demande une réorganisation d'ensemble du système de transport (répartition modale, vitesses de déplacement).

Les deux autres familles de scénarios étudiées, respectivement Chronos et Hestia, visent à explorer les différentes modalités que pourrait prendre cette réorganisation, en supposant l'objectif atteint (extrapolation rétroactive ou *backcasting*), selon les facteurs majeurs d'incertitude sur les déterminants de la mobilité et les politiques publiques susceptibles d'être mises en œuvre.

Premier impératif de la mobilité durable : maîtriser la croissance des vitesses

Dans le triptyque BTT-vitesse-distance, l'accroissement de la vitesse moyenne de déplacement apparaît comme la condition nécessaire à l'accroissement des distances et donc des trafics. *D'où l'idée que la maîtrise des trafics passe d'abord par la maîtrise des vitesses.*

La famille de scénarios Chronos explore comment franchir la distance au facteur 4 par une action sur la vitesse. Chronos conjugue ainsi une action de type réglementaire sur les vitesses routières à un accroissement du coût de la mobilité en fonction de la vitesse et des émissions de CO₂, en supposant néanmoins un effet rebond important sur les BTT. On aboutit ainsi à une progression des trafics entre 2000 et 2050 limitée à 35 % pour les passagers et à 61 % pour les marchandises, mais avec un fort basculement sur les transports collectifs pour les passagers et sur le ferroviaire pour les marchandises. La variante « avion » de Chronos – dans laquelle le trafic aérien reste en forte progression (+60 %) de 2000 à 2050 – s'approche de l'objectif sans pour autant l'atteindre. En revanche, la variante « TGV » permet de l'atteindre mais au prix d'un basculement massif du trafic longue distance vers ce mode de transport, dont le trafic augmente d'un facteur 7. L'avion se recentre alors exclusivement sur la longue distance et le trafic diminue de 28 % par rapport à l'année 2000. Chronos « TGV » décrit donc bien un univers de mobilité durable,

dans lequel la voiture est progressivement confinée aux déplacements de proximité et dans les zones peu denses que les transports collectifs ne peuvent irriguer, faute de rentabilité suffisante, et où l'avion est sanctuarisé sur la très longue distance uniquement. Mais pour ce faire, il faut investir des sommes considérables dans le développement du transport ferroviaire de marchandises et de passagers, en grande vitesse pour la longue distance comme en vitesse normale pour le trafic régional et urbain. On peut légitimement s'interroger sur la cohérence macro-économique de tels investissements.

On voit bien que la réorganisation du système des transports pour atteindre le facteur 4 en s'attaquant uniquement aux vitesses demanderait des investissements considérables dans les transports ferroviaires, vraisemblablement au-delà de l'acceptable si les BTT ne sont pas maîtrisés.

Second impératif de la mobilité durable : maîtriser l'espace

La famille de scénarios Hestia part de ce constat pour explorer comment atteindre le facteur 4 par des mécanismes contraignants qui imposent de nouveaux arbitrages sur les localisations des ménages et des activités productives allant dans le sens d'une réduction des distances parcourues. La hausse du trafic passagers est ici limitée à

celle de la population, soit 13 % jusqu'en 2050, alors que la progression du trafic marchandises s'établit à 21 %. Les modes les plus émetteurs de CO₂ voient leur place profondément redéfinie du fait de la contrainte physique sur le CO₂ : l'avion se recentre sur la très longue distance alors que la VP se recentre sur le trafic régional.

Ces scénarios conduisent également à un développement soutenu des infrastructures et des services ferroviaires, notamment en grande vitesse, mais à un rythme beaucoup plus en phase avec les capacités de financement de l'économie du fait de la modération de la progression de la demande de transport. Comme dans le scénario Chronos « TGV », l'objectif facteur 4 est atteint avec un mix électrique très fortement décarboné, mais avec une charge d'investissement dans le ferroviaire nettement plus légère et donc beaucoup plus réaliste.

Un enseignement majeur ressort de cette étude, valable pour la France comme pour l'ensemble des pays développés, voire pour les pays émergents : la nécessité de réfléchir à la nature et à l'ampleur des contraintes à imposer à l'extension des vitesses et des distances de transport car les progrès technologiques, même les plus ambitieux, se révèlent incapables d'endiguer la croissance des consommations d'énergies fossiles et les émissions de GES.

4.4 De l'objet automobile au service de mobilité⁶²

Le couple moteur à combustion interne (MCI)/carburant liquide fossile permet depuis un siècle la mobilité individuelle des personnes et des marchandises, source de rencontres et de richesse. Au niveau mondial, nos déplacements individuels sont promis à un développement important, lié essentiellement à une augmentation du niveau de vie et à la volonté d'optimiser son « temps à soi ». Mais ce développement risque de ne pas être homogène pour tous, avec d'un côté de véritables « condamnés à demeure » (Breton, 2008) et, de l'autre, de nouveaux voyageurs de l'espace⁶³. En parallèle, réfugiés et dérèglement climatiques, tensions énergétiques et alimentaires pourraient aller de pair avec ce développement, par l'intermédiaire des

émissions de GES. Quelles évolutions majeures peut-on attendre de la mobilité ? Comment assurer à tous une mobilité libre et durable ?

L'industrie automobile améliore et invente depuis un siècle ses propres méthodes de conception et de réalisation, excellent dans son cœur de métier, l'optimisation des compromis : standardisation mondiale *contre* produits adaptés

⁶² D'après Plassat, G. (2009), « De l'objet au service, une chance pour le citoyen et l'environnement », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

⁶³ Virgin va commercialiser les premiers vols spatiaux : www.virgingalactic.com

aux besoins locaux, création interne de valeur *contre* sous-traitance et, futur pivot du changement à venir, marge bénéficiaire *contre* performances pour le client, dont l'efficacité énergétique. Aujourd'hui, la réalisation d'une automobile mobilise plusieurs milliers d'ingénieurs pendant 3 à 5 ans dans un travail collaboratif international, complexe et tendu. Cette durée va encore se réduire dans les années à venir pour suivre au plus près les « besoins » des clients, à l'instar des vêtements de mode. En parallèle, l'usine et l'ensemble des moyens de production sont étudiés, développés et construits et plusieurs milliards d'euro sont alors engagés. Plusieurs milliers de véhicules identiques et tous différents sortent alors tous les jours des lignes de production, sans parler des 4 000 moteurs/jour usinés au micron, coûtant moins de 1 000 euros (EUR), démarrant au 1^{er} tour de clé et sans aucune validation unitaire préalable.

Simultanément, l'industrie pétrolière commercialise des produits exceptionnels sans que le public n'en ait conscience – de l'exploration à plusieurs milliers de mètres sous l'eau jusqu'au raffinage nécessitant des procédés sous contraintes économiques et environnementales sans cesse renforcées. Résultant essentiellement de la nature et du temps, les produits pétroliers possèdent de hautes caractéristiques⁶⁴ à un prix très bas, ce qui biaise notre rapport à l'énergie : l'équivalent produit par la force humaine payée au salaire minimum coûterait 600 fois plus cher !

Ce mariage moteur thermique/pétrole a, dès le départ, balayé tous les concurrents : électricité, gaz, charbon pulvérisé, huile.... Pour moins de 8 000 EUR (et demain encore moins !), le véhicule démarre par toutes les températures extérieures, assurant rapidement $20^{+/-0.5^{\circ}\text{C}}$ dans l'habitacle et roule à plus de 100 km/h en quelques secondes. Dotée d'une autonomie de plus de 1 000 km assurée par un remplissage effectué en seulement 2 minutes, ne nécessitant quasiment aucun entretien durant 250 000 km, l'automobile MCI/pétrole rassemble les technologies du spatial au prix de l'électroménager. Aucun concurrent n'a, à ce jour, réussi à égaler ces performances. Or, les contraintes sur les ressources, rendues visibles par l'indicateur prix, et l'enjeu climatique s'imposent de plus en plus fortement au citoyen et conduisent à étudier d'autres voies. Cependant, le couple MCI/pétrole a appris à progresser sous ces

contraintes économiques et environnementales, repoussant progressivement l'hypothétique remplacement.

(R)évolution de l'objet automobile

Pile à combustible, hybridation, plug-in, lithium polymère... une palette de « solutions » est annoncée au public : la voiture a un avenir, elle évoluera, nous dit-on. Cette fuite en avant technologique est-elle toujours crédible ? Va-t-elle s'appliquer pour tous ?

Rappelons tout d'abord que les technologies actuelles apportent dès aujourd'hui un potentiel de gain énergétique très important. La question n'est donc plus de savoir comment produire un véhicule qui émet moins de 90 gCO₂/km, mais pourquoi ne commercialise-t-on pas des véhicules de 800 kg ? La réponse vient en grande partie du compromis énoncé préalablement : marge bénéficiaire *contre* efficacité énergétique.

Actuellement, les constructeurs utilisent les technologies pour « offrir » des « nouveaux services » de confort, de sécurité, d'espace et des « pseudo » performances (puissance maxi du moteur, vitesse maxi), qui ne seront jamais utilisées par le client mais qui intègrent une forte valeur marchande. Ainsi, un gain sur le rendement moteur ou un allègement ne sont pas utilisés uniquement pour réduire la consommation, mais pour proposer plus de puissance et plus de confort tout en conservant une consommation « acceptable » : la berline haut de gamme hybride affiche une consommation identique à un véhicule plus simple mais elle n'a pas le même statut... Le potentiel d'efficacité énergétique est donc utilisé sous forme de valeur marchande visible, génératrice de bénéfices. Tant que l'efficacité énergétique n'aura pas une valeur marchande suffisante, le gain énergétique observable par le client sera réduit. Ce changement majeur pourrait venir de nouvelles contraintes. Actuellement limitées mais déjà à l'œuvre, ces « nouvelles » contraintes vont venir bouleverser les modèles technico-économiques de l'industrie automobile.

⁶⁴ Notamment leur densité énergétique en volume et la propriété d'être liquide à température/pression ambiante, deux critères importants pour les transports.

Demain, tous surveillés ?

Radars, caméras urbaines, téléphones portables, GPS embarqués, nos objets nomades deviennent en retour des traceurs de notre mobilité. Un secteur économique, le plus puissant de la planète (PNUE-FI, 2007), commence à utiliser ces technologies pour assurer la stabilité de la croissance économique, renforcer la prospérité des marchés et favoriser l'innovation. Les surveillances publiques (radar) et privées (assurances) limiteront la liberté de conduite du conducteur. Avec les contrats *Pay As You Drive*, l'assureur calcule les primes pour chaque trajet selon l'heure, le type de route et le kilométrage, détaillés sur une facture d'assurance mensuelle. Le coût de la « boîte noire » se chiffre à 100 EUR mais pourrait générer des économies sur l'assurance de près de 30 % par an. En retour, la mobilité devient surveillée, la liberté réelle réduite... À plus long terme, la surveillance pourrait s'étendre à notre santé⁶⁵, ⁶⁶ en la liant à la mobilité, en relançant la propulsion humaine mais aussi en créant de nouveaux exclus. L'information est un élément essentiel de compréhension des risques avec une valeur économique pour le client et l'assureur.

De nouvelles zones géographiques aux accès limités

La plupart des pays européens et des mégapoles mondiales mettent en œuvre des zones à faibles émissions (ZFE) ou des péages urbains⁶⁷ dans lesquels l'accès est réduit pour certains véhicules sous conditions de performances environnementales minimales (émissions polluantes, GES, bruit). La mauvaise qualité de l'air urbain, couplée à une augmentation de la population qui conduit à un besoin croissant de mobilité et donc à des embouteillages, explique ce phénomène. La voiture ne permet plus d'aller partout. Sous cette contrainte, de « nouvelles » formes de véhicules (2-3 roues) vont se développer.

Un coût de la mobilité en augmentation

Le prix de la mobilité individuelle augmente, avec un point de départ bas rendant le potentiel de croissance, et donc de contraintes, important. Au prix du carburant taxes (ZFE) comprises, pourrait venir se rajouter une taxe CO₂ rendant le prix à la pompe très attractif... pour le vol, notamment dans le transport de marchandises. Ce phénomène, lui aussi en progression, aura plusieurs conséquences : augmentation de la surveillance, avantage des carburants

gazeux, développement d'un marché noir sans garantie de qualité puis, à plus long terme, nécessité de transférer les taxes du carburant vers un produit non physique. La mobilité sera de plus en plus chère, elle sera une source majeure d'innovation mais également d'exclusion.

Des contraintes d'image et d'usage

Le principe pollueur/payeur, l'un des mieux acceptés par l'opinion publique, pourrait faire peser sur les acheteurs particuliers ou professionnels une contrainte morale croissante. Par ailleurs, la société évolue et sa mobilité également : vieillissement nécessitant des modes spécifiques⁶⁸, éclatement du modèle familial induisant une souplesse aujourd'hui impossible (une semaine un deux-roues pour le couple, une semaine un minibus pour les enfants des familles recomposées) ou encore arrivée sur le marché du travail de la génération Y, qui ne travaille plus dans l'entreprise⁶⁹. Les besoins en types de véhicule se diversifient. Les évolutions sur le « hard » ne suffiront pas, le « soft » pourrait devenir la principale source de progrès.

Avec ces nouvelles tendances réduisant la liberté de lieu, de conduite et d'action et augmentant les coûts, la voiture pourrait bien faire moins rêver qu'auparavant, puisqu'elle ne sera plus un symbole de liberté. En 2008, 44 % des Japonais considèrent déjà leur voiture comme un « simple moyen de transport » et, d'après la Fédération des constructeurs japonais, « il ne fait aucun doute que le secteur paie le prix d'une longue période de crise au cours de laquelle le regard que les Japonais posaient sur leur voiture a totalement changé »⁷⁰. Pour conserver une mobilité, source de richesse et nécessaire à une société équilibrée dans ce contexte en évolution, l'objet automobile devra évoluer.

⁶⁵ Voir l'appel à projets dans le cadre du 7e programme-cadre de recherche et de développement (PCRD) de l'UE concernant les technologies de l'information et la communication – chapitre santé : ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ftp7/ict/docs/ict-wp-2007-08_fr.pdf

⁶⁶ Virgin commercialise actuellement aux États-Unis des services de surveillance de la santé : <http://www.virginhealthmiles.com>

⁶⁷ De nombreuses ZFE existent actuellement en Europe : www.lowemissionzones.eu.

⁶⁸ Toyota propose un Mobility Robot. Ce fauteuil roulant de 150 km devrait permettre un déplacement de façon autonome, confortable et sécurisée (<http://www.generation-nt.com/fauteuil-roulant-autonome-mobility-robot-toyota-actualite-50425.html>).

⁶⁹ « Conversion d'avenir », une émission de la chaîne Public Sénat, décrit cette génération Y qui arrive sur le marché du travail (<http://www.publicsenat.fr/cms/video-a-la-demande/vod.html?idE=56124>).

⁷⁰ *Le Monde diplomatique* – septembre 2008.

Ainsi à moyen terme, avec des différences au niveau des marchés mondiaux, l'automobile pourrait évoluer selon deux voies principales : *i*) à l'image d'un vêtement de luxe pour le haut de gamme (hautes technologies, multicarburant, « sur mesure », communicant, cybercar) ; *ii*) en pariant sur la fonctionnalité pour les gammes moyennes et basses (véhicules *low-cost* dans un premier temps, puis avec la mise en œuvre de la « 3^e voie » [voir *infra*]). Cette scission entre des véhicules « fournisseurs » d'émotions et d'autres « fournisseurs » de simples services de mobilité est le point central d'une évolution majeure.

Vêtement de luxe

Vitrine technologique utilisant des groupes motopropulseurs (GMP) à haute efficacité énergétique et multicarburant (liquide puis hydrogène), châssis et carrosserie comportant des nanotubes de carbone, communiquant avec les autres véhicules et les infrastructures, ce véhicule sera produit par certains constructeurs automobiles « classiques » utilisant des modes de conception mondialisés et dé-intégrés, sur le modèle du constructeur informatique DELL (production à la demande). Ce véhicule vecteur d'émotion et de statut se développera de la berline au petit véhicule urbain. Acheté par des particuliers, mais surtout par des entreprises comme moyen de promotion, ce sera un objet de mode.

Le *low-cost*

Ce véhicule répond aux contraintes par un objet fonctionnel basique. Des technologies innovantes pourront néanmoins être utilisées quand elles permettent de respecter le cahier des charges à moindre coût (allègement grâce aux nanotechnologies mais GMP classique). Se rapprochant de l'industrie du véhicule lourd par ses spécifications limitées aux besoins essentiels (prix kilométrique, fiabilité, revente), le business-modèle commencera à évoluer. Les acteurs principaux seront les constructeurs asiatiques, chinois et peut-être certaines marques de constructeurs européens. Cette étape pourrait être temporaire, pour conduire à la suivante, la 3^e voie.

La 3^e voie, entre VP et bus public

Utilisant des véhicules à faible prix et produits à très grand volume, la 3^e voie inaugure une perspective de nouveaux

services de mobilité dont la plupart sont à inventer. En permettant une mobilité fluide, équitablement répartie, « citoyenne », faiblement carbonée, la 3^e voie pourrait devenir une source d'épanouissement pour les citoyens. En s'adressant uniquement à des entreprises fournissant la mobilité, le cahier des charges du véhicule ne sera que fonctionnel, rendant possible une forte standardisation. Les véhicules auront des formes multiples, du deux au 4-roues, avec des motorisations humaine-électrique-thermique, allant du 2 places au minibus et « couplable » aux modes lourds traditionnels.

L'apport des technologies de l'information⁷¹ et de la robotique⁷² sera essentiel pour assurer une multimodalité fluide, améliorer la sécurité tout en réduisant les coûts d'exploitation (cybercar) et permettre l'automatisation de certains usages. Cela sera sans doute complété par les progrès apportés par le web2.0, l'ouverture des bases de données liées à la mobilité⁷³ et la diffusion étendue d'objets nomades permettant une utilisation et des transferts des différents modes simplifiés avec, en contrepartie, une surveillance accrue qu'il faudra protéger. De même, des efforts particuliers devront être apportés pour réduire l'exclusion sociale de la mobilité (exclus des villes, exclus des NTIC ...).

Ces véhicules pourront avoir des efficacités énergétiques bien supérieures (faible masse, faible vitesse maximale, gestion optimisée du trafic et de la conduite...) et utiliseront des filières énergétiques différentes, électriques ou thermiques, gérées par des professionnels. Comme IBM a été supplanté par Microsoft, et celui-ci par Google, l'évolution de la mobilité pourrait ainsi passer de l'objet automobile au service. De nombreuses innovations non techniques seront également nécessaires en termes de modes de commercialisation et de distribution. Ces objets dont la principale valeur ajoutée

⁷¹ La Fédération Internet nouvelle génération (FING) travaille sur l'apport des TIC dans la mobilité, dans le cadre du programme Villes2.0 (http://www.fing.org/jsp/fiche_pagelibre.jsp?STNAV=&RUBNAV=&CODE=85225280&LANGUE=0&RH=ASSOEDHEC).

⁷² Toyota a racheté la branche Robot de Sony, acquérant diverses technologies de Sony, y compris certains brevets majeurs qui s'appliquent aux « modes de transports » de seconde génération.

⁷³ Les services de géolocalisation notamment, pour permettre une mobilité différente, commencent à apparaître (www.avego.com).

(électronique, télécommunication, stockage chimique...) ne viendra pas forcément du cœur de métier d'un constructeur automobile pourraient voir alors les rôles s'inverser, avec l'apparition de voitures Hitachi, NEC ou Sanyo. On ne vendra pas en effet des kilomètres par mois comme on vend aujourd'hui une tonne de métal et de plastique.

De nouveaux entrants sont alors susceptibles de proposer ces services, comme Virgin, Apple ou Google, un grand distributeur, ^{74,75}, un assureur, une banque, un bouquet d'entreprises mondiales (comme Renault/NEC/Continental pour le projet israélien Better Place ou Air France/Veolia), un constructeur asiatique ou indien de voitures et de 2/3-roues *low-cost*.

En parallèle, le centre de gravité se déplacera vers l'Asie. Aidées par des marchés intérieurs aux perspectives exceptionnelles, l'Inde et la Chine verront naître dans les années à venir des constructeurs mondiaux, issus de fusion de la multitude d'industriels actuels, capables de proposer des véhicules mais également ces nouveaux services et maîtrisant déjà les technologies hybrides.

