

PROSPECTIVE SUR LES TRANSPORTS

*Rapport du groupe
de travail présidé
par Maurice Bernadet*





PROSPECTIVE
SUR LES TRANSPORTS

Président du groupe de travail et rapporteur général

Maurice Bernadet

Rapporteur

Catherine Côme

Janvier 2004

Crédits photos couverture :
© Vincent Guillé - © Klaas Diersmann.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	7
DES TRAVAUX MAJORITAIREMENT ORIENTÉS PAR LA PRÉOCCUPATION DU « DÉVELOPPEMENT DURABLE »	9
DES ÉVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES INCONTESTABLES	11
DES ÉVOLUTIONS NÉCESSAIRES DES SYSTÈMES ET DES COMPORTEMENTS	13
DES VISIONS DE L'AVENIR MARQUÉES PAR UNE FORTE INCERTITUDE	17
ANNEXES	19
MANDAT DU GROUPE DE TRAVAIL	21
COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL	23
AUDITIONS	25
FICHES DE SYNTHÈSE DES EXERCICES DE PROSPECTIVE AUDITIONNÉS	27
- Transports, énergie et contraintes environnementales en France à l'horizon 2030 : apports de l'approche « back-casting » à la formulation des stratégies technologiques et organisationnelles : scénarios pour la France Par Bertrand Chateau, Enerdata	29
- Le projet « Environmentally sustainable transport » (EST) ¹ de l'OCDE Par Peter Wiederkehr, administrateur, direction environnement, OCDE	31
- Mobilité urbaine : cinq scénarios pour un débat Par Yves Crozet, directeur du laboratoire d'économie des transports, vice-président de l'université Lyon 2	33

¹ Traduit par « transports écologiquement viable » (TEV).

- L'impact environnemental de l'exploitation des ressources non conventionnelles Par Georgia Plouchart, ingénieur chargé d'études, IFP	35
- Prospective énergétique : les carburants alternatifs Par Daniel Le Breton, responsable du département transports et énergie, direction de la stratégie et du développement, Total raffinage et marketing	37
- Les technologies clefs dans les transports - 2005 Par Philippe Bourgeois, chef de projet, Minefi	39
- Les carburants alternatifs : une stratégie pour une mobilité soutenable en 2020 Par Jean-Claude Griesemann, chef de groupe de recherche, Renault	41
- Les politiques publiques à l'épreuve d'équations territoriales inédites Par Alain Faure, chercheur CNRS au Centre de recherches sur le politique, l'administration, la ville et le territoire (CERAT), Institut d'études politiques de Grenoble	43
- L'action publique locale en quête d'expertise Par Jean-Marc Offner, directeur, laboratoire techniques, territoires et sociétés (LATTs), ENPC	45
- Prospective des nouvelles technologies dans le domaine des transports et services à la mobilité : le cas des systèmes de transports intelligents Par Jean-Luc Ygnace, ingénieur de recherche, Inrets	47
- État des réflexions sur les programmes français et étrangers, et sur le 6 ^e PCRD concernant les piles à combustibles Par Claude Lamy, professeur, faculté des sciences, Poitiers	49

INTRODUCTION

La publication récente de plusieurs rapports rédigés à la demande du gouvernement et destinés à nourrir le débat parlementaire sur la politique des transports qui a eu lieu en mai et juin 2003 témoigne des nombreuses interrogations que se posent les pouvoirs publics. Coup sur coup ont en effet été publiés :

- Le rapport d'audit sur les infrastructures de transport rédigé par une mission comprenant des ingénieurs généraux des Ponts et Chaussées et des inspecteurs des Finances.
- Le rapport des sénateurs Hubert Haenel et François Gerbaud « Fret ferroviaire français : la nouvelle bataille du rail ».
- Le rapport de la Datar « La France en Europe : quelle ambition pour la politique des transports ? ».

On peut ajouter à ces rapports officiels la publication récente des actes du séminaire « Automobile, environnement et société » à l'horizon 2010-2020 organisé les 21 et 22 janvier 2003 par le Centre de Prospective et de Veille scientifique (Groupe Prospective et usages sociaux de l'automobile) de la Drast. On peut également noter que le conseil général des Ponts et Chaussées met en place un groupe de réflexion prospective sur les transports.

La caractéristique commune de ces rapports est de réfléchir aux orientations à donner à la politique des transports et donc d'interroger l'avenir. S'agit-il pour autant d'études prospectives ? Seul le rapport de la Datar est ainsi qualifié. Mais encore faut-il se mettre d'accord sur ce que veut dire le mot prospective.

Pour les spécialistes, la prospective ne se confond pas avec la prévision. Pour reprendre la définition qu'en donne Michel Godet (mais on pourrait trouver des définitions équivalentes chez d'autres auteurs), « la prospective est une réflexion pour éclairer l'action présente à la lumière des futurs possibles ». À la différence de la prévision, la prospective met donc l'accent sur la diversité du futur, qui n'est pas le simple prolongement du passé. Elle s'efforce sans doute d'identifier les « tendances lourdes » qui pèsent sur cet avenir, mais surtout de mettre à jour les « signaux faibles » qui peuvent annoncer des ruptures, qu'elles soient

spontanées ou délibérément recherchées et de déterminer les variables d'actions sur lesquelles on peut agir. Dans cet esprit, des outils spécifiques ont été mis au point, qu'il s'agisse de l'analyse structurelle pouvant s'appuyer sur la dynamique de système, de la consultation d'experts (méthode Delphi), de la déclinaison de scénarios. Dans tous ces cas, on part du présent pour éclairer l'avenir. On peut aussi se donner un avenir jugé souhaitable et analyser la manière dont celui-ci pourrait être atteint (approche « back casting »).

Le groupe de travail, constitué dans le cadre du Club Ecrin, s'est donné pour objectif de prendre connaissance des travaux prospectifs réalisés dans le domaine des transports, de manière à faire le point sur l'état d'avancement des réflexions, à mettre à jour les grandes lignes se dégageant de ces travaux, à identifier les préoccupations auxquelles ils répondaient. Les travaux dont le groupe a pris connaissance s'inspirent parfois d'une approche spécifiquement prospective et utilisent ces méthodes. Mais le plus souvent il s'agit simplement de travaux tournés vers l'avenir, ne s'inspirant pas directement des approches spécifiques dont se réclament les prospectivistes. Par ailleurs, l'horizon temporel envisagé est souvent assez court.

L'objectif ultime du groupe était d'identifier les thèmes dans lesquels une approche prospective paraissait utile, dans des domaines concernant les sciences exactes et la technologie en découlant ou les sciences sociales, et de suggérer ainsi le développement de recherches nouvelles. Le « message » du groupe devait s'adresser à la communauté scientifique, expression recouvrant à la fois les organismes qui orientent et gèrent la recherche et les chercheurs eux-mêmes, ainsi qu'aux pouvoirs publics.

La méthode que le groupe a adoptée consistait à prendre connaissance des travaux réalisés en invitant leurs auteurs à les présenter. Les charges de travail des membres du groupe, leurs faibles disponibilités, ne leur ont permis ni d'étendre leurs investigations aux travaux étrangers, ni d'entreprendre une réflexion spécifique approfondie. Mais ce qu'il a appris au cours d'une dizaine de réunions permet de formuler quelques conclusions et recommandations répondant bien à l'objectif initial.

DES TRAVAUX MAJORITAIREMENT ORIENTÉS PAR LA PRÉOCCUPATION DU « DÉVELOPPEMENT DURABLE »

Les travaux présentés relevaient, si l'on schématise, de deux domaines principaux : la recherche en sciences exactes et la technologie d'une part, les sciences sociales d'autre part. Or les travaux réalisés dans ces deux domaines présentent des différences et des points communs.