Compte tenu des enjeux environnementaux, il faut accélérer cette transition pour garantir à l'ensemble des citoyens des

services de mobilité de haute qualité, tout en protégeant les plus faibles. Cela pourrait passer par la sobriété et l'innovation. La sobriété nous est imposée par les générations futures. Le passage de l'objet automobile vers le service à la mobilité pourrait être un facteur important de changement en matière d'efficacité énergétique : ne pas posséder de voiture conduit à la multimodalité synonyme de sobriété et à l'optimisation du choix du véhicule pour chaque utilisation. Si la cible est connue, la route reste à tracer. Pour cela, il faut de l'innovation ! Malheureusement, cette dernière ne se commande pas, elle surgit. Un élément marginal au départ va transformer la perception d'une problématique, germe d'un changement. Si ce dernier n'est pas écrasé par le conformisme, il prendra racine et se diffusera. Il faut décloisonner les sujets, élargir la taille du système à considérer pour reformuler nos problématiques et changer d'angle.

Technologies moteurs, carburants de synthèse, constructeurs automobiles, urbanisme, économie de marché, intégration des externalités, technologies de l'information, bancassurance, protection des données privées, précarité, environnement, mieux vivre... des sciences « dures » au social, du local au mondial, les champs d'action sont immenses et les chemins, nécessairement de traverse, sont à découvrir !

4.5 Plaidoyer pour la relocalisation⁷⁶

La crise actuelle manifeste l'effondrement d'un modèle et d'une promesse – celle d'un monde délivré de la pauvreté grâce aux possibilités supposées infinies d'expansion de la richesse et grâce à l'extension du capitalisme à l'échelle mondiale mais aussi celle d'un monde unifié par le libre-échange absolu, la concurrence et la déréglementation. Le capitalisme financiarisé et les technologies de l'information, l'obsession de la vitesse et de la gestion en temps réel ont modifié le sens et le rôle des territoires. La délocalisation des activités est devenue dans l'imaginaire néolibéral la condition de l'efficacité économique et de l'amélioration du bien-être. La crise financière, qui éclate en même temps que les déséquilibres écologiques explosent, révèle comment cette utopie menace l'existence même des sociétés, dont les ressources humaines, sociales et naturelles ont été systématiquement pillées.

Quand libre-échange rime avec déterritorialisation et délocalisations

Les politiques néolibérales se sont fondées sur la tentative d'affranchissement des activités économiques vis-à-vis des contraintes sociales, politiques ou écologiques. Par leur volonté de supprimer les obstacles tarifaires et « non tarifaires » à l'expansion du libre-échange, les statuts de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) ont donné une légitimité internationale à cette idéologie. Le territoire – sous la forme des États ou des collectivités locales, lieu tra-

⁷⁴ Système U propose depuis octobre 2008 des locations de véhicules à 5 EUR/jour.

⁷⁵ Piaggio homologue son MP3 250 et 400 cm³, en tant que tricycle et quadricycle à moteur (TQM), que l'on peut donc conduire uniquement avec le permis voiture.

⁷⁶ D'après Azam, G. et Mühlstein P. (2009), « La relocalisation de l'économie », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

ditionnel d'exercice du pouvoir politique et de la démocratie – a été considéré comme une rigidité, un obstacle à l'utopie du grand marché, au sens de non-lieu (a-topie), d'absence de lieu de pouvoir identifié. Le territoire est en effet vu comme un simple stock de ressources à optimiser selon les règles du calcul économique, au mépris de ceux et celles qui l'habitent et y travaillent, de l'environnement et des écosystèmes. Les lois, réglementations, normes ou coutumes sont alors considérées comme des archaïsmes dont il convient de s'affranchir pour entrer dans les délices du marché mondial.

Cette utopie d'une économie hors sol, comme l'agriculture, d'une économie hors société est parfaitement destructrice et la crise actuelle en est une première manifestation. Les chaînes productives distendues d'une extrémité à l'autre de la planète, l'augmentation des échanges croisés de produits similaires, notamment dans des grandes zones régionales comme l'UE, l'exigence de sur-mobilité des personnes abusivement confondue avec la liberté de circulation, sont l'illustration de l'extraversion des sociétés et du dogme libre-échangiste qui la sous-tend.

... et avec explosion des transports à l'échelle internationale

Le libre-échangisme impose l'ouverture mondiale des marchés et place la main-d'œuvre des pays riches en concurrence avec celle des pays « en développement », ce qui contribue à mater sa résistance et à lui faire accepter peu à peu des régressions sociales. Pour cela, il faut pouvoir transporter au plus bas prix, vers les consommateurs, les produits fabriqués dans les pays à faible coût social, fiscal et environnemental, afin que la plus-value tirée des travailleurs exploités dans ces pays « ne se perde pas en route » – c'est bien le cas de le dire.

Les bas prix du transport résultent du *dumping* social issu de sa « libéralisation », qui a transformé certains marins et chauffeurs routiers en esclaves modernes et s'est traduit par d'énormes hausses du trafic et le saccage de l'environnement. Le transport aérien prend la même voie, le *low-cost* étant encouragé par les politiques publiques nationales et européennes, ainsi que le transport ferroviaire, où l'ouverture forcée à la concurrence des réseaux en Europe

a conduit à imposer la séparation des infrastructures et des services (*unbundling*), au détriment de l'efficacité technique et économique du rail, ainsi que de la sécurité (voir l'exemple de la Grande-Bretagne).

L'un des dogmes libéraux est que le libre-échange et l'augmentation des transports sont indispensables à la croissance économique, condition prétendue nécessaire et suffisante au bien-être. En réalité, *l'accroissement des déplacements de marchandises n'est pas un fait inéluctable, mais une caractéristique du régime d'accumulation actuel du capital* ; il est l'un des piliers sur lesquels ont reposé les gains de productivité de ces dernières décennies dans l'industrie et la grande distribution. Les méthodes modernes de gestion (« zéro stock », « flux tendu », « juste-à-temps ») multiplient les transports, qui suivent au plus près la production et la commercialisation des marchandises. Les économies de gestion des stocks découlent de la circulation d'un flux ininterrompu de camions, véritables « stocks roulants ».

Ces principes et ces méthodes conduisent à des situations quasi délirantes, où l'on voit les ingrédients nécessaires à la fabrication d'un simple pot de yaourt aux fraises parcourir au total plus de 9 000 km avant d'être réunis ou bien les matières premières et composants d'un banal Blue-jeans effectuer un périple de 30 000 km (soit l'ordre de grandeur du tour du monde), qui entraîne l'émission de près de la moitié de son poids final en gaz carbonique. Pris parmi des dizaines, ces exemples illustrent la liaison étroite entre l'exploitation des travailleurs et la destruction de l'environnement, ainsi que le rôle central du transport. La possibilité de multiplier à faible coût les flux incite à délocaliser la production, en scindant la chaîne productive en autant de maillons que nécessaire pour les situer, au cas par cas, en des lieux choisis afin de minimiser les charges sociales, fiscales ou environnementales.

L'« optimisation économique » permise par la sous-tarification du transport en fait une variable d'ajustement de décisions prises dans la production, dont il est chargé d'assumer les tensions. Elle s'appuie sur la dérégulation du secteur et sur la quasi-gratuité, pour les industriels chargeurs, des impacts considérables du transport sur l'environnement

et la vie quotidienne des populations. *Le transport est ainsi un moyen privilégié de transférer des coûts privés vers l'ensemble de la collectivité*, puisque c'est la seule activité à se déployer en totalité dans l'espace public.

Les conditions de la relocalisation

Dans ce contexte, la relocalisation de l'économie est nécessaire et souhaitable pour rouvrir une possibilité d'avenir commun à l'échelle de l'humanité. Il est toutefois nécessaire d'en définir les conditions. En effet, face aux échecs des politiques actuelles, elle peut être conçue comme une stratégie d'adaptation, comme un tremplin pour une entrée dans le monde globalisé. Le marché de la pauvreté, avec l'extension des produits *low-cost*, exige en effet la mise en œuvre de procédures de marketing appuyées sur des structures locales. Certaines expériences de microcrédit dans les pays du Sud par exemple sont à cet égard symptomatiques, lorsqu'elles consistent à permettre l'accès à des biens correspondant à des normes de consommation occidentales. Dans cette logique, le local est considéré comme une simple déclinaison du global, comme un ancrage temporaire pour faire face aux inégalités mondiales. La relocalisation peut être aussi conçue comme une forme de patriotisme économique à l'heure où les luttes pour les ressources humaines et environnementales s'exacerbent. Ces deux options – la fuite dans le mode globalisé ou le repli sur du local pensé comme antinomique au reste du monde – ne feraient que poursuivre ce qui a conduit à la crise actuelle, avec une exacerbation des conflits et des guerres.

C'est pourquoi la relocalisation des activités doit être pensée comme une reterritorialisation de celles-ci, un projet d'autonomie politique des sociétés et un moyen de réponse aux questions cruciales : que produire, comment produire, comment répartir la richesse ? La relocalisation est alors l'expression des limites politiques, sociales, écologiques à l'expansion généralisée et l'affirmation de la nécessaire sociodiversité pour assurer la durabilité d'un monde commun à l'échelle de la planète.

Des expériences de base pour une relocalisation de l'économie, fondées sur le principe de la coopération ouvrent, même si elles sont minoritaires, des perspectives concrètes et immédiates, aussi bien dans les pays du Nord que du

Sud. Elles doivent être encouragées par des politiques publiques qui, sans se substituer à ces initiatives, en favorisent l'extension, la cohérence et la pérennité. La relocalisation doit pour cela répondre à trois exigences simultanées :

- *l'arrêt de la dévalorisation généralisée du travail humain.* Le chantage aux délocalisations conduit à l'acceptation d'activités dangereuses pour les personnes et pour les écosystèmes. Même si, temporairement, les délocalisations peuvent créer des emplois dans les pays du Sud, dans des conditions souvent terrifiantes, ces derniers sont également menacés à leur tour par l'existence de nouvelles zones à coûts toujours moindres ;
- *le droit des peuples à la souveraineté alimentaire et à une alimentation saine.* Il suppose la reconquête de l'agriculture vivrière au Sud et de l'agriculture paysanne au Nord et la protection vis-à-vis des intérêts des transnationales de l'agro-alimentaire ;
- *la lutte contre les destructions environnementales,* notamment celles occasionnées par l'explosion des transports et la délocalisation d'industries polluantes ou des déchets dans les pays du Sud.

Pour une relocalisation écologique et sociale

Nous disposons d'ores et déjà des outils pour amorcer ce changement. Les politiques douanières doivent être des moyens modulables pour répondre en même temps aux exigences d'emploi, d'impact sur l'environnement, de satisfaction des besoins sociaux et de redéfinition des rapports Nord-Sud. Cela suppose l'abandon du dogme du libre-échange et une réforme radicale de l'OMC et de la politique douanière de l'UE.

Les accords commerciaux ne doivent plus être indépendants du respect des droits humains, sociaux et environnementaux. De même, les services publics doivent être reconnus comme un moyen irremplaçable pour nourrir les territoires. Leur affaiblissement et la disparition de services publics de proximité dévitalisent les régions rurales et les périphéries urbaines, renforçant le double mouvement de polarisation des activités dans certaines zones et de désertification pour le reste. Reconquérir les services publics, en créer de nouveaux et en assurer une véritable gestion

démocratique constituent des préalables pour une relocalisation de l'économie, tout comme l'arrêt des politiques dites d'« ajustement structurel » (ouverture des frontières, privatisation des services publics, orientation de la production vers les exportations, etc.) imposées aux pays du Sud par les organisations financières internationales, notamment le Fonds monétaire international (FMI).

Un statut mondial pour les biens communs – comme l'eau, les ressources non renouvelables, le vivant, la connaissance – devrait, en les déclarant hors marché, stopper le pillage des pays du Sud et favoriser un recentrage des activités.

La déterritorialisation des activités tend à faire du local une subdivision de l'ordre global, une déclinaison de cet ordre. La relocalisation de l'économie relève au contraire d'un

choix politique visant à recréer du territoire, comme construction sociale historicisée et comme réalité naturelle de l'espace, et à ouvrir à nouveau le champ du politique et la capacité des choix collectifs. Pour autant, le local, quelle que soit sa taille, ne peut être envisagé en soi, comme entité fermée et autosuffisante, mais dans son rapport avec le monde. La mondialisation tend à produire des sociétés de masse, candidates aux replis identitaires, dépouillées de tout projet politique définissant le vivre-ensemble et réduites à des stratégies de survie dans un monde de concurrence. La relocalisation doit être au contraire le moyen d'inventer de nouvelles articulations entre le local et le mondial, entre le social et l'environnemental, entre l'universel et le particulier. Elle est en même temps une condition indispensable à la maîtrise des flux de transports, des consommations d'énergie et des émissions de GES.

5. Expériences et témoignages

5.1 Le développement du transport urbain à Shanghai⁷⁷

Longtemps, la pollution atmosphérique à Shanghai – comme dans toutes les villes chinoises – a été causée avant tout par l'industrie lourde implantée au cœur des villes. À présent, une part substantielle du problème dans les zones urbaines est due aux sources mobiles, en dépit d'un taux de motorisation relativement faible par rapport aux villes développées. Ce phénomène a fait son apparition depuis le milieu des années 1990, avec l'augmentation rapide du nombre de véhicules : en 2007, on dénombrait à Shanghai 2,54 millions de véhicules motorisés contre 0,47 million en 1996. En même temps que l'industrie lourde a été délocalisée dans la périphérie des agglomérations, le trafic automobile est devenu un enjeu crucial pour la qualité de l'air. De fait, il y a une corrélation absolue entre la consommation d'énergie, l'émission de polluants, l'usage des véhicules motorisés et la croissance économique locale – Shanghai se classant en tête des villes chinoises. L'analyse de la motorisation à Shanghai nous renseigne donc sur deux points : *i*) les caractéristiques du développement du transport urbain dans cette ville ; et *ii*) la préfiguration du transport urbain des autres villes chinoises.

Enjeu de la motorisation dans les zones urbaines

La concentration du parc automobile dans les zones urbaines est une caractéristique des pays émergents et en développement. Le graphique 20 présente les taux de motorisation à l'échelle urbaine et nationale pour une dizaine de pays, répartis en trois catégories en fonction de leur niveau de motorisation. Dans le type 1, le taux d'équipement en voiture dans le pays est toujours plus élevé que dans ses grandes agglomérations. Les flux de circulation dans les zones urbaines denses sont organisés autour de systèmes de transport collectif peu consommateurs d'espa-

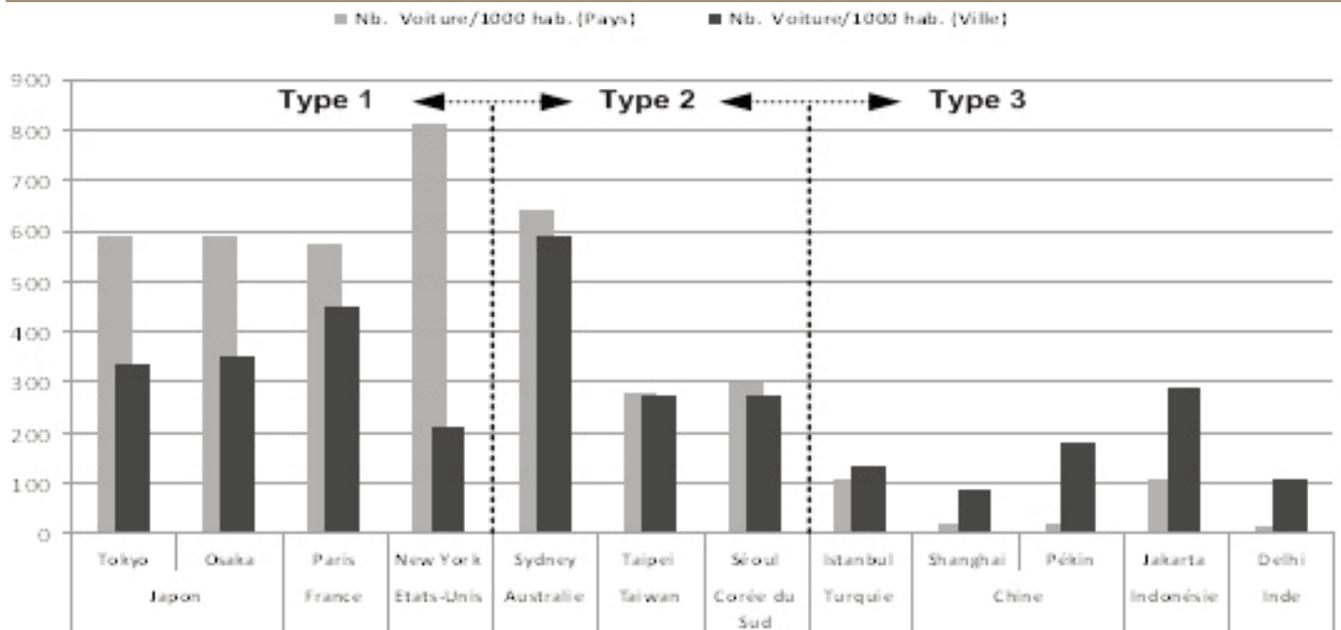
ce et d'énergie. Dans les pays de type 2, les villes sont encore dans une phase de transition entre congestion automobile et développement d'un réseau de transport collectif permettant de répondre à la demande de mobilité. Par ailleurs, l'augmentation du revenu des populations leur a permis d'accéder à l'automobile. Le taux de motorisation dans les grandes agglomérations est équivalent au niveau national. Enfin, dans les pays de type 3, la croissance économique des grandes agglomérations engendre une demande de mobilité satisfaite par les véhicules motorisés devenus accessibles pour les entreprises et les ménages les plus riches. Malgré un relativement faible niveau de motorisation, les agglomérations connaissent déjà la congestion des axes de circulation. Elles investissent alors dans les réseaux de transport collectif. C'est le cas de la ville de Shanghai.

Le transport urbain à Shanghai

Alors qu'en Chine, le taux de motorisation était de 28 automobiles/1 000 habitants en 2006, il atteignait 33/1 000 à Shanghai, où les revenus moyens sont cinq fois supérieurs à la moyenne nationale. Jusqu'au milieu des années 1990, les déplacements à Shanghai étaient largement réalisés à pied ou à vélo. Ces modes non motorisés sont encore très utilisés, même si le développement des modes de transport motorisés individuels a pris une place importante. La part modale de la marche à pied a diminué au profit du vélo à la fin des années 1980 et au début des années 1990. Elle

⁷⁷ D'après Yeh, C.-F. (2009), « Shanghai, une ville en voie de motorisation ? Le développement du transport urbain à Shanghai », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

Graphique 20. Proportion de possesseurs de voitures à l'échelle nationale et locale dans une sélection de villes



Source : Yeh, C. et F. Papon (2008), « Le développement durable du transport urbain à Shanghai : quelle place pour la bicyclette ? », *Transports*, n° 488.

s'est stabilisée depuis autour de 30 %. Bien que l'usage du vélo ait proportionnellement reculé ces dernières années, il assume toujours un rôle important dans la mobilité urbaine (25,2 %) par rapport aux véhicules motorisés (27,1 %) et au transport collectif (18,5 %).

Toutefois, le rôle du vélo est de plus en plus limité, du fait de l'augmentation générale des distances parcourues liée au

développement économique de Shanghai. Cette tendance, observable dans toutes les villes chinoises, a été alimentée par la motorisation. Alors qu'en 1986, la mobilité des Shanghaiens était dominée par les transports non motorisés et les transports publics, les transports individuels motorisés occupent aujourd'hui la première place (cf. tableau 33). Les véhicules motorisés (2-roues, automobiles et taxis) représentaient 62,9 % des p.km en 2004.

Tableau 32. Répartition modale rapportée au voyageur dans la mégapole de Shanghai (en pourcentage)

Mode	Pied	Vélo	2-roues	Voiture	Taxi	Bus	Métro	Ensemble
	Mode non motorisé			Mode motorisé		Transport public		
Année								
1986	41,3	31,3	0,2	2,2	0,2	24,8	—	100
1995	30,4	38,7	5,0	5,9	3,0	16,5	—	100
2004	29,2	25,2	10,6	11,3	5,2	16,0	2,5	100

Source : Estimation d'après les données d'enquête du Shanghai City Comprehensive Transportation Planning Institute (SCCTPI).