Des différences au plan méthodologique car, si le groupe a constaté l'existence de travaux s'inscrivant clairement dans une approche prospective en sciences sociales, ce n'est pas le cas dans le domaine des sciences exactes et de la technologie. En particulier, le groupe n'a pas identifié de travaux relevant d'une démarche de « prospective technologique » consistant, en interrogeant des experts, à chercher à identifier les innovations à venir et à dater leur apparition. Il est vrai que les études réalisées dans ce domaine, apparaissent souvent, avec le recul du temps, décevantes² : les dates des innovations majeures proposées se sont révélées fausses, le plus souvent parce que les experts ont sous-estimé le temps nécessaire à la diffusion des progrès technologiques et des innovations majeures. Mais ce constat ne justifie pas qu'on ait renoncé à faire de la prospective technologique : les « scientifiques » n'ont sans doute pas de compétence particulière pour dire quelles sont les innovations qui pourraient être mises en œuvre à telle ou telle date ; en revanche ils sont sans doute capables de dire ce qui, à ces dates, est technologiquement possible.

Bien évidemment de nombreuses recherches sont en cours, dans le domaine technologique, qui, pour celles dont l'horizon est le plus lointain, concernent essentiellement la question de l'énergie. Une double préoccupation est à l'origine de ces travaux : la perspective d'une pénurie à terme des carburants d'origine fossile auxquels les modes de transport, dans leur technologie, actuelle font largement appel et le souci de freiner, puis de réduire, l'émission des gaz à effet de serre qu'ils génèrent.

Menés à la fois par les instituts publics de recherche et par les industriels (compagnies pétrolières et constructeurs

d'automobiles et de poids lourds), elles cherchent principalement, avec des horizons différents, à améliorer le rendement des moteurs thermiques, à étudier la possibilité de carburants fossiles autres que le pétrole et enfin à utiliser des sources d'énergie alternatives.

Dans le champ des sciences sociales au contraire, le groupe a pu identifier des travaux recourant à l'approche prospective, et notamment à la méthode des scénarios. Ils sont cependant peu nombreux à se placer dans un horizon éloigné. Mais les préoccupations qui guident ces travaux sont les mêmes : la recherche du développement durable. Ils reposent sur l'hypothèse que les perspectives technologiques ne permettront pas de réduire dans les proportions requises, l'émission des gaz à effet de serre, et s'interrogent sur les nouvelles organisations de la mobilité compatibles avec le développement durable. Pourtant des évolutions technologiques se produiront...

² Une analyse de certains de ces travaux a été réalisée dans une étude pour le Predit 2 par François Plassard, « Rétrospective de la prospective : la prospective dans le domaine des transports - Recherche critique ».

DES ÉVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES INCONTESTABLES

Ces évolutions concernent tant les infrastructures que les véhicules.

S'agissant des infrastructures des progrès sont attendus en matière d'exploitation par l'utilisation des technologies de l'information et de la communication qui devraient permettre d'améliorer la sécurité et d'augmenter leur capacité.

L'exploitation ferrée est déjà assez fortement programmée. Les progrès techniques envisagés concernent essentiellement la signalisation (ERTMS) qui permet une augmentation de l'ordre de 20% de la capacité.

L'évolution de l'exploitation de la route pourrait être plus importante, les technologies de la communication pouvant changer profondément les principes de fonctionnement. À horizon assez lointain, des routes automatiques sur lesquelles la conduite des véhicules serait asservie sont étudiées. Les scénarios, autoroute réservée aux poids lourds ou voirie urbaine, sont divers mais les problèmes à résoudre restent nombreux qu'ils soient techniques, sociologiques, juridiques. Les bénéfices sur le plan de la sécurité, de capacité et de la consommation d'énergie pourraient être importants. Toutefois les recherches sur les « autoroutes intelligentes » suscitent également le scepticisme de certains chercheurs qui estiment qu'elles servent de prétexte pour obtenir des financements des pouvoirs publics et doutent qu'un jour ce concept se concrétise.

En matière de véhicules, et pour le chemin de fer, les progrès ont concerné le matériel voyageur et notamment ceux affectés à la grande vitesse. Des recherches sont en cours sur le freinage qui permettrait de constituer, en matière de transport de marchandises, des trains longs. Mais il s'est surtout agi d'améliorer le confort et la capacité, de façon incrémentale. Aucune révolution technique, sauf le développement, aujourd'hui incertain, du train à sustentation magnétique, n'est attendue.

Les progrès ont été beaucoup plus importants pour les véhicules automobiles, voitures particulières ou poids lourds. Ils ont concerné le confort certes mais aussi l'introduction à dose croissante de l'électronique notamment

pour apporter aux conducteurs des aides à la conduite. Des progrès importants ont également été réalisés en matière de motorisation. Les émissions de polluants ont été réduites de manière spectaculaire sauf pour les Nox pour lequel les progrès sont toutefois sensibles. Mais les améliorations en matière d'émission de CO₂ sont moins importantes. Des progrès sont certes possibles, au-delà de ceux prévus dans l'accord entre l'Europe et Eucar. Mais des évolutions dans le type de motorisation sont maintenant nécessaires et sans doute possibles compte tenu des travaux sur le moteur à combustion (injection à très haute pression, mélange air/carburant de moins en moins riche mais de plus en plus homogène, combustion plus complète, etc.) qui permettraient de réduire dans d'importantes proportions (30% ?) la consommation et donc les émissions.

Les travaux sur le moteur à combustion portent également sur la possibilité de faire converger les technologies liées aux différents carburants vers des plates-formes compatibles avec ces carburants, dont les biocarburants et les « sunfuels ». L'utilisation de carburants fossiles autres que le pétrole pourrait en effet permettre de reporter l'échéance de la pénurie. Elle soulève toutefois d'importants problèmes techniques et économiques, et en tout état de cause ne permet pas d'espérer une réduction drastique des émissions de CO₂ dès lors que le calcul prend en compte l'ensemble de la filière qui va de l'extraction de la ressource à son utilisation par le véhicule (« du puits à la roue »).

Le véhicule électrique est disponible depuis un certain temps. Mais la capacité et l'encombrement des batteries limitent considérablement son développement. Aussi, le véhicule hybride, qui ne constitue pas une innovation de rupture, et qui par-là même peut connaître une diffusion plus facile, semble avoir un espace de croissance élevé. Fonctionnant avec son moteur à explosion en rase campagne, il reste dépendant des carburants classiques, mais il pourrait bénéficier lui aussi des recherches évoquées plus haut sur le moteur à explosion.

Les espoirs se tournent enfin vers la mise au point de véhicules mus par des piles à combustible, fonctionnant

à l'hydrogène. Il s'agirait d'un saut conceptuel considérable mais soulevant encore des problèmes techniques importants, face à des choix technologiques qui restent ouverts, de sorte que l'avènement de la pile à combustible ne paraît pas vraisemblable avant plusieurs dizaines d'années. Mais ce n'est pas le seul obstacle à franchir pour obtenir une réduction considérable de l'émission de CO₂. Il faut aussi qu'on soit capable de fabriquer l'hydrogène sans émission, ou avec une faible émission de CO₂, ce qui suppose probablement de l'électricité d'origine nucléaire ou d'énergies renouvelables.

Par ailleurs, d'autres difficultés ou limites se font jour. Quel combustible doit-on utiliser ? Et en toute hypothèse, tout l'appareil de distribution du carburant devra être remplacé...

Quel que soit le rythme des progrès technologiques, beaucoup des experts que nous avons consultés insistent sur les délais nécessaires à la pénétration d'une nouvelle technologie dans la vie quotidienne. Trois étapes doivent être successivement parcourues :

1. Celle de la « découverte » et de la mise au point de l'« invention ». Entre l'idée de base et la mise au point d'un prototype opérationnel, il peut se dérouler plus d'une décennie.
2. Celle de la constitution d'un appareil industriel produisant l'invention à un coût compétitif avec une disponibilité de l'ensemble des biens liés. En ce qui concerne le véhicule mû par pile à combustible, il faut arriver à produire des piles mais également de l'hydrogène à des prix appropriés et aussi à mettre en place un réseau de distribution efficace. Cette phase industrielle peut s'étendre sur au moins une décennie.
3. Celle de la généralisation des innovations. En effet, pour que le parc correspondant soit renouvelé par les consommateurs, il faut, pour les voitures particulières une quinzaine d'années, un peu moins pour les poids lourds.