Tableau 33. Répartition modale dans la mégapole de Shanghai (p.km en pourcentage)

Mode	Pied	Vélo	2-roues	Voiture	Taxi	Bus	Métro	Ensemble
	Mode non motorisé			Mode motorisé		Transport public		
Année								
1986	9,1	31,0	0,6	6,3	0,5	52,5	—	100
1995	7,0	27,0	12,0	12,9	2,1	39,0	—	100
2004	3,2	13,1	16,3	42,5	4,1	17,5	3,3	100

Source : Estimation d'après les données d'enquête du SCCTPI.

La croissance économique de Shanghai a donc engendré une forte augmentation de la mobilité longue distance, qui repose majoritairement sur des modes de transport individuels motorisés (Allaire, 2007).

La croissance de la flotte de véhicules a été très rapide à Shanghai. Pour contenir la demande des ménages et éviter la congestion totale des infrastructures, les autorités municipales ont mis en place en 1998 un système d'enchères des plaques d'immatriculation. Des réglementations ont également limité le nombre de 2-roues motorisés dans la ville ; 90 % des 1,2 million de cyclomoteurs ont une puissance inférieure à 50 cc.

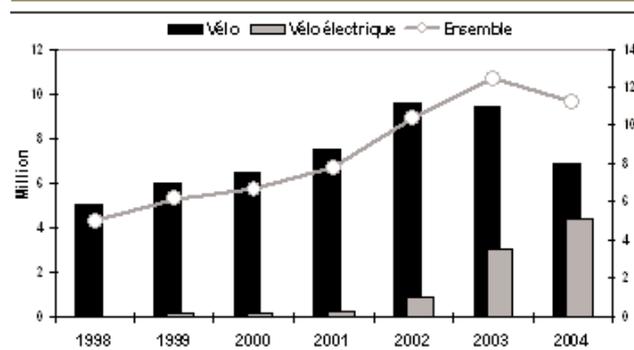
Perspectives pour un développement durable du transport urbain

Le transport collectif, et particulièrement le métro, est amené à jouer un rôle de plus en plus important. Le *Livre blanc du transport urbain de Shanghai*, édité en 2002, prévoyait que le réseau de métro atteigne 540 km en 2020. En 2004, il comptabilisait déjà plus de 230 km de lignes ; plus de 1,5 million de voyageurs l'empruntent chaque jour. Les autorités municipales de Shanghai prévoient qu'en 2020, les 17 lignes de métro transporteront 12 millions de voyageurs par jour. Selon le SCCTPI, le total des déplacements à Shanghai à cette date atteindra 48 millions par jour.

Dans une perspective de développement durable, le bus et les modes de transport non motorisés devraient donc continuer à jouer un rôle important. Les cyclistes, accusés de

ralentir le trafic, sont surtout invités à utiliser les transports collectifs... Par ailleurs, le vélo électrique a pris depuis les années 2000 une place importante dans les déplacements à Shanghai. Du fait des restrictions frappant l'usage des motocycles en ville, il a séduit les cyclistes appelés à se déplacer sur de plus longues distance (cf. graphique 21).

Graphique 21. Évolution du nombre de vélos et de vélos électriques à Shanghai, 1998-2004



Source : Yeh, C. et F. Papon (2008), « Le développement durable du transport urbain à Shanghai : quelle place pour la bicyclette ? », *Transports*, n° 488.

Malgré la mise aux enchères des plaques d'immatriculation d'automobiles par la municipalité – dont le prix moyen atteignait 30 000 yuans (CNY) en 2004 (soit plus de la moitié du prix des véhicules les moins chers) – la demande d'automobiles continue de grandir en suivant la croissance économique⁷⁸. Ce système, qui n'a pas les faveurs d'un gouvernement central pour qui l'industrie automobile est un pilier de la croissance économique, ne réduit pas l'intérêt des Shanghaiens pour l'automobile (cf. tableau 34).

Tableau 34. Tendence annuelle des véhicules motorisés, 2000-2004 (en pourcentage)

Mode	Croissance annuelle du nombre de 2-roues	Croissance annuelle de passagers en taxi	Nb. d'immatriculations/nb. de voitures en circulation	Prix de l'immatriculation/PIB par habitant
Année				
2000	10,0	4,1	2,8	39,8
2001	18,8	14,8	2,9	36,9
2002	18,9	18,6	5,0	73,9
2003	30,5	13,1	7,4	68,6
2004	14,9	7,6	8,6	50,1

Source : Estimation d'après des données de SCCTPI et du Shanghai Yearbook.

⁷⁸ Ce système d'enchères a permis de limiter la motorisation à Shanghai, où le PIB/habitant atteint 55 000 CNY. Pékin, qui n'a pas mis un tel système en place, est plus de deux fois plus motorisé que Shanghai.

On voit bien que le développement d'une mobilité durable à Shanghai est contraint par cette forte demande de motorisation des ménages. La ville se retrouve donc prise en tenailles entre la demande de véhicules motorisés et le développement économique, d'une part, et les enjeux de pénurie énergétique et de changement climatique, d'autre part. Le développement du transport urbain basé sur une maîtrise de la consommation d'énergie et des émissions de GES est fortement pénalisé par les aspirations individuelles. La motorisation du pays est également une ambition nationale pour un pays émergent qui souhaite développer une industrie compétitive par rapport aux pays développés.

Face aux contraintes énergétiques et climatiques, les villes chinoises devront néanmoins parier sur un développement différent de celui des villes des pays du Nord. La jeunesse de l'industrie automobile chinoise et le développement du vélo électrique peuvent faciliter le changement de paradigme technologique dans le secteur automobile. Toutefois, la structure des villes chinoises et leur densité représentent un atout pour maintenir des parts modales élevées pour le transport collectif, le vélo et la marche à pied. L'intermodalité représente aussi un enjeu pour permettre une mobilité longue distance sans pour autant recourir aux modes individuels de transport motorisé.

5.2 Le défi énergétique et climatique de la motorisation en Inde⁷⁹

La motorisation change radicalement la donne en Inde, surtout dans les grandes villes et particulièrement à Dehli.

Le contexte

L'Inde a franchi le cap d'un PIB par habitant de 3 000 USD. C'est le seuil à partir duquel on assiste en général à un rapide accroissement des taux de motorisation, avec ses conséquences en termes de demande d'énergie et d'émissions de carbone. En Inde, tous les regards se tournent au même moment vers les véhicules et leur impact sur la santé publique, leur consommation effrénée de carburant et leurs effets sur le climat.

Avant même d'avoir pu raisonnablement traiter les problèmes liés aux décès et aux maladies induites par la pollution de l'air, les municipalités voient se profiler la question du réchauffement climatique auquel contribuent les transports. Prendre en charge ces deux aspects exige des politiques ambitieuses de limitation des émissions de carbone et de gestion de la croissance potentielle des émissions toxiques.

L'Inde affiche actuellement un très bas niveau de consommation d'énergie et d'émissions de GES par habitant. Si le pays, qui est en train de construire ses infrastructures de transport et d'énergie, adoptait aujourd'hui des politiques se traduisant par des émissions de carbone et des consommations d'énergie faibles, il contribuerait ce faisant à limiter le niveau des émissions à l'échelle mondiale.

Il convient de prendre correctement en charge les grands changements qui, dans l'avenir, auront une forte incidence sur l'énergie et les émissions de carbone. Ces changements seront provoqués par la forte hausse de la demande d'énergie. La préoccupation prioritaire sera donc liée à la sécurité de l'approvisionnement. L'Inde importe déjà 75 % de ses besoins en pétrole brut, une proportion qui risque d'atteindre 85 % en 2020. Cette vulnérabilité est un facteur potentiel de déséquilibre de l'économie. Le secteur des transports est le plus grand utilisateur de produits pétroliers – environ 40 % de la consommation totale – et, à ce titre, il fragilise la sécurité de l'approvisionnement énergétique du pays. En 2035, la consommation pourrait être six fois plus élevée qu'en 2005, sous l'effet conjugué d'une croissance exponentielle prévue du nombre de véhicules particuliers et du transfert constant du fret ferroviaire vers la route.

En 1994, les émissions de CO₂ du secteur indien des transports représentaient 12 % du total. Cet inventaire n'a pas été actualisé mais on estime aujourd'hui que la consommation de pétrole est responsable de plus de la moitié des émissions de CO₂. De tous les secteurs consommant des produits pétroliers, c'est celui des transports qui voit ses émissions de CO₂ augmenter le plus vite, au taux de 6 % par an. C'est donc là que l'inflexion de la courbe des émissions de GES sera le plus difficile.

⁷⁹ D'après Roychowdhury, A. (2009), « Évitez l'indigestion ! Le défi énergétique et climatique de la motorisation en Inde », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

La meilleure solution consiste à réduire l'utilisation des véhicules particuliers. Les voitures et les deux-roues accaparent plus d'espace routier (75 %) et polluent plus par passager transporté que les autres modes de transport – alors qu'ils ne contribuent qu'à hauteur de 20 % à satisfaire la demande des habitants. En outre, ils réduisent l'espace dévolu aux autobus et aux piétons. Sur l'ensemble du pays, la part des autobus ne constitue plus que 1,1 % du parc de véhicules motorisés alors que la majorité des déplacements urbains (plus de 60 %) sont encore réalisés en autobus. Le besoin de politiques dynamiques pour protéger et accroître l'offre de transport en commun devient impératif. Dans une étude sur Bangalore, la Banque asiatique de développement (BAD) estime ainsi que la ville peut économiser 21 % du carburant qu'elle consomme en augmentant la part des transports en commun, des 62 % actuels à 80 %. À Delhi, on compte déjà plus de 4,5 millions de véhicules – un nombre qui augmente chaque année de 300 000 unités, soit 1 000 véhicules supplémentaires par jour. En 2030, les voitures particulières du pays consommeront à elles seules autant d'énergie que l'ensemble des transports routiers aujourd'hui. Cette situation est clairement insoutenable.

Les ventes de voitures peuvent s'envoler – mais où trouver l'espace pour les mettre ? La multiplication des routes n'est pas une solution. À cet égard, Delhi est pourtant privilégiée : les routes occupent 20 % de sa superficie et la longueur totale de la voirie a augmenté d'environ 20 % depuis 1996. Mais alors que seulement un quart de la population possède une voiture, la ville est déjà totalement embouteillée. À Delhi, Mumbai et Bangalore, la vitesse moyenne et l'espace par véhicule ont chuté en dépit de l'élargissement des routes et de la construction d'échangeurs – et la même histoire se répète dans toutes les villes de l'Inde, grandes et petites.

Les voitures peuvent devenir bon marché – mais au prix d'externalités considérables. Le coût des embouteillages représente de 30 à 40 milliards de roupies (INR) par an (soit 0,5 à 0,65 milliard EUR). Une enquête récente de l'Association des chambres de commerce et d'industrie en Inde (ASSOCHAM) constate qu'en moyenne, les gens consacrent 2,5 heures chaque jour à leurs trajets.

Néanmoins, les propriétaires de voiture profitent de subventions cachées : ils ne payent pas à son juste prix l'usage hors de proportion qu'ils font de l'espace pour rouler ou stationner. Si les coûts réels de stationnement étaient appliqués, les usagers devraient payer 30 à 40 INR (0,5 à 0,65 EUR) de l'heure. Le gouvernement s'inflige par ailleurs des pertes de revenu abyssales, avec un gasoil très faiblement taxé alors que ce carburant émet des polluants toxiques mortels. Dans le même temps, il pénalise les autobus en leur imposant des taxes supérieures à celles des voitures qui, elles, sont choyées : à Delhi, dès que son véhicule est amorti, le propriétaire paie seulement 300 INR (5 EUR) par an au titre de la taxe routière, alors qu'un autobus est taxé à hauteur de 13 000 INR (210 EUR), soit environ 43 fois plus. À Mumbai, les autobus paient 41 000 INR (660 EUR) par an, contre 9 000 INR (145 EUR) pour les voitures et pour toute leur durée de vie. Les taxes ne sont corrélées, ni à l'efficacité énergétique, ni aux niveaux d'émission des véhicules.

Comment interpréter dès lors le phénomène de la « Nano » de Tata⁸⁰ dans la problématique de mobilité dans nos villes ? Des petites voitures bon marché, accessibles au plus grand nombre, c'est évidemment ce qu'attendent un milliard de personnes ! Les petites voitures permettent d'économiser du carburant alors que le monde est menacé par la pénurie d'énergie et se débat sous un nuage de gaz chauds... Le segment des voitures bon marché est aussi un nouveau facteur de croissance – ce sont des arguments que l'on entend souvent. En Inde, les petites voitures d'entrée de gamme représentent, dans un contexte de guerre des prix, les deux tiers des ventes d'automobiles. Devant tous ces avantages, pourquoi donc s'inquiéter ? Le problème, c'est que toutes les voitures – grandes et petites – sont concernées. L'augmentation des revenus a multiplié la demande pour des voitures plus grosses et pour les utilitaires sport (4x4 ou SUV). Alors que les ventes de petites voitures ont baissé de moitié depuis 2000, combien sont ceux qui résistent à l'attrait de superbes voitures bon marché ? Dès 2025, la flotte de véhicules motorisés des pays en développement excédera celle des pays à haut revenu. Les économies émergentes d'Asie, l'Inde en particulier, ont

⁸⁰Tata propose des petites voitures très bon marché, dont la dernière en date, la « Nano », est commercialisée au prix record de 2 500 USD.

encore une chance de ne pas bâtir leur croissance sur l'industrie automobile et de faire ainsi bénéficier le monde entier d'une considérable économie d'émissions de carbone. La raison pour laquelle le débat autour de la « Nano » prend une telle acuité aujourd'hui est que nous avons encore le temps, la chance et la possibilité d'envisager différemment la réponse à apporter au besoin de mobilité et à la base technologique que cela implique. Malgré l'augmentation constatée du taux de possession de voitures particulières, nous pouvons en limiter l'usage et nous assurer qu'elles sont propres et efficaces. Nous avons déjà une grande expérience en matière de transports en commun. La marche à pied et l'usage de la bicyclette sont de vieilles traditions ; si nous savons les préserver et les améliorer, nous pouvons emprunter une voie alternative et nous éviter, ainsi qu'au monde entier, les émissions énormes et les consommations d'énergie extravagantes. Nous pouvons encore décider de ne pas emprunter le chemin du développement à forte intensité énergétique et grosses émissions, cher aux pays occidentaux. Mais cela exige des stratégies rigoureuses et préventives.

De grandes ambitions sont nécessaires en matière de technologies. Les nouveaux investissements dans les véhicules devront tenir compte des normes d'émissions les plus rigoureuses de sorte que nous puissions bénéficier de l'ensemble des innovations technologiques et prévenir les émissions nocives. La réglementation doit être scrupuleusement appliquée pour que les émissions des véhicules restent modérées tout au long de leur vie utile et non pas seulement au moment de leur mise en service. Des mesures de politique sectorielle doivent permettre la commercialisation rapide de technologies propres et efficaces tout en décourageant l'utilisation de gasoil polluant.

Une réglementation relative aux économies de carburant doit être adoptée sans tarder pour ne plus continuer à consommer sans frein du pétrole, ce que ne manquerait pas d'augmenter le parc de voitures constitué par ailleurs de véhicules plus gros. Des normes de consommation de carburant éviteront aussi la croissance des émissions de GES.

La mobilité en ville et non le nombre de voitures doit avoir

la priorité. La voiture particulière ne peut pas répondre aux besoins de déplacement de la majorité des citoyens. Il faut concevoir de nouvelles politiques publiques pour favoriser la mobilité urbaine, changer d'échelle en matière de transports en commun et instaurer de nouvelles taxes visant à diminuer l'usage des véhicules particuliers. Il faut aussi rapidement prendre des mesures pour stabiliser le nombre d'usagers des transports en commun. Ceux-ci contribuent encore largement aux trajets urbains – 60 % à Delhi, 70 % à Calcutta et 80 % à Mumbai. Il ne faut pas que les usagers délaissent l'autobus, car il est beaucoup plus difficile de les y ramener après qu'ils l'ont quitté pour la voiture. Il faut investir rapidement pour améliorer la qualité des transports en commun : prendre le bus devrait présenter autant d'attrait que d'utiliser la voiture...

Toutes nos villes ont besoin d'objectifs et d'un calendrier de transfert modal. De premières actions ont déjà vu le jour en Inde, qui dessinent un cadre pour les transports en commun et la mobilité durable. C'est le cas de la Politique nationale de transports urbains, de la Mission de rénovation urbaine Jawaharlal Nehru et du Plan des infrastructures pour les villes petites et moyennes. Ces actions devraient constituer les fondations d'une mobilité durable en Inde. Mais le cadre de la politique nationale actuelle n'est pas suffisamment solide pour favoriser les plans de renforcement des transports en commun et pour stimuler l'investissement au niveau local, qu'il soit public ou privé. Il faut donc renforcer ce cadre pour que des politiques visant à développer les transports en commun et limiter l'usage des voitures soient mises en œuvre par les municipalités.

Les transports en commun sont aussi victimes de la mauvaise gestion et de la faiblesse des institutions qui en ont la charge. Les organisations publiques qui doivent épauler l'extension et l'amélioration des systèmes de transport urbains doivent être réformées pour être plus efficaces. Autre grand défi à relever : la réorganisation des agences, compagnies privées ou publiques et coopératives de bus pour améliorer la qualité de service. Les transports en commun de masse nécessitent un mode de management et de supervision innovant et adapté.

Des politiques doivent être adoptées pour ralentir l'usage

des véhicules individuels. Les gens peuvent certes acheter des voitures, mais il devrait y avoir des contraintes à leur utilisation. Aujourd'hui, le gouvernement indien pénalise lourdement les autobus en leur imposant des taxes supérieures à celles des voitures. Ces écarts doivent disparaître. Les taxes sur le carburant et le coût du stationnement devraient tenir compte des coûts engendrés par la possession d'une voiture. Naturellement, la résistance à cette vision des choses est très forte, car elle remet en question les aspirations de la classe moyenne émergente. Il faut sensibiliser le public sur les questions de pollution et d'engorgement induits par la motorisation.

Il est également important de se concentrer sur la bicyclette et la marche à pied. Des couloirs dédiés à la marche, aux cyclistes et aux autobus devraient être la base de la réorganisation de la voirie. Encore aujourd'hui, dans une ville comme Delhi, les trajets de près de 40 % de la population se font en bicyclette. Mais ce mode de transport est menacé, car les conditions de circulation sont de plus en plus dangereuses.

Il faut par ailleurs adopter un plan spécifique pour les villes indiennes petites et moyennes, parce qu'elles sont plus vulnérables à l'envahissement des petites voitures bon marché. Si la tradition de la marche et de la bicyclette y est bien ancrée, il n'existe pas de politique de transports en commun. Il est symptomatique de constater que le système de transport en commun et le renouvellement des autobus ne sont pas éligibles pour profiter du programme de développement des infrastructures urbaines des villes petites et moyennes que le gouvernement central met en œuvre – au motif que ces villes n'ont pas une densité de voyageurs suffisante pour que les investissements liés à la réalisation de couloirs dédiés aux transports en commun soient suffisamment rentables. Par conséquent, après la marche et la bicyclette, la seule solution pour améliorer les conditions de trajet consiste à acheter un véhicule particulier !

Le message est clair : il faut repenser les politiques publiques pour promouvoir la mobilité pour tous, changer d'échelle dans la conception du système de transports en commun et mettre en œuvre un ensemble de taxes qui dissuadent d'utiliser la voiture.

5.3 Ho-Chi-Minh-Ville : développement économique et mobilité durable⁸¹

Au Sud du Vietnam, Ho-Chi-Minh-Ville (ex-Saigon) et ses 7 millions d'habitants est la première métropole économique du pays. Durant les années 1990, la ville a connu un fort développement économique (9,5 % par an en moyenne pour le PIB régional) qui s'est traduit par des pressions urbanistiques et industrielles et, partant, par une détérioration de la qualité du tissu urbain et environnemental. Différents signaux d'alarme – émissions industrielles, concentrations en SO₂, congestion, raréfaction de la voirie urbaine, concentrations en NO_x... – se sont successivement allumés sur le tableau de bord de l'environnement urbain.