Au total, c'est donc entre 30 et 50 ans qui sont nécessaires pour qu'un véhicule pénètre complètement le marché pour lequel il est pertinent. C'est ce que l'on retrouve dans les prévisions faites dans l'ensemble par nos interlocuteurs.

L'opinion dominante, bien que controversée, est que la solution la plus pertinente pour atteindre les niveaux élevés de réduction des émissions de carbone préconisés par une partie de la communauté scientifique et auxquels notre pays s'est engagé repose sur l'utilisation de l'hydrogène. Par ailleurs, et compte tenu des échéances envisagées, d'autres solutions technologiques pourraient devenir opérationnelles. Par exemple, un saut dans la technologie des batteries pourrait redonner de la crédibilité à une solution tout électrique. Mais les technologues sont sceptiques et ne pensent pas que les batteries, qui stockent et produisent l'énergie dans une même « boîte », pourraient concurrencer en termes

d'autonomie le moteur thermique et son réservoir à carburant...

Rappelons enfin que, dans tous les cas, pour obtenir un bon rendement « du puits à la roue » il est nécessaire que le combustible soit produit avec de faibles émissions de carbone...

Ce sont ces incertitudes et interrogations qui permettent de penser qu'il n'y aura pas de miracle technologique, même si les progrès attendus dans ce domaine apporteront une contribution notable à la réduction des atteintes à l'environnement. Il sera donc nécessaire de combiner innovations technologiques et innovations organisationnelles, ces dernières impliquant des changements des comportements en matière de mobilité des hommes et des marchandises.

DES ÉVOLUTIONS NÉCESSAIRES DES SYSTÈMES ET DES COMPORTEMENTS

La réflexion sur le «découplage» entre la croissance économique et les transports a conduit à distinguer ce que l'on appelle le découplage «relatif» (diminution des émissions dues au transport sans réduction de la mobilité) et le découplage «absolu» (impliquant une baisse de la mobilité). Le découplage relatif suppose que les transports soient assurés par des modes dont les émissions soient plus faibles que celles du mode dominant, c'est-à-dire, en transport terrestre, le mode routier.

Le transfert modal, de la voiture vers les transports collectifs pour les personnes, du poids lourd vers le rail, la voie d'eau ou le «cabotage» maritime pour les marchandises permettrait, à quantité transportée constante, de diminuer les quantités de polluants émis, ainsi que celles du CO₂, mais aussi souvent d'autres nuisances comme le bruit, de réduire les emprises nécessaires... Dans la mesure où il ne réduit pas la mobilité, il peut sembler constituer la solution idéale et il est l'objet depuis longtemps des réflexions des chercheurs. Toutefois, s'il n'affecte pas le niveau de la mobilité, il met en cause ses formes, et notamment la souplesse, la réactivité que permet la route.

En ce qui concerne les transports de passagers, la priorité donnée en milieu urbain aux transports collectifs, aussi bien pour les investissements que pour la gestion de la voirie, est de plus en plus affirmée. Les transports collectifs pourraient certainement être développés dans le centre des agglomérations et diverses «solutions» destinées à freiner l'usage de la voiture ont été étudiées : mise en place de péage, limitation d'accès, partage de la voirie... Des mesures allant dans ce sens sont progressivement prises dans un certain nombre de pays européens. S'appuyant sur ces expériences, plusieurs des experts consultés présentent des scénarios qui comportent une forte hausse de la part de marché des transports en commun en ville³.

Il faut cependant noter que les politiques menées en ce sens n'ont pas toujours des résultats entièrement probants, faute sans doute de prendre en compte les véritables attentes des utilisateurs. L'accroissement de l'offre, en particulier grâce à de nouvelles lignes de tramways, ne se traduit pas nécessairement par une augmentation proportionnelle du trafic et les reports de la voiture particulière au transport collectif sont limités. Par ailleurs la demande qui croît est celle du transport de banlieue à banlieue, trajets pour lesquels le transport collectif est peu productif. Mais surtout, la rareté des ressources financières collectives devient un frein au développement des transports en commun et une politique active ne fait qu'aggraver les besoins de financement⁴. Les ressources du péage pourraient, dans une certaine mesure y remédier. Au total, l'accroissement de la part de marché des transports en commun demandera certainement l'utilisation d'un ensemble de mesures convergentes dont la mise en place et l'acceptation prendront du temps.

En matière de transport interurbain, le TGV, malgré son incontestable succès, a jusqu'ici pris peu de trafic à la route, tandis que le trafic des lignes classiques continue de fléchir. Les scénarios qui prévoient un fort transfert du trafic interurbain sur le fer, surtout pour les trafics longue distance, supposent donc un changement des perspectives. Les mesures correspondantes pourraient consister, par exemple, à financer des infrastructures, à soutenir par des subventions l'exploitation du transport public, à taxer les déplacements automobiles. Pour obtenir de forts transferts, il faut bien entendu des mesures énergiques. En sus des difficultés d'acceptation de ces mesures, les financements publics nécessaires comme les délais de réalisation seront importants.

C'est pour le transport de marchandises, dans lequel pourtant la croissance de la part de marché du transport routier constitue une tendance lourde, que les plus grands

³ Cf. la fiche «Mobilité urbaine : cinq scénarios pour un débat».

⁴ Cf. les résultats du modèle de simulation QuinQuin développé par le laboratoire d'économie des transports.

espoirs de transfert modal sont formulés. Les schémas de service français comme le livre blanc de l'Union européenne prévoient de forts trafics ferroviaires, jusqu'au triplement à l'horizon 2020 pour la France. Ces pronostics s'appuient sur un nouveau dynamisme commercial favorisé par l'ouverture à la concurrence et par le développement d'infrastructures éventuellement spécifiques. Là encore, on retrouve le problème des financements et des délais. Mais, de plus, de nombreux experts s'interrogent sur la capacité de la technique ferrée et des organisations ferroviaires à satisfaire une demande des chargeurs qui a beaucoup évolué dans sa consistance : nature des produits et de leur conditionnement, place du transport dans des organisations logistiques qui exigent une qualité de service élevée, sans rapport avec ce que le chemin de fer est aujourd'hui capable d'offrir.

En toute hypothèse, un transfert modal de la route vers le transport ferroviaire suppose de profonds changements dans l'organisation logistique et, en amont, dans le système de production. Dans le système de prix actuel, les chargeurs arbitrent en faveur d'unités de production liées par des relations en juste-à-temps et réalisées (en transport terrestre) par la route ; il faudrait sans doute que les prix relatifs changent profondément pour que les arbitrages entre transport et stockage soient modifiés.

Le découplage absolu suppose quant à lui une réduction de la mobilité, c'est-à-dire une orientation qui va à l'encontre des tendances spontanées qui sont à l'œuvre depuis trente, voire cinquante ans, en liaison avec l'augmentation de la production et des revenus. Aussi l'idée qui sous-tend les réflexions des prospectivistes est que le « scénario de référence », celui qui se déroulerait en l'absence de politique spécifique, est la croissance de la mobilité.

S'agissant de la mobilité des personnes, les différents scénarios que l'on peut construire en matière de mobilité urbaine⁵ se distinguent en fonction de l'objectif qui est de réduire ou non la mobilité, et de la manière d'agir pour atteindre cet objectif, en privilégiant ou non les mesures tarifaires et la logique du marché. Dans le scénario dit du volontarisme technologique, le plus proche du fil de l'eau, les progrès technologiques conduisent à des véhicules particuliers et collectifs propres si bien que la mobilité peut continuer à croître à un rythme annuel de 2 % pour la circulation automobile, un peu moins pour les transports en commun. À l'opposé, le scénario dit de la maîtrise de la mobilité qui suppose la mise en place d'autorisations de circuler conduit à une diminution de presque 1 % par an de la circulation

automobile, que l'accroissement des transports collectifs ne peut compenser.

De même, les scénarios issus des démarches de « backcasting » (OCDE et Enerdata)⁶ préconisent, pour atteindre les objectifs fixés, une réduction sensible de la demande de transport comprise entre 20 et 30 % par rapport au scénario « fil de l'eau ». Un certain nombre de mesures, fiscales, tarifaires, réglementaires, d'organisation, sont supposées atteindre ces objectifs.