L'amélioration du niveau de vie de la population due à cette croissance économique soutenue a facilité l'accès des ménages aux motocycles, d'autant que le prix d'entrée de gamme a été divisé par 2,5 sur cette période (« invasion » des motocycles chinois) : le parc de motocycles a ainsi triplé entre 1992 et 2002, pour atteindre 2,5 millions de moto-

cycles enregistrés. Par ailleurs, le nombre de véhicules particuliers et de poids lourds a été multiplié par trois entre 1995 et 2000. En revanche, le nombre de sièges offerts par les transports en commun est resté stable. Tout cela explique qu'à la fin des années 1990, le motocycle représentait plus de 80 % des déplacements mécanisés en heure de pointe du soir. La part des transports collectifs (essentiellement bus et *lambros*) ne représentait plus que 2 à 3 % du trafic urbain, alors qu'ils étaient dominants jusqu'au milieu des années 1980.

Fort de ce constat, le Comité populaire de Ho-Chi-Minh-Ville (la municipalité) a sollicité en 1999 une assistance de l'ADEME pour « ne pas devenir Bangkok ». L'évolution non maîtrisée des transports, qui se traduit par une saturation de l'espace urbain, un niveau de pollution de l'air supérieur

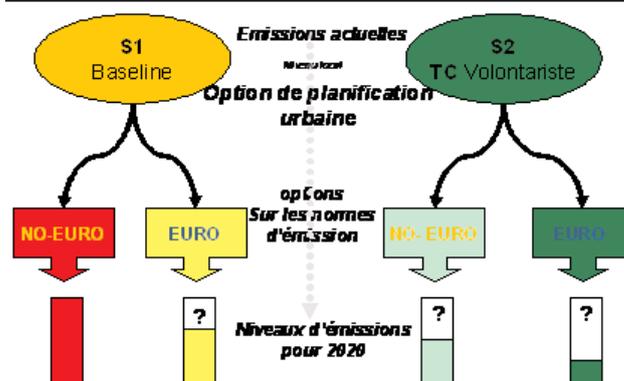
⁸¹ D'après Benkhelifa, F. (2009), « Pollution atmosphérique, émissions de CO₂ et mobilité durable à Ho-Chi-Minh-Ville », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

aux seuils sanitaires et un accroissement du nombre d'accidents, risquait d'obérer le développement économique et social de l'agglomération. Le cabinet EXPLICIT, qui travaillait à cette époque sur les volets énergie et pollution des plans de déplacement urbain en France, a mené à bien ce travail d'assistance technique sur la mobilité durable dans le cadre d'une démarche ETAP (énergie, transports, air et pollution). Le programme ETAP s'est déroulé en trois séquences, de 1999 et 2005 : i) étude de diagnostic des émissions tous secteurs confondus ; ii) concertation des acteurs à partir d'une étude prospective ; et iii) plan de renforcement des capacités du département des Transports.

Lors de la première phase, la cartographie ETAP a permis de mettre en évidence la forte contribution des transports aux émissions de polluants par rapport à l'industrie et à l'habitat (60 % des oxydes d'azote, 83 % du monoxyde de carbone, 65 % des hydrocarbures), se traduisant notamment par une concentration d'oxydes d'azote en centre ville supérieure aux seuils tolérables (standards OMS). La deuxième phase de l'étude a cerné les enjeux pour les 20 prochaines années d'un développement non maîtrisé des modes individuels de transport. En se basant sur des documents de planification des transports et les programmes d'investissement en cours (notamment le *Master Plan Transport* de Ho-Chi-Minh-Ville), deux options de développement ont été dégagées pour l'étude de prospective, avec une variante « introduction de la norme d'émission EURO » pour chaque scénario :

- un scénario « S1 tendanciel » reprenait les éléments techniques d'une continuité de la politique des transports de l'époque visant principalement un objectif (utopique) de fluidité du trafic basé sur les modes individuels, dans lequel la part de marché des transports collectifs parvenait à peine à dépasser la barre des 5 % en 2010 et approchait 10 % en 2020 ;
- un scénario « S2 volontariste » se voulait une vision alternative, avec comme objectif de restreindre l'usage des motos et des véhicules particuliers et d'assurer le développement du transport collectif en site propre. Les transports collectifs représenteraient dans ce cas une part de marché supérieure à 15 % en 2010 et à 30 % en 2020.

Graphique 22. Les scénarios de transports urbains envisagés à l'horizon 2020 pour Ho-Chi-Minh-Ville

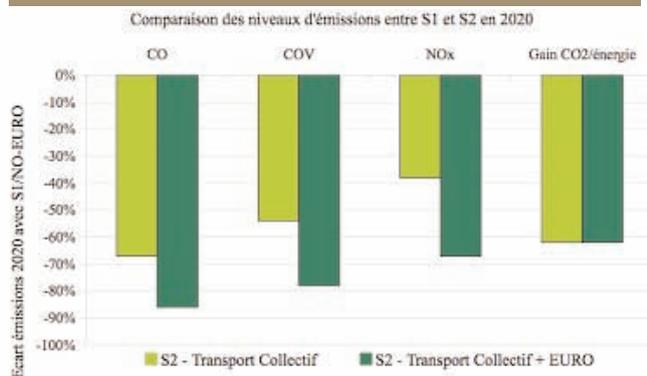


Source : EXPLICIT.

Il s'agissait en clair de savoir si un parc de véhicules individuels aux caractéristiques techniques plus propres permettrait de s'affranchir d'un investissement important en matière de transport collectif.

L'étude de prospective réalisée en partenariat avec un bureau d'études local (ENERTEAM) a permis de mettre en évidence la prédominance de l'option « transports collectifs » sur toute autre solution dans un objectif d'amélioration de la qualité de l'air. En effet, le scénario « S2 volontariste » permettrait de réduire jusqu'à un facteur 10 l'exposition de la population à certains polluants atmosphériques. Par ailleurs, l'option d'aménagement urbain (transport en commun en site propre) se révélait plus efficace du point de vue de l'environnement local que la seule vision par les normes d'émissions des véhicules : le scénario « transports collectifs renforcé » (S2) permettrait d'adopter une stratégie préventive efficace vis-à-vis de la problématique latente d'accès à l'automobile (partage de la voirie en faveur des transports en commun, développement d'une offre collective intégrée). Le *Master Plan Transport* indiquait une part de marché de l'ordre de 9 % pour l'automobile en 2020 dans le cadre de S1 contre 4 % pour le scénario S2. De plus, et bien que les questions d'économies de pétrole et d'émissions de GES n'aient pas été placées au cœur des préoccupations initiales du projet, les conséquences des différents scénarios sur l'environnement global apparaissaient comme très significatives. La mise en œuvre ou non de la norme EURO n'ayant d'impact que sur les quatre-roues et dans une logique de dépollution en bout d'échappement

Graphique 23. Comparaison des niveaux d'émissions des scénarios S2 (avec ou sans norme Euro) avec le scénario S1 (sans norme Euro)



Source : EXPLICIT.

(filtre, catalyseur), les gains en économie de carburant (facture divisée par deux pour la collectivité) et de CO₂ sont à l'actif du scénario « transports collectifs renforcé ».

À l'issue de cette étude, présentée en 2002 lors d'un séminaire franco-vietnamien sur les transports et l'environnement, le département des transports et le département de l'environnement de Ho-Chi-Minh-Ville ont signé un mémorandum portant sur la mise en place d'une politique de transport durable et la définition des missions de la future Autorité organisatrice des transports (AOT).

En pratique, durant la troisième phase de ETAP, un groupe de travail interservices sur l'amélioration des transports collectifs a été mis en place. Il associait les départements des transports et de l'environnement mais aussi ceux de l'éducation et de la santé ainsi que le puissant département du planning et de l'investissement. Par ailleurs, des sessions ont été organisées avec des représentants de la société civile (étudiants, syndicats, femmes, retraités, universitaires...). Ce groupe de travail permanent a permis la mise en œuvre de solutions pratiques – comme les minibus scolaires et la carte d'abonnement mensuel et hebdomadaire. L'expertise française a été mobilisée pour renforcer le rôle de l'AOT avec, notamment, la définition et le développement d'un outil de gestion et d'optimisation du trafic du transport urbain pour le compte du Centre municipal de

gestion des transports collectifs. Ce logiciel (UTAM) permettrait d'avoir une vision au jour le jour du trafic et d'optimiser l'exploitation des lignes gérées par plus d'une trentaine de coopératives, une compagnie municipale et un exploitant privé (Saigon Star).

Les résultats communiqués par le centre municipal de gestion des transports collectifs indiquent que la part de marché des transports collectifs en 2005-2006 est de l'ordre de 6 % (contre deux à 3 % auparavant), avec une fréquentation qui est passée de 28 millions de passagers en 2002 à 200 millions en 2005. Les chiffres provisoires de 2007 indiquent une progression supplémentaire de 2 points. Sur la base de cette tendance, un objectif de part de marché supérieure à 10 % en 2010 semble réaliste.

Ce projet a mis en évidence que la seule stratégie sans regret pour la collectivité est le développement d'une offre de transport urbain intégrée. L'approche préventive développée par la municipalité en réponse aux risques sanitaires croissants et à la désorganisation urbaine latente s'est révélée plus efficace dans le temps que les orientations initiales basées sur le tout-technologique (émissions réglementaires des véhicules et carburants alternatifs).

Le programme ETAP a été aussi l'occasion de sensibiliser les décideurs locaux à la problématique des émissions de GES. Progressivement, les économies de CO₂ générées par cette relance du transport collectif ont été mises en avant par les pouvoirs publics auprès de bailleurs de fonds bilatéraux et multilatéraux. Ce programme devrait se traduire *in fine* par des économies importantes de carburant et une réduction de l'ordre de 60 % des émissions de CO₂ du secteur par rapport à l'évolution tendancielle.

Ce programme de rééquilibrage modal constitue de fait une option importante de réduction de la vulnérabilité aux chocs énergétiques et à leurs conséquences sociales ainsi qu'un axe structurant du développement urbain de la métropole de Ho-Chi-Minh-Ville.

5.4 Mobilité urbaine et rurale en Afrique⁸²

Le niveau de mobilité motorisée est très faible en Afrique subsaharienne et plutôt faible en Afrique du Nord et en Afrique du Sud, avec des exceptions remarquables pour les villes où les deux-roues sont très nombreux, dont Ouagadougou est emblématique. L'autre face de la mobilité en Afrique est l'importance de la marche, qui constitue le mode de déplacement quasi exclusif d'une partie de la population urbaine, représentant en moyenne 50 à 80 % des déplacements dans la majorité des villes.

La mobilité motorisée est en croissance au Maghreb en raison de la hausse des revenus et de l'extension de l'accès à l'automobile, avec un modèle très largement tourné vers l'Europe. À l'autre extrême du continent, l'Afrique du Sud où se côtoient deux mondes qui doivent s'intégrer peu à peu : une société riche très motorisée et les exclus des *townships*, captifs des transports collectifs. La question est de gommer les séquelles de l'apartheid qui ont marqué pour longtemps les structures urbaines et imposent de très longues distances de déplacement.

Dans tous les cas, on enregistre une forte augmentation des besoins de déplacement due à la croissance démographique des villes ainsi qu'à l'étalement urbain et à la métropolisation, qui contribuent à l'allongement des distances.

Dynamique d'usage des modes individuels

Étant donné le faible niveau de ressources, l'équipement des ménages en voitures est faible, en particulier en Afrique subsaharienne où les taux de motorisation tournent autour de 30 à 40 véhicules pour 1 000 habitants, alors qu'ils approchent ou dépassent le seuil de 100 dans les villes du Maghreb dont la dynamique d'équipement automobile des ménages est forte depuis la fin des années 1990.

À côté de l'automobile, la moto peut jouer un rôle important pour faciliter la mobilité, soit comme mode individuel (Ouagadougou, autres villes sahéliennes...), soit comme transport public, avec le taxi-moto dont l'ampleur s'étend progressivement dans les villes où le transport collectif n'est pas suffisamment efficace (le cas le plus massif et ancien est celui de Cotonou).

Les taux d'usage des modes individuels résultent de ces données d'équipement : faibles en Afrique subsaharienne sans-deux roues, élevés dans les villes avec deux-roues, élevés en Afrique du Sud et au Maghreb, où ils peuvent dépasser le seuil de 50 % des déplacements motorisés. Reste alors à se demander si le transport collectif constitue une alternative crédible et durable et à en considérer les multiples composantes.

À la recherche d'un schéma durable de transports collectifs

Les entreprises d'autobus peinent à (re)trouver leur place dans un contexte qui a favorisé le développement du transport artisanal, sous forme de minibus et taxis collectifs, voire de taxis-motos, dont la propriété est atomisée et qui sont exploités à l'échelle individuelle mais au sein d'une organisation collective minimale reposant sur les syndicats de chauffeurs. La domination du secteur artisanal, qui s'explique par sa souplesse et son adaptabilité à l'évolution des besoins, est écrasante en Afrique subsaharienne (80 à 90 % des transports publics dans la majorité des villes), mais ce secteur est également très présent au Maghreb et en Afrique du Sud qui ont pourtant aussi une offre structurée d'entreprises (autobus, métro, train urbain, selon les cas).

Le bilan énergétique et environnemental qui en résulte est préoccupant, surtout dans les zones denses où se concentre le trafic. Mais il faut arrêter de penser que l'on va supprimer ce secteur au profit d'entreprises d'autobus performantes : il convient d'envisager la situation en termes de complémentarité, au travers des autorités organisatrices adaptées, comme cela a été amorcé à Dakar avec le Conseil exécutif des transports urbains de Dakar (Cetud), créé en 1997.

⁸² D'après Godard, X. (2009), « Mobilité urbaine en Afrique : quels modèles et quelles inflexions face aux défis de l'énergie et du climat ? », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

Les exclus de la mobilité motorisée

Les exclus de la mobilité motorisée sont contraints à une mobilité essentiellement pédestre. Ce qui est bon pour l'environnement l'est moins d'un point de vue social ou économique : le marché de l'emploi accessible à pied est bien trop restreint. L'accès aux services urbains est limité même si des politiques d'équipement localisé dans les quartiers d'habitation (écoles, centres de santé, marchés d'alimentation, administrations) sont à promouvoir résolument.

Il existe plusieurs définitions de la pauvreté, selon la nature des seuils monétaires considérés ou les multiples dimensions introduites dans les indices de développement humain (IDH). Si l'on s'en tient au seuil de 1 USD par personne et par jour, on voit que la proportion des pauvres était de l'ordre de 30 à 40 % à Conakry et à Douala (en 2003) et atteignait sans doute 50 % à Dakar (en 2000) – chiffres à prendre avec précaution puisque les sources restent fragiles. Le profil de mobilité est illustré par les données d'enquête à Conakry et Douala : si les taux de mobilité globale sont proches entre groupes sociaux, ils se différencient nettement par le recours massif à la marche à pied chez les plus pauvres et par le faible usage de modes motorisés.

Consommations d'énergie et émissions de GES

À l'exception de l'Afrique du Sud, les consommations actuelles d'énergie en Afrique subsaharienne provoquées

par la mobilité urbaine se situent à un niveau relativement faible. Il en va de même des émissions de GES : elles sont de 950 000 tonnes de CO₂/an à Abidjan en 1998 et de 400 000 tonnes à Dakar en 2000 (0,16 tonne par habitant). Cela tient au poids très important des déplacements à pied et des transports collectifs. À l'inverse, dans le cas de Tshwane (ex-Pretoria), on a pu estimer les dépenses de carburant à 900 millions de litres en 2003 et les émissions annuelles de CO₂ à 2,8 Mt en 2008 (soit 1,2 tonne par habitant) – un niveau comparable à celui des pays développés d'Europe.

Tendances et inflexions

La hausse du coût de l'énergie, même si la crise économique actuelle réduit ce poids pour quelques années, est un défi majeur pour la majorité des pays africains et pour les villes qui absorbent une grande part des consommations (plus de 60 % pour Abidjan par exemple selon les estimations).

La crise financière internationale risque de fragiliser les grands opérateurs internationaux qui sont sollicités pour appuyer les entreprises à reconstituer dans les villes africaines, ce qui devait ainsi consolider de fait le secteur artisanal. Le changement climatique pourrait accentuer le développement urbain avec la poursuite de l'exode rural, renforçant ainsi les besoins de transport à l'échelle des agglomérations (multi)millionnaires.

Tableau 35. Mobilité des pauvres à Conakry et Douala, 2003 (en pourcentage)

	Conakry		Douala	
	Pauvres	Non-pauvres	Pauvres	Non-pauvres
Taux de mobilité globale	3,8	3,9	4,4	4,8
Marche à pied	78	61	77	52
Marche de plus de 30 minutes	11	9	13	4
Taux de mobilité motorisée	0,8	1,2	1,0	1,9
Hommes	1	1,4	1,2	2,1
Femmes	0,7	1	0,8	1,5

Source : *Solidarité internationale sur les transports et la recherche en Afrique subsaharienne (Sitrass), 2004.*

Les schémas d'urbanisation vers lesquels il conviendrait de s'orienter devraient alors s'organiser sur des structures multipolaires desservies par du transport de masse, mais avec une complémentarité forte avec le secteur artisanal. Une solution qui émerge peu à peu est l'élaboration de sites propres intégraux pour autobus (BRT) à l'image de ce qui a été mis en place dans plusieurs villes d'Amérique latine. Mais cela suppose une capacité d'organisation et de planification qui n'est pas encore acquise dans la majorité des villes africaines. Le retard dans la mise en place de tels projets en Afrique du Sud ou à Dar-es-Salam (Tanzanie) et à Addis-Abeba (Éthiopie) est révélateur de ces difficultés institutionnelles.

Les mots clefs sont la capacité d'organisation du secteur des transports urbains reposant sur de multiples opérateurs, la recherche de productivité des transports collectifs, des mesures de circulation permettant la lutte contre l'extension de la congestion, une planification urbaine stratégique à réinventer, mais aussi la promotion et la revalorisation des modes doux (vélo, marche) qui sont mal aimés par les autorités : cela suppose que l'obstacle culturel soit résolu et que l'impression d'un discours donneur de leçons venant du Nord soit dépassée. Seul le développement de la capacité d'expertise au sein des pays africains pourra aller dans ce sens pour identifier les solutions adaptées.

5.5 Déplacements des populations isolées en Afrique subsaharienne : comment économiser l'énergie⁸³

La meilleure façon d'économiser l'énergie et de ne pas contribuer au changement climatique, c'est de ne pas utiliser de « services modernes », en particulier les transports motorisés... Or, sans possibilité de déplacer les personnes et les biens, tout développement humain et économique est impossible. L'absence d'infrastructures et de moyens de transport en milieu rural, tout particulièrement en Afrique subsaharienne, constitue donc un obstacle au développement. Toutefois, une politique de transports ne se limite pas aux infrastructures et aux véhicules motorisés. En analysant les « besoins » de déplacement des populations rurales, on peut faire émerger des solutions efficaces qui contribuent à la réalisation des objectifs du Millénaire pour le développement (OMD). Ces solutions aux coûts économique et environnemental acceptables peuvent être mises en œuvre à court terme et permettre une amélioration rapide des conditions de vie des populations.

Sur les 450 millions de ruraux que compte l'Afrique subsaharienne, une majorité vit avec moins de 1,25 USD par jour, nouveau seuil international de pauvreté défini par la Banque mondiale (Chen et Ravallion, 2008). Si l'on constate une évolution positive de certains indicateurs de développement, les efforts vont devoir s'accroître pour que l'Afrique subsaharienne réalise les OMD. L'isolement des populations rurales est une caractéristique fondamentale de la pauvreté. L'accès à l'eau, à la nourriture, aux services énergétiques (électricité, cuisson, force motrice), aux ser-

vices de santé, à l'éducation, à l'emploi tout comme aux marchés et aux activités civiques et culturelles, peut se révéler très difficile du fait des distances à parcourir, de l'état des chemins ou des routes et des modes de transport disponibles. Le manque d'accès des populations rurales aux services essentiels est alors bien souvent un verrou enfermant les ménages dans l'extrême pauvreté. L'amélioration des conditions d'accès est un catalyseur pour l'atteinte des OMD dans les pays d'Afrique subsaharienne.

La marche à pied et le portage prédominent dans les régions les plus pauvres. Le transport devient une activité qui demande beaucoup d'efforts pour peu de résultats (Starkey, 2001). Les modes de transport motorisés sont rares dans de nombreuses régions. Inabordables pour la plupart des habitants, ils sont parfois même inutilisables en fonction des territoires et des infrastructures.