Mais les deux recherches évoquées ci-dessus ne constituent que des esquisses qui, pour intéressantes qu'elles soient, demandent à être approfondies, notamment pour mieux intégrer la dimension technologique, et, s'agissant des mesures susceptibles d'agir sur l'organisation des transports et les comportements, analyser leurs effets et préciser le calendrier de ces effets.

Le thème du découplage de la mobilité et de la croissance économique suscite de nombreuses d'interrogations chez certains chercheurs. S'agissant de la mobilité des personnes la mobilité paraît à beaucoup comme une valeur sociétale positive, à laquelle tout le monde n'a d'ailleurs pas un égal accès. De plus, les dynamiques urbaines rendent des catégories entières de la population dépendantes des transports et captives de l'automobile. En ce qui concerne les marchandises, la demande de transport est liée à l'organisation globale du flux des matières dans les processus de fabrication et de distribution et à la spécialisation de plus en plus poussée des unités de production : pour modifier cette demande, il faut remettre en cause l'organisation des entreprises et éventuellement leur compétitivité. Il y a donc une certaine réticence des pouvoirs publics à prendre des mesures autoritaires qui peuvent de plus avoir des conséquences néfastes.

D'autres manières d'agir existent, qu'elles relèvent de la réglementation, de la tarification, etc. tendant à modifier les arbitrages réalisés par les personnes ou les acteurs économiques. Mais leurs effets ne peuvent être rapides. En ce qui concerne les déplacements de personnes, et plus particulièrement la mobilité urbaine, les évolutions envisagées pour diminuer la demande de transports concernent le plus souvent l'aménagement urbain : moindre dispersion de l'habitat, retour du commerce en milieu aggloméré, etc. Or pour que des évolutions de ce type aient des effets sensibles sur les trafics, il faut des décennies. De même, en ce qui concerne le transport de marchandises, il faut mettre en cause la tendance à la spécialisation des unités de production et donc modifier structurellement l'appareil de production et de distribution.

⁵ Cf. les scénarios présentés dans la fiche « Mobilité urbaine : cinq scénarios pour un débat ».

⁶ Cf. fiches « Le projet « Environmental Sustainable Transport » (EST) de l'OCDE » et « Transports, énergie et contraintes environnementales en France à l'horizon 2030 : apports de l'approche « back-casting » à la formulation des stratégies technologiques et organisationnelles : scénarios pour la France ».

Bien sûr, un ralentissement de la croissance économique, et par conséquent de la consommation des ménages très en deçà des 2 % qui sont généralement retenus dans les scénarios de long terme se traduirait par un ralentissement conséquent de l'augmentation de la mobilité. Mais si la croissance économique reste robuste, le découplage entre la croissance de la mobilité et la croissance économique demandera de longs délais.

DES VISIONS DE L'AVENIR MARQUÉES PAR UNE FORTE INCERTITUDE

Il ressort des quelques analyses faites ci-dessus quelques certitudes ou quasi-certitudes, mais principalement beaucoup d'interrogations.

Des certitudes ? L'expression est sans doute erronée, et il serait préférable de parler d'idées partagées par les membres du groupe. Car si les membres du groupe et les experts entendus expriment parfois des convictions différentes et ont de l'avenir des visions contrastées, tous peuvent sans doute accepter les deux affirmations suivantes :

1. Il n'existe pas de solution miracle, et il est à peu certain que des innovations purement technologiques ne permettront pas de réduire les émissions de CO₂ à un niveau suffisant pour respecter les engagements internationaux pris par notre pays. Il sera donc nécessaire, si l'on entend les respecter, de combiner innovations technologiques et innovations organisationnelles, ces dernières impliquant des changements de comportements en matière de mobilité des hommes et des marchandises.
2. Le système des transports - et plus encore le système de production et de distribution s'agissant du transport des marchandises ou le système urbain s'agissant des transports de personnes dont il est le produit - manifeste une grande inertie, et les changements qui sont probablement nécessaires, tant technologiques qu'organisationnels, ne feront sentir leurs effets que très progressivement. Ce qui justifierait qu'on considère qu'il y a urgence à prendre les mesures qui s'imposent. Or, au contraire, les acteurs économiques et les pouvoirs publics pratiquent largement l'attentisme, en le dissimulant sous des discours lénifiants, voire incantatoires.