Sur le continent, les infrastructures de transport sont particulièrement peu développées. Le réseau routier totalise un peu plus de 2 millions de km, soit environ 7 km/100 km². Cela représente un réseau deux fois moins développé qu'en Amérique latine et trois fois moins qu'en Asie. De

⁸³ D'après Allaire, J. (2009), « La mobilité et le transport rural en Afrique subsaharienne : économiser l'énergie des populations isolées », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

plus, la qualité des infrastructures est médiocre puisque moins d'un tiers du réseau routier est revêtu. Selon le Programme de politiques de transport en Afrique subsaharienne (SSATP) de la Banque mondiale, seulement 34 % de la population rurale vit à moins de 2 km d'une route praticable en toute saison. La construction de routes, nécessaire pour desservir les zones rurales, est loin d'être suffisante pour satisfaire les besoins de transport des populations. Les investissements doivent concerner l'ensemble du système de transport pour répondre aux enjeux de lutte contre la pauvreté, de l'égalité entre les sexes et de l'amélioration des conditions de santé et d'éducation.

Les femmes et le transport quotidien

La mobilité quotidienne en milieu rural répond avant tout aux besoins d'une économie de subsistance. De fait, les activités domestiques sont à l'origine d'une très grande part des déplacements, essentiellement pour le transport de l'eau et du bois de feu. Les autres déplacements sont liés à l'activité agricole : rejoindre les champs cultivés, apporter les intrants quand il y en a et acheminer les récoltes, notamment pour les commercialiser sur les marchés.

Force est de constater que ce sont les femmes qui supportent généralement l'activité de transport puisque, traditionnellement, ce sont elles qui s'occupent des tâches domestiques dans les sociétés africaines : collecte de l'eau et du bois de feu, préparation et cuisson des repas, traitement et stockage des aliments, soins des enfants, nettoyage et lavage, achats et courses. La quasi-totalité du transport induit par ces activités leur incombe directement. La population féminine prend à sa charge les deux tiers du temps de transport. Une étude réalisée dans cinq zones rurales montre qu'une femme peut consacrer en moyenne pour ses déplacements entre une heure et 2 heures 40 minutes par jour. Dans certaines régions, près du quart de la journée de travail des villageoises est dédié aux déplacements et aux transports (Barwell, 1996). L'effort réalisé équivaut à porter une charge de 20 kg sur une distance de 1,4 à 5,3 km sans compter les enfants portés sur le dos. La charge totale que les femmes des villages africains portent sur une année est trois à cinq fois plus importante que celle portée par les hommes.

Les situations locales sont, bien entendu, contrastées : ainsi, l'énergie et le temps consacrés au ravitaillement dépendent beaucoup des distances qui séparent le ménage et les sources d'approvisionnement. Quand les distances sont importantes, les consommations d'eau et de bois de feu sont rationalisées pour réduire la charge à transporter. À l'inverse, lorsque les habitations sont agglomérées autour des points d'eau, les consommations deviennent plus importantes. Il faut noter que dans cette configuration, les distances de déplacement pour l'approvisionnement en eau sont plus courtes mais les distances à parcourir pour rejoindre les parcelles cultivées plus longues. Par ailleurs, l'effort dépend du nombre de femmes dans le ménage : dans les ménages polygames, les corvées sont réparties entre les femmes. De plus, les enfants sont souvent mis à contribution, notamment pour le portage de l'eau et du bois de feu et particulièrement quand la charge de travail des femmes est plus importante pendant la haute saison agricole. La fréquentation scolaire, déjà affectée par la difficulté d'accès aux écoles, est encore réduite dans ce cas, notamment pour les filles qui sont plus facilement sollicitées.

Indépendamment des cultures, les actions en milieu rural doivent permettre de soulager le fardeau des femmes. Pour répondre aux objectifs d'égalité des sexes et d'autonomisation des femmes, il convient de faciliter leurs déplacements, de raccourcir les distances en développant de nouveaux services et même de réduire les besoins (la quantité de bois de feu consommé peut être réduite par l'usage de foyers plus économes et l'utilisation de combustibles alternatifs). Mais les conséquences sont également plus vastes, car le temps gagné par des durées de déplacement plus courtes peut être réinvesti dans d'autres activités productives. Des études ont montré que les femmes accentuent leur contribution au travail des champs et améliorent ainsi la productivité agricole. La trop faible productivité agricole est considérée comme l'une des premières causes de malnutrition dans les familles de petits paysans en Afrique subsaharienne, qui représentent près des trois quarts des 200 millions de personnes mal nourries (Sanchez *et al.*, 2005).

Les moyens intermédiaires de transport

La diffusion des moyens intermédiaires de transport (MIT) est de plus en plus encouragée par les acteurs internationaux, car ils permettent de gagner du temps, d'économiser l'énergie des hommes et des femmes et d'augmenter les capacités de transport à moindre coût. Les brouettes, charrettes à bras, chariots, bicyclettes, tricycles et modes de traction animale sont « intermédiaires » dans le sens où ils remplissent le vide entre marcher/porter et le transport motorisé à grande échelle (Starkey, 2001). Ils permettent de porter des charges trop lourdes pour des hommes mais pas assez pour des modes de grand tonnage. Leur pertinence se situe pour des charges allant de 50 à 1 000 kg (tableau 36).

Leur adoption dépend beaucoup de la pertinence de la technologie, de ses conséquences économiques et de l'importance de l'environnement culturel mais il existe aussi une part de chance ou de hasard. En tout état de cause, les MIT appartiennent à un système de transport où les infrastructures, les services de réparation et l'ac-

ceptation des populations doivent se conjuguer pour garantir leur adoption.

La rentabilité des MIT, qui sont avant tout dédiés aux travaux agricoles, est primordiale pour en assurer l'adoption par les populations. Celle-ci peut-être directe, par l'accès à des prix de vente plus élevés ou la possibilité de louer le véhicule. Mais elle s'observe également de manière indirecte : ainsi, les nouveaux débouchés permettent la commercialisation d'un plus grand nombre de produits agricoles. Dans la plupart des régions où les conditions de transport rural se sont améliorées par la construction de routes et la montée en gamme des MIT, on constate que les rendements agricoles augmentent considérablement. Le développement d'un système de transport intermédiaire permet également de favoriser les initiatives de petites entreprises et l'émergence de nouveaux métiers en marge des activités de subsistance, rendus possibles grâce à l'amélioration de l'accessibilité. L'utilisation de ces modes de transport peut donc permettre une amélioration substantielle de leur revenu.

Tableau 36. Les différents modes de transport en milieu rural

	Prix d'achat (USD)	Cargaison (kg)	Vitesse (km/h)	Périmètre (km)	Coût tonne/km (USD)
Portage	0	20	5	10	1,5
Traîneau	10	100	4	3	0,8
Brouette	30	100	4	1	0,4
Charrette à bras	60	150	4	5	0,35
Âne de bât	60	80	7	20	0,7
Bicyclette	100	60	10	20	0,6
Vélo-pousse	170	150	8	15	0,45
Charrette à âne	300	400	6	15	0,6
Charrette à bœuf	500	1 000	5	10	0,2
Moto	900	100	50	50	1,3
Motoculteur remorque	5 000	1 000	10	15	0,7
Camionnette	12 000	1 200	80	200	0,7
Camion	60 000	12 000	80	200	0,5

Source : Starkey (2001).

Dans les sociétés rurales, les hommes ont souvent tendance à s'approprier les MIT (autres que le portage) et rechignent à les mettre à disposition des « travaux de femmes », considérant parfois que cela représenterait une menace à leur position dominante dans le foyer (Bamberger et Davis, 2001). Les femmes peuvent elles-mêmes hésiter à utiliser un MIT, la bicyclette étant ainsi souvent jugée comme un « véhicule masculin ». Mais dans certains cas, le partage des tâches change avec l'adoption d'un MIT. Les hommes peuvent se charger des corvées d'eau ou de bois lorsque le manque à gagner des femmes devient trop élevé ou que ces dernières ne sont plus en mesure d'assumer d'autres responsabilités.

L'accès aux services de santé

Les zones rurales d'Afrique subsaharienne sont faiblement dotées en centres de santé et ceux-ci, souvent mal équipés, manquent de personnel compétent. Les familles les plus pauvres sont bien souvent celles qui en sont le plus éloignées (Castro-Leal *et al.*, 2000). À part les campagnes itinérantes, ces familles doivent parcourir de longs trajets et consacrer beaucoup de temps pour recevoir des soins. L'usage des services de santé, comme celui des écoles d'ailleurs, est inversement proportionnel à la distance à parcourir.

L'étude de l'Institut pour une politique de transport et de développement (ITDP) réalisée en Ouganda, au Ghana et au Sénégal analyse les conditions d'accès des populations aux trois différents niveaux de services de santé présents dans les pays étudiés : le poste de santé, le centre de santé et l'hôpital. Pour accéder à un poste de santé, très mal équipé et privé de personnel soignant compétent, les populations doivent bien souvent marcher plusieurs kilomètres. Le centre de santé le plus proche, un peu mieux équipé et où l'on peut trouver un infirmier, se situe à plus de 25 km. Quant à l'hôpital, où l'on peut trouver un médecin, il se trouve à plus de 50 km (Heyen-Perschon *et al.*, 2008). Dans ces conditions, l'acheminement d'urgence des patients vers les services de santé est un enjeu considérable. Le transport d'un malade, d'un blessé ou d'une femme enceinte se fait parfois sur plusieurs dizaines de kilomètres, avec une civière pour seul mode de transport. Les risques de mortalité sont alors terriblement élevés.

Au-delà des cas d'urgence, les populations sont isolées des politiques de prévention, de vaccination ou de traitement : la moitié des enfants du monde qui décèdent avant l'âge de 5 ans sont nés en Afrique subsaharienne. Les femmes sont éloignées de tout planning familial, de moyens de contraception ou de suivi de leurs grossesses. Le risque de succomber à des complications évitables ou pouvant être traitées pendant la grossesse et l'accouchement est deux fois plus élevé que dans les autres régions en développement, avec 900 décès maternels pour 100 000 naissances vivantes. L'Afrique subsaharienne est la région du monde où les femmes utilisent le moins de modes de contraception et planifient le moins leurs grossesses. Cela se traduit par des taux de fécondité très élevés chez les adolescentes : 12 % des femmes ont leur première grossesse entre 15 et 19 ans, ce qui accentue les risques : à cet âge, la probabilité de mourir en couches est deux fois plus importante que pour une femme d'une vingtaine d'années.

L'IFRTD (International Forum for Rural Transport and Development) a développé le réseau de recherche « Mobilité et santé » pour partager les connaissances relatives à l'accès aux soins. L'introduction de MIT (remorque de vélo ou civières à roue) permet de réduire les temps de transport jusqu'au centre de santé. La fourniture de bicyclettes au personnel soignant peut augmenter leur aire de rayonnement d'autant que leur réparation n'exige pas forcément, à l'instar des motos, des services complexes qui font souvent défaut. Enfin, la mise à disposition de moyens de communication dans les centres de santé peut faire gagner du temps pour appeler les personnes compétentes, réaliser un premier diagnostic, conseiller les personnes assistant les malades ou faire venir un mode de transport.

Comme dans le domaine des services énergétiques, l'isolement et l'absence de mode de transport maintiennent les populations dans l'extrême pauvreté. Dans chacun de ces deux secteurs « transversaux », les propositions formulées s'appuient sur une comparaison avec la situation des pays développés. Pourtant, une approche centrée sur les besoins des populations locales peut offrir des progrès rapides nécessaires pour la réalisation des objectifs OMD en 2015 (Labrousse, 2004) .

L'amélioration des conditions de transport dans les zones rurales d'Afrique subsaharienne passe par le développement d'un système de mobilité intermédiaire basé sur des infrastructures viables, l'accès à des modes de transport adaptés

mais aussi par le développement des services essentiels sur les territoires et l'amélioration de leur propre mobilité. Ce sont les femmes et les enfants, premières victimes de la pauvreté, qui tirent le plus grand profit de ces améliorations.

5.6 Comment la bicyclette améliore la situation sanitaire des populations rurales en Ouganda⁸⁴

L'agriculture constitue plus de 75 % du PIB de l'Ouganda et emploie plus de 78 % de la force de travail du pays. La population de l'Ouganda est d'environ 30 millions d'habitants, dont plus de 50 % de femmes qui jouent un rôle très significatif dans l'agriculture – alors que la maîtrise des facteurs de production et l'accès au marché leur échappe presque entièrement.

Les femmes ont des besoins spécifiques en matière de santé, liés à leur condition de mère. Leur fertilité élevée et le nombre limité de structures sanitaires dédiées à la santé des enfants ont pour conséquence à la fois une grande mobilité et un taux de mortalité élevé chez les femmes. C'est en Ouganda que Jelliffe a inventé le syndrome d'« épuisement maternel », qui correspond à une forte morbidité et aux risques élevés de décès liés aux grossesses qui interviennent après la naissance du sixième enfant⁸⁵.

Bicyclette et discrimination

La rareté des bicyclettes dans la plupart des communautés africaines impose une discrimination de fait, pas nécessairement délibérée : il n'y a qu'un faible nombre de sociétés dans lesquelles les femmes ont accès à la bicyclette, principalement dans les centres urbains. Dans l'Ouest et au Sud de l'Ouganda notamment, le fait de circuler à bicyclette constitue un tabou pour les femmes. Les plus âgées y sont très opposées et elles communiquent l'interdit à leurs filles. Plusieurs raisons expliquent ce tabou, qui vont du risque de perdre sa virginité au manque d'adéquation de la tenue traditionnelle en passant par l'indécence de la position de conduite... Le prix des vélos entre aussi en ligne de compte dans cette discrimination : il faut économiser pendant des mois, voire des années, pour acquérir une bicyclette et restreindre alors les dépenses habituelles du ménage – une contrainte particulièrement difficile pour les

femmes qui, pour la plupart, consacrent l'intégralité de leur revenu aux dépenses du ménage et n'ont pas la maîtrise des moyens de production. Enfin, la qualité des routes, conçues uniquement pour la circulation motorisée, constitue un obstacle supplémentaire.

Ainsi, des barrières structurelles empêchent les femmes de tirer profit d'un moyen de transport qui leur permettrait de porter autrement que sur la tête ou sur le dos les lourdes charges qu'elles doivent déplacer et qui ruinent leur santé. La bicyclette est le seul moyen de transport disponible, flexible, approprié au type de routes et dont les coûts de maintenance sont bien inférieurs à ceux des véhicules à moteur.

Comme si tout cela n'était pas suffisant, la vulnérabilité économique des femmes fait que leur mobilité reste limitée, ce qui réduit leurs possibilités d'accéder aux infrastructures sociales. Parce que le travail domestique incombe aux femmes, une fillette n'a plus le temps de faire correctement ses devoirs à la maison ; elle arrive fatiguée à l'école, ne peut pas se concentrer et se trouve exposée à l'échec scolaire. Tout cela constitue un obstacle à la réalisation des OMD 5 (améliorer la santé maternelle) et 6 (combattre le VIH/sida, le paludisme et les autres maladies).

La bicyclette-ambulance

À travers le National Planning et en vue de répondre aux besoins sanitaires de la population, le gouvernement

⁸⁴ D'après Kayemba, P.-G. (2009), « Une réponse aux besoins en déplacement en milieu rural : la bicyclette-ambulance en Ouganda », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

⁸⁵ Ministère de la Santé (2004), "Maternal Child Health Care and Maternal Mortality", exposé réalisé à l'occasion de l'examen du secteur de la santé, Kampala.

construit des centres de santé et des hôpitaux de district. Mais tout le monde n'a pas la même facilité d'accès à ces centres. L'ONG FABIO – qui sensibilise depuis six ans les populations à la nécessité de promouvoir la bicyclette chez les femmes – a créé une bicyclette-ambulance qui permet de combler ces inégalités, notamment pour les femmes des zones rurales. La pérennité de cette innovation dépend des décisions du gouvernement, qui doit mettre en place un mécanisme institutionnel approprié pour que son usage se généralise. La bicyclette-ambulance est un outil essentiel pour relever le défi que constitue le besoin de mobilité associé aux soins de santé, mais la communauté doit être en mesure d'acquiescer l'engin, prendre en charge sa gestion et percevoir une redevance d'utilisation.

Au-delà de la bicyclette-ambulance, FABIO fournit, avec l'aide du programme « Femmes en mouvement », des bicyclettes à un grand nombre de femmes, grâce à un système de subventions et de crédits spécifiques.

5.7 La mobilité vue de Douala⁸⁶

Le cas de Douala – poumon économique du Cameroun – révèle l'importance des mototaxis et la quasi-absence d'une offre structurée de transport par autobus. Si la ville présente des spécificités propres, la perception des enjeux énergétiques et climatiques dans la question de la mobilité urbaine y est analogue à celle des autres villes millionnaires d'Afrique subsaharienne. On retrouve, par ordre d'importance, les trois dimensions économiques, sociales et environnementales.

Dans un contexte de contraction du pouvoir d'achat, la répercussion de la hausse du prix du carburant impose la réalisation d'économies d'exploitation à travers des mutations dans le fonctionnement, qui sont visibles chez les mototaxis à Douala. De récentes enquêtes ont permis de constater un taux d'occupation moyen des mototaxis de 1,9 personne, ce qui signifie que très peu de mototaxis circulent à vide à l'affût du client. Conjuguée à la concurrence sans cesse croissante dans le métier, la hausse du prix du carburant pousse les conducteurs à stationner aux car-

Plusieurs leçons peuvent être retirées de cette expérience :

- il ne sert à rien de donner une bicyclette à une femme sans s'assurer que ses conditions d'utilisation sont satisfaites et la formation assurée ;
- il est indispensable de sensibiliser les maris des femmes utilisatrices ;
- il est hautement souhaitable d'organiser des réunions pour permettre aux hommes de se rendre compte de l'usage que les femmes font de la bicyclette ;
- les femmes utilisent de plus en plus l'épargne et le crédit, un moyen parmi d'autres qui contribue à leur émancipation ;
- l'émancipation et la prise de responsabilité contribuent au recul des traditions ;
- l'accès à la mobilité facilite la prise de responsabilité et l'usage de la bicyclette y contribue ;
- pour développer des initiatives, il faut viser tout autant les hommes que les femmes ;
- en ciblant les jeunes filles, l'impact des actions entreprises est d'autant plus durable.

fours et à ne « lancer » la moto que lorsqu'ils ont un client. Dans une moindre mesure, le renchérissement du carburant contribue au sectionnement des dessertes par les taxis collectifs.

Ce renchérissement entraîne également le développement d'une nouvelle forme de trafic : certains garagistes ou vendeurs de pièces détachées de Douala écoulent du carburant obtenu illicitement à un prix inférieur à celui du marché. Ils sont approvisionnés par les chauffeurs des grandes entreprises de la place, voire par les gestionnaires des stocks de réserve de la Société nationale des dépôts de produits pétroliers.

Si les conséquences économiques sur la mobilité urbaine des questions énergétiques sont importantes sur le long terme, la question sociale se pose plus crûment et parfois

⁸⁶ D'après Sahabana, M. (2009), « La question de la mobilité vue de Douala », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

de manière dramatique. Les récentes hausses des prix à la pompe suivant les cours mondiaux du brut illustrent leur potentiel de déstabilisation des pays africains, politiquement fragiles. Ainsi en février 2008, une augmentation de 2,5 % du prix du super a entraîné une grève des transporteurs et constitué le point de départ de manifestations violentes provoquant plusieurs dizaines de morts dans les villes du Cameroun, signes du mal-être d'une jeunesse confrontée à une pauvreté majoritaire. L'augmentation, légère en apparence, s'est en réalité répercutée à hauteur de près d'un cinquième des revenus nets des conducteurs de taxis !

La dimension sociale du défi énergétique dans le transport urbain, à l'origine des émeutes, se retrouve également dans ses conséquences. L'activité de mototaxi, qui emploie environ 30 000 personnes à Douala, majoritairement des jeunes dont c'est la seule source de revenus, bénéficie d'une certaine bienveillance de la part des autorités publiques. On a ainsi vu le ministre des Transports venir présider personnellement une cérémonie de remise de chasubles et de casques à des mototaxis par l'un des grossistes du secteur, exprimant une certaine « officialisation » d'un mode de transport jusque-là rejeté. Des mesures fortes prises avant les émeutes pour obliger les mototaxis à détenir un permis de conduire ont été partiellement gelées.

Enfin, la dimension environnementale, bien que perceptible, est malheureusement très peu présente localement dans les décisions comme dans les consciences. En 2003, le coût induit par la pollution de l'air, essentiellement du fait des transports, a été évalué à 1 milliard de FCFA, soit 0,1 %

du PIB de Douala (Tractebel, 2003). La ville, située sur la côte, ne souffre encore que de manière marginale des conséquences planétaires du changement climatique et la montée des eaux n'affecte pour l'instant que les îles situées au large, faiblement peuplées mais fournissant une part significative de l'approvisionnement de la ville en poissons et crustacés.

Si les enjeux énergétiques et climatiques constituent des arguments solides en faveur d'un système de transport plus efficace, ils en compliquent la mise en œuvre sur le terrain par les difficultés sociales que cela impose. Le déploiement d'une offre structurée d'autobus impose la prise en compte de la notion de rentabilité. Or, le renchérissement du coût du carburant, dont la plupart des États tirent une grande partie de leurs recettes fiscales – ce qui explique leur réticence à toute exonération fiscale – augmente le seuil de rentabilité du ticket de transport et, partant, réduit la portée sociale d'un tel système.

Une ville de l'envergure de Douala présente des niveaux de demande sur les axes centre/périphérie qui justifieraient l'aménagement d'un système de transport de masse. La solution autobus en site propre intégral présenterait un double avantage : des coûts de construction accessibles et des possibilités d'intégration des artisans élargies. Cette solution, qui a su séduire les pays d'Amérique latine, a du mal à se déployer sur le continent africain. La quasi-disparition des entreprises de transport par autobus en ferait-elle un mirage inaccessible ? Alors qu'on a du mal à déployer une flotte significative d'autobus de transport, comment convaincre localement de la faisabilité d'un site propre intégral ?

5.8 La zone industrielle de Sidi Bernoussi⁸⁷

Avec près de 50 000 travailleurs et plus de 570 unités de production réparties sur un peu plus de 1 000 hectares, la zone industrielle de Sidi Bernoussi, située au Sud de la ville de Casablanca, est la plus importante du Maroc. Depuis 1997, les industriels se sont organisés en association (IZDIHAR, www.izdihar.ma), pour gérer différents problèmes partagés (particulièrement la voirie et l'assainissement) et assurer une intermédiation efficace avec les pouvoirs

publics. Grâce à l'appui de l'Agence française de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), la zone industrielle de Sidi Bernoussi a bénéficié d'une étude de plan de déplacement d'entreprise (PDE), réalisée par IED (Innovation Énergie Développement) : il s'agissait d'adapter la démarche française au contexte marocain.

⁸⁷ D'après Watchueng, S. (2009), « La démarche PDE dans la zone industrielle de Sidi Bernoussi, au Maroc », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

La démarche d'élaboration du PDE de Sidi Bernoussi a consisté en trois phases :

- adoption des objectifs du projet par un comité de pilotage, selon des critères de subsidiarité (ne pas se substituer aux entreprises), d'efficacité (l'économique prime sur le social et l'environnement) et de pertinence à l'échelle de l'ensemble de la zone industrielle ;
- réalisation du diagnostic (analyse de l'offre et de la demande), à travers un dispositif complexe comprenant des comptages aux points d'entrée de la zone, des enquêtes auprès des employés fréquentant la zone, ainsi qu'auprès des entreprises et des opérateurs de transport, le tout complété par une observation de terrain ;
- identification des mesures d'amélioration des déplacements, à la fois pour l'accès à la zone industrielle et pour l'accès terminal aux différentes unités industrielles.

Le diagnostic a fait ressortir différentes caractéristiques :

- une population essentiellement ouvrière (74 %), à forte dominante féminine chez les ouvriers (plus de 84 %) et masculine chez les cadres (près de 69 %) ;
- des déplacements essentiellement courts, en raison d'une importante offre d'habitat économique à proximité de la zone, y compris quelques bidonvilles à l'intérieur de la zone (87 % des employés habitent à moins de 5 km à vol d'oiseau) ;
- une dissymétrie des modes de déplacement aller-et-retour, mis à part les modes individuels. La marche à pied est souvent utilisée au retour à la place de modes plus rapides à l'aller, mais coûteux ;
- des temps de trajet paradoxalement importants par rapport aux distances, témoignant des difficultés d'accès, plus encore pour rejoindre les entreprises depuis les principaux points d'entrée de la zone industrielle ;
- l'utilisation d'un parc automobile important et en progression rapide, essentiellement par le personnel d'encadrement (près de 99 % se déplacent en voiture) ;
- la part très importante de la marche à pied intégrale (environ 22 %), qui est le fait des ouvriers à 95 % et des femmes à 57 % ;
- la difficulté à organiser une desserte par autobus adaptée

aux multiples horaires de travail des entreprises ;

- le rôle charnière des taxis collectifs par leur adaptabilité aux besoins, entre les modes individuels et les autobus.

La stratégie proposée repose principalement sur trois actions prioritaires à combiner :

- promotion et organisation du covoiturage, si possible à l'échelle de la zone industrielle ou, à défaut, au sein des entreprises les plus ouvertes à ce type d'innovation ;
- amélioration de la desserte par les transports collectifs (à la fois autobus et grands taxis), par action concertée avec les autorités et les opérateurs ;
- action concertée avec les autorités pour améliorer les conditions d'accès à pied aux entreprises.

La première action peut être lancée rapidement par les entreprises, tandis que les deux autres impliquent une négociation avec l'autorité organisatrice, en cours de mise en place, ou avec la communauté urbaine de Casablanca.

L'analyse des transferts modaux attendus de la mise en œuvre du PDE fait ressortir une utilisation accrue de l'autobus et du taxi collectif (+21 %) en raison de l'amélioration de l'offre, tandis que le recours à la marche à pied et l'utilisation du taxi individuel présenteraient un recul (respectivement -38 % et -60 %), pour la même raison.

Une réduction d'émission de 1 500 à 2 000 t de CO₂/an a ainsi été estimée (-8 à -11 %), se situant autour de et en accord avec les chiffres obtenus dans d'autres contextes, notamment en France.

Cette étude a révélé l'importance de la dimension économique (niveau de revenu, coût du transport motorisé pour les employés), qui passe avant celle de l'environnement. Mais la hausse du coût des carburants peut être un facteur déclencheur d'autres pratiques de déplacement plus durables pour les utilisateurs potentiels de l'automobile. La poursuite de la démarche PDE passe à la fois par un processus de concertation et de négociation avec les autorités municipales et par un portage fort de la part de l'association IZDIHAR.

5.9 États-Unis : la fin de l'étalement urbain⁸⁸ ?

« Nous sommes littéralement coincés dans un cul-de-sac à bord d'un 4x4 arrêté en panne d'essence » : c'est ainsi que James Howard Kunstler, l'auteur de *The Geography of Nowhere: The Rise and Decline of America's Man-made Landscape* présente la situation actuelle des États-Unis.

L'effondrement du rêve américain

Depuis la seconde guerre mondiale, les États-Unis ont investi une grande part de leur richesse dans le mode de vie périurbain : les banlieues (*suburbs*) ont consacré l'idéal de l'*American way of life*, avec une voiture synonyme de liberté et une maison en pleine nature. Ce mythe a donné naissance à un empire intérieur : Suburbia (Greene, 2004) et ses banlieues pavillonnaires, qui s'étendent sur des milliers de kilomètres. Cet empire repose sur l'accès facile à l'automobile et, surtout, sur le faible coût de l'énergie utilisée pour se déplacer, deux critères qui conditionnent le développement et la pérennité d'un mode de vie centré sur la voiture : lotissements pavillonnaires, rocade et autoroutes, centres commerciaux et hypermarchés. Ce mode de vie ne s'est d'ailleurs pas greffé sur un tissu existant, comme une évolution naturelle, mais a bouleversé les habitudes, l'organisation sociale et les agglomérations, exposant les États-Unis à un violent retour de balancier.

Avec l'augmentation du prix du baril⁸⁹ en effet, Suburbia s'effondre lentement et le « rêve américain » se transforme en cauchemar pour des millions d'Américains : l'automobile est désormais synonyme de dépendance et la maison en pleine nature n'est plus qu'un banal pavillon dans un lotissement situé loin de tout (emploi, commerce, loisirs, etc.). Sous l'effet conjugué de la hausse du prix de l'essence et des conséquences en cascade de la crise des *subprimes* (Michael, 2008), les classes moyennes qui vivent dans ces banlieues sont aujourd'hui au bord de l'implosion. De nombreux ménages, multimotorisés et équipés de véhicules énergivores comme les 4x4 ou autres pick-up, souvent lourdement endettés, frappés de plein fouet par la crise immobilière, financière et économique, sont pris au piège et voient leurs existences basculer.

L'actualité récente a livré des images impressionnantes de ces banqueroutes individuelles et de cette faillite collective, avec ces campements regroupant des centaines de familles issues des classes moyennes et vivant dans des tentes à la lisière des principales agglomérations américaines. Nul raz-de-marée, tremblement de terre ou famine africaine, juste la fin d'un système économique et urbain au cœur même de la première puissance mondiale. De fait, ces victimes apparaissent comme les premiers réfugiés d'un modèle périurbain en décomposition. Déjà, des milliers de pavillons saisis par les banques se retrouvent abandonnés, quand ils ne sont pas tout simplement détruits par leurs anciens propriétaires, de rage et de désespoir. Les banlieues américaines autrefois si propres et sécurisées par rapport aux centres urbains sales et criminalisés sont en passe de devenir des ghettos (Harris, 2008). Les propos de James Howard Kunstler, qui estimait en 2004 que « *les lotissements pavillonnaires n'auront bientôt plus d'autre avenir que de devenir les bidonvilles du futur* » (Greene, 2004), ou du géographe Mike Davis, qui évoquait en 2005 l'avènement d'une « *planète bidonvilles* », prennent face à cette actualité une incontestable force prédictive.

L'avenir du mode de vie périurbain à l'américaine apparaît dans ce contexte extrêmement sombre et les conséquences de son lent effondrement seront multiples. Ainsi, avec la crise aux dimensions multiples que vivent les États-Unis, ces derniers font actuellement face à ce que l'on pourrait appeler un *peak car*, par analogie avec le *peak oil*⁹⁰ : jamais dans l'histoire du pays de l'automobile-reine il ne s'y était vendu aussi peu de voitures. En effet, la crise des *subprimes* s'est transformée en crise du crédit, alors que 90 % des voitures sont vendues à crédit aux États-Unis : les *Big Three* (General Motors, Chrysler et Ford) sont

⁸⁸ D'après Carfree France et Global Chance (2009), « États-Unis : vers la fin d'un modèle basé sur l'étalement urbain », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier. Pour en savoir plus sur Carfree, voir <http://carfree.free.fr>.

⁸⁹ La facture pétrolière américaine est passée de 45 à plus de 400 milliards USD entre 1998 et 2007 : c'est le plus grand poste de dépense contribuant au déficit de la balance commerciale et cela représente un transfert de richesse substantiel en direction des pays producteurs de pétrole.

⁹⁰ Pic pétrolier ou pic de Hubbert. Voir à ce sujet le site de l'Association pour l'étude des pics de production de pétrole et de gaz naturel (ASPO) : www.aspofrance.org.

au plus mal, parfois même au bord de la faillite, ce qui entraînerait dans un désastre industriel de première ampleur une myriade de sous-traitants puis, par effet de contagion, l'ensemble du secteur automobile.

Au-delà de la problématique transports-énergie et de ses dimensions urbanistiques et industrielles, l'avenir de Suburbia pourrait ainsi ressembler à ce que Richard Heinberg, chercheur au Post Carbon Institute, appelle une économie de récession permanente (Heinberg, 2003)⁹¹. En effet, et quand bien même la crise actuelle pourrait passer pour une crise économique comme une autre, un simple trou d'air avant le retour de la croissance, ses dimensions énergétiques et écologiques la situent bien au-delà d'une classique question de cycle économique.

Sortir de l'impasse : d'un modèle à l'autre

Si l'avenir est tout aussi sombre sur le plan économique que du point de vue de l'urbanisme et de la mobilité, la solution à la crise profonde dans laquelle sont plongés les États-Unis est sans doute à trouver dans de nouvelles formes d'habitat et de mobilité, moins dépendantes du pétrole et de l'automobile et plus respectueuses de l'environnement et du climat.

Tirant les leçons de l'impasse actuelle, conscientes des multiples conséquences négatives d'un mode de vie basé sur l'ultramobilité individuelle motorisée (dépendance à la voiture, obésité et isolement social, banlieues à perte de vue, autoroutes tentaculaires, destruction des espaces naturels, pollution des villes, changement climatique...), des voix de plus en plus nombreuses appellent ainsi aux États-Unis à « la fin de l'étalement urbain »⁹². De fait, les Américains sont capables de tout, du pire comme du meilleur. Si les États-Unis sont le symbole de la ville-automobile et de son expansion sans fin, plusieurs courants de pensée y tentent depuis plusieurs années de promouvoir de nouvelles approches, fondées sur un urbanisme de proximité moins générateur de déplacements et redonnant leur place entière aux modes doux et, en particulier, à une pratique aussi vieille que l'humanité : la marche à pied.

Ces courants de pensée proposent ainsi des alternatives pour surmonter l'échec de la « civilisation » de l'automobi-

le. Des démarches et des expériences sont mises en place autour de ce que l'on appelle désormais le « nouvel urbanisme » ou urbanisme néotraditionnel. Des concepts innovants émergent et sont mis en pratique, tels que le « nouveau piétonnisme », le *walkable urbanism*, les villages pédestres, les villages urbains ou même les écovillages sans voitures. Une ville comme Seattle a par exemple élaboré dès 1994 une démarche de planification territoriale intégrée, entièrement articulée autour du concept des villages urbains, et qui a débouché sur la création de 37 d'entre eux⁹³. Cet exemple est loin d'être isolé, comme l'illustre l'approbation récente par le sénat californien d'une loi contre l'étalement urbain générateur de trafic : dans cet État réputé pour ses immenses périphéries urbaines et la saturation de son réseau routier, cette nouvelle loi vise à encourager le rapprochement des lieux d'habitation et de travail, mais aussi à promouvoir l'usage des transports en commun et ce, dans le double objectif de maîtriser l'évolution des émissions de GES et de limiter le temps passé par les gens dans leurs voitures⁹⁴.

Quelle que soit leur échelle de mise en œuvre, toutes ces démarches ont un point commun : le refus de l'étalement urbain et de « l'automobilisme politique » (Lambert, 2004). *A contrario*, elles entendent fonder de nouvelles formes d'habitat et de mobilité, basées sur la relocalisation des activités, la mixité des fonctions et des usages, la densité et la mise en valeur des modes de déplacement autogènes chers à Ivan Illich (Illich, 1973). Il est intéressant à ce propos de constater que les tenants américains du nouvel urbanisme voient l'urbanisme traditionnel européen comme la pierre angulaire de la ville du futur, alors même que les Européens, le plus souvent, ne jurent que par le développement urbain à l'américaine. En matière d'urbanisme, la vieille Europe a souvent une génération de retard...

⁹¹ « La direction sous-jacente des événements serait une activité économique ralentie, parce qu'il y aura moins d'énergie disponible pour entretenir l'activité économique. Les gens se demanderont alors pourquoi on enchaîne récession après récession et pourquoi chaque récession semble être pire que la précédente. Et pourquoi cela prend plus de temps pour sortir de chaque récession, pour finir par comprendre qu'on n'en sort jamais vraiment et pour finalement en arriver au stade où après quelques années les récessions se transforment vraiment en une dépression économique. Et dans ce cas, ce sera une dépression qui ne finira jamais » (Greene, G. (2004), *op. cit.*).

⁹² Peñalver, E.-M. (2007), "The End of Sprawl?", *Washington Post*, 30 décembre.

⁹³ Croissant, A. (2008), *Villages urbains et nouvel urbanisme*, Carfree France, 3 mars.

⁹⁴ Barringer, F. (2008), "California Moves on Bill to Curb Sprawl and Emissions", *The New York Times*, 28 août.

L'étalement urbain à l'américaine est-il « négociable » ?

Si l'avenir est sombre, les perspectives de sortie par le haut de la société de l'automobile existent donc et se traduisent dans la réalité foisonnante d'expériences et de projets de rupture avec le modèle nord-américain. Malheureusement, on peut craindre que les États-Unis s'entêtent à défendre ce modèle qui ne fonctionne plus et qui est voué à disparaître. George Bush l'affirmait en 1992 : « *Notre mode de vie n'est*

pas négociable ». L'élection de Barack Obama ne doit pas faire illusion. Avant même d'occuper son bureau à la Maison-Blanche et face à la bérézina de l'industrie automobile américaine, l'une de ses premières annonces politiques a consisté à « envisager la nomination d'un Monsieur automobile » pour superviser les aides financières au secteur⁹⁵. On ne change pas une stratégie qui perd, on cherche juste à reculer le désastre annoncé. Sombre présage...

⁹⁵ Bohan, C. (2008), « Barack Obama envisagerait de nommer un 'Monsieur automobile' », *Reuters*, 13 novembre.

Liste des sigles et abréviations

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ADEME	Agence française de l'Environnement et de la maîtrise de l'Energie
AIE	Agence internationale de l'Energie
ANRE	Japan Agency for Natural Resources and Energy
ASSOCHAM	Association des chambres de commerce et d'industrie en Inde
Bio IS	Société Bio Intelligence Service
BTT	Budgets-temps de transport
CAS	Centre d'analyse stratégique
CCFA	Comité des constructeurs français d'automobiles
CLIP	Club d'ingénierie prospective
CME	Conseil mondial de l'énergie
CO	Oxyde de carbone
CO2	Dioxyde de carbone ou gaz carbonique
DME	Diméthyléther (carburant pour moteur diesel)
EE	Efficacité énergétique
ETAP	Programme énergie, transport, air et pollution
ETBE	Ethyl-tertio-butyl-éther
FT	Fischer-Tropsch (procédé de fabrication d'un carburant de synthèse)
FTAG	The Federal Transportation Advisory group
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupement intergouvernemental d'étude du climat
GMP	Groupes motopropulseurs
GNV	Gaz naturel véhicule
GNL	Gaz naturel liquéfié
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
GtL	Filière de transformation de gaz naturel en carburant
H2O	Eau
H2	Hydrogène
IATA	Association internationale des transports aériens
IED	Innovation Energie Développement
IFRTD	International Forum for Rural Transport and Development
LRT	Systèmes ferroviaires légers
MCI	Moteur à combustion interne
MIT	Moyens intermédiaires de transport
N2O	Protoxyde d'azote

O2	Oxygène
OMD	Objectifs du Millénaire pour le développement
PAC	Pile à combustible
PDE	Plan de déplacement d'entreprise
PRG	Potentiel de réchauffement global
SO2	Dioxyde de soufre
SSATP	Programme de politiques de transport en Afrique subsaharienne de la Banque mondiale
TEV	Transports écologiquement viables
TILT	Transport Issues in the Long Term
UIC	Union internationale des chemins de fer
UNFCCC	Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques
US DoT	The US Department of Transport
WBCSD	World Business Council on Sustainable Development
ZFE	Zones à faibles émissions

Bibliographie

- ADEME (2008), *Référentiel méthodologique pour la réalisation d'Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de première génération en France - Rapport final*. Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'Energie. <http://www.ademe.fr>
- ADEME - DIREM (2002), Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants en France, Ecobilan/PricewaterhouseCoopers.
- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE (2008), *Energy Technology Perspectives 2008*, Paris.
- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE (2006), "The Alternative Policy Scenario", *World Energy Outlook 2006*, Paris.
- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE (2006), *World Energy Outlook 2006*, Paris.
- AIE (2007), *Renewables in Global Energy Supply, in IEA Fact Sheet*, Paris.
- AMNESTY INTERNATIONAL (2008), *Rapport 2008 : la situation des droits humains dans le monde*.
- ALLAIRE, J. (2009), « La mobilité et le transport rural en Afrique subsaharienne : économiser l'énergie des populations isolées », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.
- ALLAIRE, J. (2007), *Forme urbaine et mobilité soutenable : enjeux pour les villes chinoises*, doctorat ès sciences économiques, Université Pierre-Mendès-France, Grenoble.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) (2007), *Transportation: Invest in Our Future. A New Vision for the 21st Century*. <http://www.transportation1.org/tif5report/>
- AZAM, G. et P. MÜHLSTEIN (2009), « La relocalisation de l'économie », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.
- BAATZ, C. (2007), "The Sectoral Clean Development Mechanism – A Contribution from a Sustainable Transport Perspective", *JIKO Policy Paper*, Wuppertal Institute, Allemagne. http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/Transport-CDM.pdf
- BAMBERGER, M. et A. DAVIS (2001), « Les femmes et les transports ruraux en développement », Base de connaissance sur les transports ruraux, Programme de transport en milieu rural, SSATP, Banque mondiale.
- BARBIER, C., L. CAURET et C. VLASSOPOULOU (2001), « Transports à l'horizon 2030 », *Les cahiers du CLIP*, n° 14.
- BARWELL, I. (1996), « Le transport et le village : conclusions d'une série d'enquêtes-villages et d'études de cas réalisées en Afrique », *Document de synthèse*, n° 344F, Banque mondiale.
- BENKHELIFA, F. (2009), « Pollution atmosphérique, émissions de CO2 et mobilité durable à Ho-Chi-Minh-Ville », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier
- BESSEREAU, G. et A. SANIÈRE (2008), « Charbon – Réserves ressources et production », *Synthèse Panorama IFP*.
- BIO INTELLIGENCE SERVICE (2008), *Élaboration d'un référentiel méthodologique pour la réalisation d'analyses de cycle de vie appliquées aux biocarburants de première génération en France – Rapport final*.
- BOISSEAU, Ph. (2008), « Quels usages futurs pour le charbon? », *Panorama IFP 2008*.
- BOLOPION, P. (2008), « Émeutes de la faim : un déficit inédit pour l'ONU », *Le Monde*, 13/14 avril.
- BOUF, D., P.-Y. PÉGUÉ, S. SOUCHE, J.-L. ROUTHIER et N. OVTRACHT (2006), *Les transports en Chine en 2050*, LET.
- CARFREE FRANCE et GLOBAL CHANCE (2009), « États-Unis : vers la fin d'un modèle basé sur l'étalement urbain », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.
- CASTRO-LEAL, F., J. DAYTON, L. DEMERY et K. MEHRA (2000), "Public spending on health care in Africa: do the poor benefit?", *Bulletin of the World Health Organization*, 78(1) : 66-74.

- CHÂTEAU, B. (2009), « Produit intérieur brut et mobilité : quel couplage ? Quelle fatalité sur la croissance des transports ? », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier 2009.
- CHÂTEAU, B., V. BAGARD, Y. CROZET et H. LOPEZ-RUIZ (2008), *Programme de recherche consacré à la construction de scénarios de mobilité durable : comment satisfaire les objectifs internationaux de la France en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de pollutions transfrontières ?*, Enerdata – LET
- CHEN, S. et M. RAVALLION (2008), "The developing world is poorer than we thought, but no less successful in the fight against poverty", *Policy Research Working Paper n° 4703*, Banque mondiale.
- CHERRY, C.-R. (2007), *Electric Two Wheelers in China: Analysis of Environmental, Safety and Mobility Impacts*, PhD thesis, University of California, Berkeley, CA.
- CLUB D'INGÉNIERIE PROSPECTIVE ENERGIE ET ENVIRONNEMENT (CLIP) (1993), « Le moteur à explosion : exercice de prospective mondiale des transports routiers », *Les cahiers du CLIP*.
- CLUB D'INGÉNIERIE PROSPECTIVE ENERGIE ET ENVIRONNEMENT (CLIP) (1993), « L'auto-condamnation : un exercice de prospective mondiale pour l'automobile », *Les Cahiers du CLIP*.
- COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES (CCE) (2008), "Annex to the joint impact assessment on the package of implementation measures for the EU's objectives on climate change and renewable energy for 2020", CCE, février
- CONSEIL MONDIAL DE L'ÉNERGIE (2007), *Energy Scenario Development Analysis: WEC Policy until 2050*, Londres.
- Croissant, A. (2008), *Villages urbains et nouvel urbanisme*, Carfree France, 3 mars.
- DESSUS, B. et P. GIRARD (2009), « L'état des lieux », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.
- DESSUS, B. (2009), « Le poids des infrastructures dans la question des transports », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier
- DESSUS, B. et B. LAPONCHE (2008), « Réduire le méthane : l'autre défi du changement climatique », *Document de travail n° 68*, Agence Française de Développement, Paris (www.afd.fr).
- DIRECTION DES AFFAIRES STRATÉGIQUES et TECHNIQUES (DGAC) (2005), « Le fret aérien : une importance méconnue », *Les notes thématiques*, n° 2, octobre. www.aviation.civile.gouv.fr
- EDWARDS, R., S. SZEKERES, F. NEUWAHL. et V. MAHIEU (2008), *Biofuels in the European Context: Facts and Uncertainties, Netherlands: European Commission, Joint Research Centre*. http://ec.europa.eu/dgs/jrc/downloads/jrc_biofuels_report.pdf
- E4TECH (2008), "Biofuel Review: Greenhouse gas savings calculations for the Renewable Fuel Agency", *Biofuel Review*, juin, Lausanne.
- FARGIONE, J., J. HILL, D. TILMAN, S. POLASKY et P. HAWTHORNE (2008), "Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt", *Science* 319(5867) : 1235–8, 29 février.
- FENG A. et A. SAUER (2004), *Comparison of Passenger Vehicle Fuel Economy and GHG Emission Standards Around the World*, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginia 22201. http://www.pewclimate.org/global-warming-in-depth/all_reports/fuel_economy
- FMI (2008), *Food and Fuel Prices*.
- FORD RUNGE, C. et B. SENAUER (2007), "How Biofuels Could Starve the Poor", *Foreign Affairs*, mai-juin.
- GEF SMALL GRANTS PROGRAMME / UNDP (2006), *Environmentally Sustainable Transport and Climate Change. Global Environment Facility*, United Nations Development Program.
http://www.undp.org/sgp/download/GEF_SGP_Sustainable_Transport_and_Climate_Change.pdf
- GIRARD, P. (2008), *Prospective sur les carburants*, Association Écrin, Paris.
- GLOBAL CHANCE (2009), « Vers la sortie de route : les transports face aux défis de l'énergie et du climat », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier. Édition commune avec Liaisons Énergie-francophonie (www.iep.org).
- GODARD, X. (2009), « Mobilité urbaine en Afrique : quels modèles et quelles inflexions face aux défis de l'énergie et du climat ? », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.

- GREENE, G. (dir.) (2004), *"The End of Suburbia: Oil Depletion and the Collapse of The American Dream"*, The Electric Wallpaper Co.
- GRESSIER, C. (dir.) (2006), *Démarche prospective transports 2050 : éléments de réflexion*, Conseil général des ponts et chaussées. http://www.equipement.gouv.fr/article.php3?id_article=1595
- GRÜTTER J.M., (2007), *The CDM in the Transport Sector. Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-makers in Developing Countries*. Sustainable Urban Transport Project. <http://www.sutp.org/>
- GTZ, 2007. *Bus Rapid Transit Planning Guide* - <http://www.sutp.org/>
- HARRIS, P. (2008), "America's love affair fades as the car becomes burden of suburbia", *The Guardian*, 6 juillet.
- HEYEN-PERSCHON, J., C. HERTEL and G. HOLST (2008), "Healthcare and Transport in Africa: Facts and Main Findings from the ITDP Healthcare Projects in Africa 2003–2007", *MDG Review*, pp. 62-65.
- ILLICH, I. (1973), *Énergie et équité*, Le Seuil, Paris.
- JAPAN AGENCY FOR NATURAL RESOURCES AND ENERGY (ANRE) (2007), *Energy Technology Strategy (Technology Strategy Map 2007)*.
- JRC/CONCAWE/EUCAR (2007), "Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context", *Well-to-Wheels Report, version 2c*, mars, Commission européenne.
- JTRC, OECD, ITF, (2008), "The Cost and Effectiveness of Policies to Reduce Vehicle Emissions. Summary and Conclusions". *Discussion Paper N° 2008-9. Joint Transport Research Centre of the Organisation for Economic Cooperation Development and the International Transport Forum*, <http://www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/DP200809.pdf>
- KAHN RIBEIRO, S., S. KOBAYASHI, M. BEUTHE, J. GASCA, D. GREENE, D.-S. LEE, Y. MUROMACHI, P.-J. NEWTON, S. PLOTKIN, D. SPERLING, R. WIT et P.-J. ZHOU (2007), "Transport and its infrastructure", *Climate Change 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. METZ, O.-R. DAVIDSON, P.-R. BOSCH, R. DAVE and L.-A. MEYER (eds), Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, NY.* http://www.mnp.nl/ipcc/pages_media/AR4-chapters.html
- KAYEMBA, P.-G. (2009), « Une réponse aux besoins en déplacement en milieu rural : la bicyclette-ambulance en Ouganda », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.
- LABROUSSE, M. (2004), « L'initiative européenne de l'énergie : une démarche opérationnelle », *Liaison Énergie-Francophonie*, n° 63
- LAHERRÈRE J. et J.-L. WINGERT (2008), *Forecast of liquids production assuming strong economic constraints*, 7e conférence annuelle de l'ASPO, Barcelone.
- LAMBERT, B. (2004), *Cyclopolis, ville nouvelle : contribution à l'histoire de l'écologie politique*, collection « Stratégies énergétiques, biosphère et société », Goerg, Genève.
- LE BRETON, E. (2008), « Domicile-travail : les salariés à bout de souffle », *Les Carnets de l'Info*, Paris.
- MAISONNIER, G. (2006), « Le GtL : perspectives de développement », *Synthèse Panorama IFP*.
- MALENCHON, S. et O. MASSOL (2008), « Le charbon en Chine : état des lieux et perspectives », *Synthèse Panorama IFP*.
- MICHAEL T. KLARE (2008), "Something Had to Give: How Oil Burst the American Bubble", *Tom Dispatch*, 31 janvier.
- OCDE (2008), *Rising Food Prices: Causes and Consequences*, document préparé pour la réunion à haut niveau du Comité d'aide au développement (CAD), 20-21 mai, Paris.
- OCDE (2008), *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030*, mars, Paris
- OCDE (1999), *Environmentally Sustainable Transport – Final Report on Phase II of the OECD EST Project*, Paris.
- OCDE (2008), Biocarburants. Lier les politiques de soutien aux bilans énergétiques et environnementaux. « Tables rondes FIT - No. 138. », *Forum International des Transports*. Éditions OCDE, Paris. <http://www.internationaltransportforum.org/Pub/roundtablesfr.html>

- OCDE (2008), « Pétrole et transports. La fin des carburants à prix abordable ? » *Tables rondes FIT - No. 139, Forum International des Transports*. Éditions OCDE, Paris. <http://www.internationaltransportforum.org/Pub/roundtablesfr.html>
- OCDE (2008), *Environmentally Harmful Subsidies in the Transport Sector*, Rapport ENV/EPOC/WPNP/T(2007)1/FINAL, OCDE, Paris. [http://www.oecd.org/olis/2007doc.nsf/LinkTo/NT00005D5A/\\$FILE/JT03242218.PDF](http://www.oecd.org/olis/2007doc.nsf/LinkTo/NT00005D5A/$FILE/JT03242218.PDF)
- OCDE (2007), « Biocarburants pour les transports : politiques et possibilités, » *Fiche Synthèses*. <http://www.oecd.org/dataoecd/2/40/39743323.pdf>
- OXFAM INTERNATIONAL (2008), *Another Inconvenient Truth – How biofuel policies are deepening poverty and accelerating climate change*, juin.
- PAPON, F. (2009), « Reports modaux croisés entre contraintes climatiques, incantations occidentales et rêves asiatiques », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.
- PAPON, F., J. LÉONARDI, F. CUENOT et C. YEH (2008), *Prospective des transports, un état des lieux en Europe*, étude de l'INRETS pour le MEEDDAT/DRI/CPVST. <http://prospectivesurvey.inrets.fr/base/index.php>
- PAPON, F. (2004), *Mobility transition: from walking to personal automobile*, Conférence mondiale sur la recherche dans les transports (WCTR), Istanbul, 4-8 juillet.
- PEW CENTER ON GLOBAL CLIMATE CHANGE, « Transportation in developing countries », Série de rapports http://www.pewclimate.org/global-warming-in-depth/all_reports/transportation_overview
http://www.pewclimate.org/global-warming-in-depth/all_reports/chile_transportation_report http://www.pewclimate.org/global-warming-in-depth/all_reports/transportation_in_south_africa
http://www.pewclimate.org/global-warming-in-depth/all_reports/transportation_in_china
http://www.pewclimate.org/global-warming-in-depth/all_reports/transportation_in_india
- PLASSAT, G. (2009), « De l'objet au service, une chance pour le citoyen et l'environnement », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.
- PNUE/FI (2007), *Rapport 2007, L'assurance durable, rapport inaugural du Groupe de travail Assurance du Programme des Nations unies pour l'environnement Finance Initiative*.
- PREDIT (2008), « Programme de recherche consacré à la construction de scénarios de mobilité durable : comment satisfaire les objectifs internationaux de la France en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution transfrontières », Rapport final, avril.
- ROYCHOWDHURY, A. (2009), « Évitez l'indigestion ! Le défi énergétique et climatique de la motorisation en Inde », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.
- SADONES, P., J.-D. CROLA et P. CORNUT (2009), « Regards critiques sur la folie agrocarburants », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.
- SAHABANA, M. (2009), « La question de la mobilité vue de Douala », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.
- SANCHEZ, P., M.-S. SWAMINATHAN, P. DOBIE et N. YUKSEL (2005), *Halving Hunger: it can be done!*, Task Force on Hunger, Projet objectifs du Millénaire, PNUD.
- STARKEY, P. (2001), « Les solutions au transport local : acteurs, paradoxes et progrès », *Document de travail SSATP n° 56F*, Banque mondiale.
- THE FEDERAL TRANSPORTATION ADVISORY GROUP (FTAG) (2001), *Vision 2050: "An Integrated National Transportation System"*, <http://scitech.dot.gov>
- THE INSTITUTE OF APPLIED ENERGY (IAE) (2005), *Energy Technology Vision 2100*, ministère de l'Économie, du commerce et de l'Industrie, Japon <http://www.iae.or.jp/2100.html>
- THOENES, P. (2006), *Biofuels and Commodity Markets – Palm Oil Focus*, FAO.
- TOILIER, F. (1994), *La mobilité en milieu urbain : de la préférence pour la congestion à la préférence pour l'environnement*, Laboratoire d'économie des transports (LET), Lyon.

- TRACTEBEL (2003), *Étude sur la qualité de l'air en milieu urbain : le cas de Douala*, <http://www.global-chance.org/IMG/pdf/GC26LEF81p112-113.pdf>
- UIC (2007), *Statistiques internationales UIC pour 2007 : le trafic ferroviaire mondial porté par la croissance urbaine et la globalisation des échanges*. www.uic.asso.fr
- UNION AFRICAINE et COMMISSION ÉCONOMIQUE DES NATIONS UNIES POUR L'AFRIQUE (2005), *Le transport et les objectifs de développement pour le millénaire en Afrique*, février, www.danidadevforum.um.dk/.../TransportMDGfrench.pdf
- US DoT – Department of Transport (2004) *Transportation Vision for 2030*, www.rita.dot.gov/.../transportation_vision_2030/pdf/entire.pdf
- COMMISSION EUROPÉENNE, DG ÉNERGIE ET TRANSPORTS (2001), *Livre blanc – Politique européenne des transports à l'horizon 2010 : l'heure des choix* - http://ec.europa.eu/transport/white_paper/documents/index_fr.htm
- VON BRAUN, J. et PACHAURI, R.K. (2006), *The Promises and Challenges of Biofuels for the Poor in Developing Countries*, International Food Policy Research Institute (IFPRI), <http://www.ifpri.org/pubs/books/ar2005/ar05e.pdf>
- WATCHUENG, S. (2009), « La démarche PDE dans la zone industrielle de Sidi Bernoussi, au Maroc », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.
- WBCSD (2004), *Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability*, <http://www.wbcd.org/web/publications/mobility/mobility-full.pdf>
- WIEL, M. (2005), « *Ville et mobilité, un couple infernal*, L'aube, Paris.
- WINGERT, J.-L. (2009), « Les transports en manque de pétrole », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.
- WRIGHT, L. et W. HOOK (eds) (2007), *Bus Rapid Transit Planning Guide*, Institute for Transportation & Development Policy (ITDP).
http://www.itdp.org/index.php/microsite/brt_planning_guide/
- WRIGHT, L. et FULTON, L. (2005), "Climate Change Mitigation and Transport in Developing Nations", *"Transport reviews"* Vol.25, n°6, pp 691-717,
http://www.cleairnet.org/caiasia/1412/articles-70119_paper.pdf
- YEH, C.-F. (2009), « Shanghai, une ville en voie de motorisation ? Le développement du transport urbain à Shanghai », *Les cahiers de Global Chance*, n° 26, janvier.
- YEH, C. et F. PAPON (2008), « Le développement durable du transport urbain à Shanghai : quelle place pour la bicyclette ? », *Transports*, n° 488.

Liste des sites consultés par l'auteur

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, section Transports

<http://www.ademe.fr>

Agence européenne de l'Environnement, section Transports

<http://www.eea.europa.eu/fr/themes/transport/intro>

Agence internationale de l'Énergie

<http://www.ieaenergy.com/>

American Association of State Highway And Transportation Officials

<http://www.transportation.org/>

ASPO : Association pour l'étude des pics de production de pétrole

<http://aspo france.org/>

Association des villes européennes intéressées par le véhicule électrique

<http://www.citelec.org/>

Carfree

<http://carfree.free.fr>

CCFA, Comité des constructeurs français d'automobiles www.ccfa.fr

Centre d'expérimentation des véhicules électriques du Québec (inclut une liste très détaillée de sites internet dans le domaine)

<http://www.ceveq.qc.ca/>

Center for Clear Air Policy, voir section "Issues", "Transportation and smart growth"

<http://www.ccap.org/>

Commission Européenne, Transports et environnement (incluant la stratégie de réduction des émissions de CO2 des véhicules)

<http://ec.europa.eu/environment/air/transport/index.htm>

Ecofys, Développement de ligne de base sectorielle, Transport

<http://www.sectoral.org/>

Enerdata

<http://www.enerdata.fr>

Explicit

<http://www.explicit.fr/>

Forum International des Transports (ex - CEMT, Conférence Européenne des Ministres des Transports) (comprend notamment des bibliographies détaillées sur les thèmes Accès à l'énergie, Technologies/Carburants, Transports Intégrés, Émissions de CO2)

<http://www.internationaltransportforum.org/Topics/forum2008fr.html>

Global Chance

<http://www.global-chance.org>

Institute for Transportation & Development Policy

<http://www.itdp.org/>

International air transport association

www.iata.org/index

IFRTD : International Forum for Rural Transport and Development / Forum International pour le Transport Rural et le Développement.

<http://ifrtd.gn.apc.org/>

ITDP : Institute for Transportation and Development Policy / Institut pour une Politique de Transport et Développement.

<http://www.itdp.org/>

ICCR – The Interdisciplinary Centre for Comparative Research in the Social Sciences

<http://www.iccr-international.org>

National Bureau of Statistics of China, China Statistical Yearbook,

<http://www.stats.gov.cn/english/>

Organisation de Coopération et Développement Économiques (OCDE)

<http://www.oecd.org/dataoecd/2/40/39743323.pdf>

Pew Center on Global Climate Change

<http://www.pewclimate.org>

Plateforme biocarburants

<http://www.plateforme-biocarburants.ch/>

Réseau Action Climat

<http://www.rac-f.org/>

SSATP : Subsaharian Africa Transport Program Policy

<http://go.worldbank.org/5GT0JCEDK0>

Sustainable Urban Transport Project

<http://www.sutp.org/>

The Federal Transportation Advisory Group

<http://scitech.dot.gov>

The World Bank, Transport

<http://go.worldbank.org/0SYVJWB40>

The World Bank, Transport urbain

<http://go.worldbank.org/1K4AXE3VM0>

Transports Canada (liste de sites internet sur transports et changements climatiques)

<http://www.tc.gc.ca/programmes/environnement/pdtu/lestransportsetleschangclimatiques.htm>

Union Internationale des Transports Publics
<http://www.uitp.org/>

UIC- Union internationale des chemins de fer
www.uic.asso.fr

UNFCCC Banque de données sur les projets et méthodologies MDP
<http://cdm.unfccc.int/index.html>

Véhicules électriques et hybrides
<http://www.evworld.com/>

World Business Council for Sustainable Development, voir la section “Sector projects”, “Mobility”
<http://www.wbcsd.ch/>

Série Documents de travail / Working Papers Series

- N° 1 *A Poverty Forecasting Tool: A Case-Study of Senegal*
Thierry Latreille, AFD - January 2005.
- N° 2 Les OMD et l'aide de cinquième génération
Jean-David Naudet, AFD - Mai 2005.
- N° 3 Biens publics mondiaux et développement : De nouveaux arbitrages pour l'aide ?
Sarah Marniesse, AFD - Septembre 2005.
- N° 4 Agir en faveur des acteurs et des sociétés fragiles. Pour une vision renouvelée des enjeux de l'aide au développement dans la prévention et la gestion des crises
Beyond the Fragile State: Taking Action to Assist Fragile Actors and Societies
Jean-Marc Châtaigner et François Gaulme, AFD - Septembre 2005.
- N° 5 La filière riz au Mali : compétitivité et perspectives de marché
Pierre Baris, Jean Zaslavsky, Serge Perrin - Septembre 2005.
- N° 6 Turquie : Risque systémique bancaire et vulnérabilités macro-financières
François-Xavier Bellocq et Vincent Caupin, AFD - Octobre 2005.
- N° 7 La Tunisie et le marché euro-méditerranéen du tourisme
Jean-Raphaël Chaponnière, CEPN et AFD et Marc Lautier, CARE, Université de Rouen - Septembre 2005.
- N° 8 Le développement, une question de chance ? A propos du rapport sur le développement dans le monde 2006
« Equité et Développement »
Development, a Question of Opportunity? A Critique of the 2006 World Development Report: Equity and Development
Jean-Pierre Cling, Denis Cogneau, Jacques Loup, Jean-David Naudet, Mireille Razafindrakoto, François Roubaud, DIAL - Septembre 2005.
- N° 9 *Aid Selectivity According to Augmented Criteria*
Jacky Amprou, AFD, Patrick Guillaumont, Sylviane Guillaumont Jeanneney, CERDI - November 2005.
- N° 10 Le Cambodge rural face à la pauvreté : contribution à la réflexion sur les dynamiques agraires et le changement social
Julien Calas, AFD Phnom-Penh - Janvier 2006.
- N° 11 Vietnam : les vulnérabilités macro-financières associées au processus d'émergence.
Vietnam: Macro-Financial Vulnerabilities Associated with the Emergence Process
François-Xavier Bellocq et Jean-Raphaël Chaponnière, AFD - Janvier 2006.
- N° 12 Chine : la croissance et ses déséquilibres
François-Xavier Bellocq et Jean-Raphaël Chaponnière, AFD - Janvier 2006.
- N° 13 Legs colonial et gouvernance contemporaine (Note de synthèse)
Jean-François Bayart, Romain Bertrand, Thornike Gordadze, Béatrice Hibou et Françoise Mengin, FASOPO (Fonds d'analyse des sociétés politiques) - Mars 2006.

- N° 14 Apprendre pour vivre et travailler : contribution du GEFOP au Rapport sur le développement dans le monde 2007 de la Banque mondiale
Learning for Life and Work : GEFOP Contribution to the World Development Report 2007
Réseau GEFOP (Synthèse rédigée par R. Walther) - Mars 2006.
- N° 15 La formation professionnelle en secteur informel (Note de problématique)
Vocational Training in the Informal Sector - Issue Paper
Richard Walther, consultant ITG - Mars 2006.
- N° 16 La formation professionnelle en secteur informel - Rapport sur l'enquête terrain au Maroc
Vocational Training in the Informal Sector - Report on the Morocco Field Survey
Richard Walther, consultant ITG - Juin 2006.
- N° 17 La formation professionnelle en secteur informel - Rapport sur l'enquête terrain au Cameroun
Vocational Training in the Informal Sector - Report on the Cameroon Field Survey
Richard Walther, consultant ITG, avec le concours d'Ewa Filipiak et de Christine Uhder, AFD - Juillet 2006.
- N° 18 Rapport sur le risque-pays du Maroc
Jérôme Sgard, Cepii et Université de Paris-Dauphine - Juin 2006.
- N° 19 La formation professionnelle en secteur informel - Rapport sur l'enquête terrain au Bénin
Vocational Training in the Informal Sector - Report on the Benin Field Survey
Richard Walther, consultant ITG, avec le concours d'Ewa Filipiak et de Christine Uhder - Juillet 2006.
- N° 20 Institutions, développement et pauvreté
Institutions, Development and Poverty
Alice Sindzingre, CNRS, EconomiX, Université Paris X-Nanterre ; School of Oriental and African Studies (SOAS), Université de Londres - Juillet 2006.
- N° 21 La formation professionnelle en secteur informel - Rapport sur l'enquête terrain au Sénégal
Vocational Training in the Informal Sector - Report on the Senegal Field Survey
Richard Walther, consultant ITG, avec le concours d'Ewa Filipiak et de Christine Uhder - Juillet 2006.
- N° 22 Les fondations philanthropiques américaines, acteurs émergents de la mondialisation et piliers du dialogue trans-atlantique.
American Philanthropic Foundations: Emerging Actors of Globalization and Pillars of the Transatlantic Dialogue
Benoît Chervelier, German Marshall Fund of the United States, et Joseph Zimet, AFD - Juillet 2006.
- N° 23 L'AFD et ses partenaires : La dimension culturelle
Philippe d'Iribarne, CEREB - CNRS - Août 2006.
- N° 24 Secteur de l'eau au Sénégal - Un partenariat équilibré entre acteurs publics et privés pour servir les plus démunis ?
Aymeric Blanc, département de la Recherche, AFD, et Cédric Ghesquières, consultant junior, AFD - Août 2006.
- N° 25 Décentralisation et politique de l'eau gratuite en Afrique du Sud: Quelle place pour le secteur privé ?
Decentralization and free water policy in South Africa: where does the private sector come in?
Aymeric Blanc, département de la Recherche, AFD, et Cédric Ghesquières, consultant junior, AFD - Août 2006.
- N° 26 L'intégration des programmes d'aide alimentaire aux politiques de développement du Niger : le cas de la crise alimentaire 2004-2005.
The Integration of Food Aid Programmes in Niger's Development Policies: the 2004-2005 Food Crisis
Dorothée Chen et Nicolas Meisel, département de la Recherche, AFD, en partenariat avec DIAL - Septembre 2006.
- N° 27 Proposition d'organisation des outils de gestion du risque de marché au bénéfice des filières cotonnières africaines
Jean Cordier, Agrocampus Rennes - Septembre 2006.

- N° 28 Les privatisations en zone franc – synthèse des travaux du groupe de travail MINEFI/AFD
Aymeric Blanc, département de la Recherche, AFD - Septembre 2006.
- N° 29 *Out of the financing trap? Financing post-conflict countries and LICUSs*
Marc Raffinot, Université-Dauphine, et Christine Rosellini, DIAL, Paris - October 2006.
- N° 30 La formation professionnelle en secteur informel - Rapport sur l'enquête terrain en Afrique du Sud
Vocational Training in the Informal Sector - Report on the South Africa Field Survey
Richard Walther, ITG Consultant, Ewa Filipiak, département de la Recherche, AFD, et Christine Uher, AFD - Octobre 2006.
- N° 31 *The Brain Drain: What Do We Know?*
Frédéric Docquier, FNRS and IRES, Université Catholique de Louvain and World Bank - Khalid Sekkat, DULBEA, Université Libre de Bruxelles - October 2006.
- N° 32 Les délocalisations françaises vers la Turquie
Julien Gourdon, CERDI, Université d'Auvergne - Décembre 2006.
- N° 33 Capital naturel et développement durable en Afrique
Natural Capital and Sustainable Development in Africa
Pierre-Noël Giraud, CERNA, Centre de recherche en économie industrielle, Ecole nationale supérieure des Mines de Paris, Denis Loyer, AFD - Décembre 2006.
- N° 34 La formation professionnelle en secteur informel Rapport sur l'enquête terrain en Ethiopie
Vocational Training in the Informal Sector - Report on the Ethiopia Field Survey
Richard Walther, Consultant ITG - Novembre 2006.
- N° 35 La formation professionnelle en secteur informel Rapport sur l'enquête terrain en Angola
Vocational Training in the Informal Sector - Report on the Angola Field Survey
Richard Walther, Consultant ITG - Novembre 2006.
- N° 36 Les accords de partenariat économique : des accompagnements nécessaires
Economic Partnerships Agreements: Accompanying Measures Are Needed
Anna Lipchitz, département de la Recherche, AFD - Janvier 2007.
- N° 37 Energie du Mali, ou les paradoxes d'un « échec retentissant »
Béatrice Hibou, CNRS - CERI, Olivier Vallée, Consultant, AFD - Janvier 2007.
- N° 38 *Public Private Partnerships in Water and Electricity in Africa*
Emmanuelle Auriol, ARQADE and IDEI Toulouse Sciences Economiques, Aymeric Blanc, département de la Recherche, AFD - January 2007.
- N° 39 *Economic Partnership Agreements and Regional Trade Flow Dynamics: The ECOWAS Case*
Benoît Faivre Dupaigre, Vanessa Alby-Flores, Borgui Yerima, Ann Vourc'h, Anna Lipchitz, Philippe Chedanne - March 2007.
- N° 40 La Régie des eaux de Phnom Penh : un modèle de gestion publique efficace
Aymeric Blanc et Alain Riès, département de la Recherche, AFD - Mai 2007.
- N° 41 Répartition des gains dans les partenariats public-privé : effets comparés des modalités d'assiette d'une redevance de concession
Olivier Ratheaux, AFD - Juin 2007.
- N° 42 *Potential Financial Frameworks for a Sustainable UNEO*
Helle Husum, COWI, Erik Brander, COWI, Suzanne A.K. Steensen, COWI, et Emmanuelle Lachaussée, AFD - June 2007

- N° 43 La concession des aéroports de Madagascar : une privatisation en trompe-l'œil ?
Aymeric Blanc, département de la Recherche, AFD, et Olivier Gouirand, AFD - Août 2007.
- N° 44 La concession du chemin de fer du Cameroun : les paradoxes d'une réussite impopulaire
Aymeric Blanc, département de la Recherche, AFD, et Olivier Gouirand, AFD - Août 2007.
- N° 45 Analyse rétrospective de la crise alimentaire au Niger en 2005
Jean-Pierre Olivier de Sardan, LASDEL, avec la participation de M. Ali Bako, E. Guillermet, O. Hamani, Y. Issa, M. Koné et M. Moha - Septembre 2007.
- N° 46 Une nouvelle base de données institutionnelles : « Profils Institutionnels 2006 »
A new institutional database: "Institutional Profiles 2006"
Nicolas Meisel, département de la Recherche, AFD et Jacques Ould Aoudia, DGTPE - Septembre 2007
- N° 47 *Governance of Renewable Natural Resources: Concepts, Methods and Tools*
Sheila Wertz-Kanounnikoff, Institut du développement durable et des relations internationales (Iddri) et Dominique Rojat, AFD - September 2007.
- N° 48 La crise de la filière coton : conséquences économiques et financières au Burkina Faso
François Xavier Bellocq et Arthur Silve, département de la Recherche, AFD - Septembre 2007.
- N° 49 *Youth and labour market in Africa (DIAL)*
Jean-Pierre Cling, Flore Gubert, Christophe J. Nordman, Anne-Sophie, DIAL - October 2007.
- N° 50 *Culture and development: a review of literature. The continuing tension between modern standards and local contexts*
Hèla Yousfi, Researcher at "Gestion et société", CNRS, Paris - November 2007.
- N° 51 Transferts et déséquilibres macroéconomiques des économies ultramarines
Philippe Jean-Pierre, université de la Réunion - Novembre 2007.
- N° 52 Eloignement, insularité et compétitivité dans les petites économies d'outre-mer
Bernard Poirine, maître de conférences d'économie à l'université de la Polynésie française - Novembre 2007.
- N° 53 Pourquoi s'ouvrir ? Contraintes et perspectives pour les économies ultramarines
Jean-Michel Salmon, maître de conférences, CEREGMIA-faculté de droit et d'économie de la Martinique, université des Antilles et de la Guyane et consultant indépendant à STRADEVCO - Novembre 2007.
- N° 54 *Regional Trade Agreements and Developing Countries: The Case of the Independent Pacific Island States*
Robert Scollay - November 2007.
- N° 55 *Corporate Social Responsibility in Turkey: Overview and Perspectives*
Naïg Cozannet, Agence Française de Développement, Helge Rieper, Frankfurt School of Management and Finance
Yekbun Gurgoz, Agence Française de Développement - December 2007.
- N° 56 Allocation géographique de l'APD française : comparaison entre la sélectivité de l'APD française totale et celle de l'Agence Française de Développement
Jacky Amprou, AFD, Carl Bernadac, AFD, Pascaline Magnes, ministère des Affaires étrangères - Novembre 2007.
- N° 57 L'aide au commerce dans les pays en développement : des articulations complexes pour une efficacité réelle
Aid for Trade in Developing Countries: Complex Linkages for Real Effectiveness
Marilyne Huchet-Bourdon, maître de conférences en économie, Agrocampus Rennes, Anna Lipchitz, économiste, département de la Recherche, AFD, Audrey Rousson, consultante, AFD - Janvier 2008.
- N° 58 La « bonne gouvernance » est-elle une bonne stratégie de développement ?
Is "Good Governance" a Good Development Strategy?
Nicolas Meisel, département de la Recherche, AFD, Jacques Ould Aoudia, Direction générale du Trésor et de la politique, économique du ministère de l'Économie, des Finances et de l'Emploi - Janvier 2008.

- N° 59 Prospective et enjeux énergétiques mondiaux - Un nouveau paradigme
World Energy Prospects and Stakes - A New Paradigm
Bernard Laponche, consultant - Janvier 2008.
- N° 60 Cycle du crédit et vulnérabilités financières : évolutions récentes dans certains pays émergents
Matteo Mogliani, Ecole d'économie de Paris - Mars 2008.
- N° 61 L'industrie égyptienne depuis le début des années 1970 : histoire d'un développement contrarié
Egyptian Industry since the Early 1970s: A History of Thwarted Development
Hélène Djoufelkit-Cottenet, département de la Recherche, AFD - Mars 2008.
- N° 62 *Africa and its Demographic Challenges: an Uncertain Future*
Patrice Vimard, Institut de recherche pour le développement (IRD) - April 2008.
- N° 63 *Comparative Fiscal Response Effects of Debt Relief: an Application to African HIPC*s
Danny Cassimon, Bjorn Van Campenhout, Institute of Development Policy and Management (IDPM), University of Antwerp, Belgium - March 2008.
- N° 64 Rente, développement du secteur productif et croissance en Algérie
Hélène Djoufelkit, économiste, Agence Française de Développement - Juin 2008.
- N° 65 Préférences commerciales et règles d'origine : conséquences des APE pour l'Afrique de l'Ouest et centrale
Olivier Cadot, université de Lausanne, CEPR, CERDI et CEPREMAP, Calvin Djiofack, CERDI, Jaime de Melo, université de Genève, CEPR et CERDI - Juin 2008.
- N° 66 *The investment climate in Egypt: Institutions or Relationships as Conditions for Sustainable Reform?*
Hèla Yousfi, Gestion et société, LISE, CNRS, John Humphrey, Institute of Development Studies, Brighton UK - June 2008.
- N° 67 *Privatisation and Regulatory Reform in the Middle East and North Africa (MEDA) Area - Telecom Case Study*
Mihoub Mezouaghi, AFD - June 2008.
- N° 68 Réduire le méthane : l'autre défi du changement climatique
Benjamin Dessus, Bernard Laponche, association Global chance - Juillet 2008.
- N° 69 La présence chinoise en Afrique de l'Ouest : le cas du Mali et du Bénin
Mathilde Dupré et Weijing Shi, Institut d'études politiques de Paris - Août 2008.
- N° 70 Pour une approche sociétale et politique du développement
Xavier Ricard Lanata, ethnologue, directeur des partenariats internationaux du Comité catholique contre la faim et pour le développement, CCFD - Septembre 2008.
- N° 71 Politique publique, stratégie des acteurs et qualité du tourisme sud-méditerranéen : apports de l'économie industrielle
Abdelhakim Hammoudi, INRA et université Paris 2 - Septembre 2008
- N° 72 L'Indonésie dix ans après la crise
François-Xavier Bellocq, département de la Recherche, AFD, Jean-Raphaël Chaponnière, département Asie, AFD - Septembre 2008
- N° 73 *External Debt in Low-Income Countries: Taking Stock and New Perspectives*
Hélène Djoufelkit-Cottenet et Cécile Valadier département de la Recherche, AFD - October 2008.
- N° 74 Balances migratoires. Concept, hypothèses et discussions
Thomas Mélonio, département de la Recherche, AFD - October 2008.
- N° 75 Viabilité de la dette des pays à faible revenu dans une perspective de reendettement post-allègements de dette
Hélène Djoufelkit-Cottenet, département de la Recherche, AFD, Marc Raffinot, Université Paris Dauphine, LEDa, DIAL - Décembre 2008.

- N° 76 *Market Access and Specialization in Cash Crops: Vietnam's Expected Gains from WTO Accession*
Barbara Coello, Paris School of Economics at the Laboratoire d'économie appliquée - Institut national de recherche agronomique (LEA -INRA) - December 2008.
- N° 77 *The Banking System of Vietnam after the Accession to WTO: Transition and its Challenges*
François-Xavier Bellocq et Arthur Silve, département de la Recherche, AFD - December 2008.
- N° 78 "L'itinéraire professionnel du jeune africain" Les résultats d'une enquête auprès de jeunes leaders africains sur les "dispositifs de formation professionnelle post-primaire"
Richard Walther, consultant ITG, Marie Tamoifo, porte-parole de la jeunesse africaine et de la diaspora
Contact : Nicolas Lejosne, département de la Recherche, AFD - janvier 2009.
- N° 79 Le ciblage des politiques de lutte contre la pauvreté : quel bilan des expériences dans les pays en développement ?
Emmanuelle Lavallée, Anne Olivier, Laure Pasquier-Doumer, Anne-Sophie Robilliard, DIAL - février 2009.
- N° 80 Les nouveaux dispositifs de formation professionnelle post-primaire. Les résultats d'une enquête terrain au Cameroun, Mali et Maroc
Richard Walther, Consultant ITG
Contact : Nicolas Lejosne, département de la Recherche, AFD - mars 2009.
- N° 81 *Economic Integration and Investment Incentives in Regulated Industries*
Emmanuelle Auriol, Toulouse School of Economics, Sara Biancini, Université de Cergy-Pontoise, THEMA,
Comments by : Yannick Perez and Vincent Rious - avril 2009.
- N° 82 Capital naturel et développement durable en Nouvelle-Calédonie - Etude 1. Mesures de la « richesse totale » et soutenabilité du développement de la Nouvelle-Calédonie
Clément Brelaud, Cécile Couharde, Vincent Géronimi, Elodie Maître d'Hôtel, Katia Radja, Patrick Schembri, Armand Taranco, Université de Versailles - Saint-Quentin-en-Yvelines, GEMDEV
Contact : Valérie Reboud, département de la Recherche, AFD - juin 2009.
- N° 83 *The Global Discourse on "Participation" and its Emergence in Biodiversity Protection*
Olivier Charnoz - July 2009.
- N° 84 *Community Participation in Biodiversity Protection : An Enhanced Analytical Framework for Practitioners*
Olivier Charnoz - August 2009.
- N° 85 Les petits opérateurs privés de la distribution d'eau à Maputo : d'un problème à une solution ? Regards croisés
Aymeric Blanc, département de la recherche, AFD, Jérémie Cavé, LATTIS, Emmanuel Chaponnière, Hydroconseil /FIPAG
Contact : Aymeric Blanc - août 2009.