Hors ces deux idées partagées, et même en relation avec elles, les interrogations fleurissent. Par exemple, si les innovations technologiques n'apportent pas de réponse suffisante, elles contribueront cependant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ; mais dans quelle proportion ? Dans quelle mesure, ou jusqu'à quand les

énergies combustibles fossiles autres que le pétrole pourront-elles masquer la fin de ce dernier ? etc.

Si le mot certitude était mal choisi, il avait l'avantage de marquer une opposition avec les incertitudes qui règnent par ailleurs. Car la caractéristique essentielle des interrogations multiples qui concernent le futur est que, du fait de l'insuffisance des informations fiables, ce futur n'est pas probabilisable, mais incertain. Certes cette affirmation est sans doute trop tranchée et il faudrait distinguer des situations différentes, les unes dans lesquelles il est possible d'associer aux différentes hypothèses une distribution de probabilités même subjectives, et les autres dans lesquelles en revanche aucune distribution de probabilités vraisemblable ne peut leur être associée. Mais cette seconde situation paraît la plus fréquente...

C'est bien dans de telles circonstances que la prospective est une démarche utile. Faute de pouvoir déterminer le futur le plus probable, elle cherche à définir différents scénarios pouvant éclairer les décisions à prendre, pour éviter que, demain, le « scénario de l'inacceptable »⁷ se réalise et pour qu'au contraire un scénario du supportable et si possible même du souhaitable commande notre avenir.

Les réflexions que nous venons de présenter conduisent donc naturellement à quelques recommandations que l'on peut présenter en trois points :

1. Nous avons noté l'absence de travaux contemporains de prospective technologique et les réserves que certains résultats des travaux passés peuvent susciter. Mais cela ne justifie pas qu'on renonce à cette approche. Certes des précautions doivent être prises quant aux questions à poser aux spécialistes, en distinguant clairement :
 - les interrogations qui doivent être posées aux spécialistes de la technologie et des sciences exactes et qui sont relatives à la faisabilité technique,

⁷ Selon le titre d'un travail de prospective de la Datar publié en 1971 (« Une image de la France en l'an 2000, scénario de l'inacceptable »).

- et celles qui concernent également - et même principalement - les spécialistes des sciences sociales, économistes, sociologues, hommes du marketing... et qui sont relatives à la mise en œuvre des innovations.

En effet, la recherche visant à la mise au point de tel ou tel objet technologique, par exemple la pile à combustible, doit être accompagnée d'une réflexion approfondie consacrée au contexte et à l'environnement qui conditionnent sa naissance et son développement. Autrement dit, cet objet ne doit pas seulement être envisagé en lui-même, mais considéré dans ses relations avec le milieu économique, sociologique, culturel, politique... dans lequel il doit s'insérer. Ce qui suppose une collaboration beaucoup plus étroite que ce qui est habituellement réalisé entre les scientifiques et technologues d'une part et les spécialistes des sciences sociales d'autre part.

Ainsi devrait-il être possible, dans un certain nombre de domaines où l'incertitude reste forte, de préciser les dates probables d'une « découverte », de la validation d'un prototype, de l'industrialisation d'un procédé... et les conditions, notamment de coût, de leur acceptation par la société et de leur généralisation.

Une telle démarche est indispensable pour mettre en lumière les enjeux, et éviter que les choix en matière d'orientation des recherches ne soient dominés par le simple rapport des forces entre les lobbies technologiques existants.

Le domaine prioritaire dans lequel une réflexion prospective de ce type devrait être conduite est celui de l'automobile et plus précisément de l'avenir des différentes motorisations alternatives, incluant une réflexion globale sur :

- l'avenir du moteur thermique et des différentes formes de carburants utilisables,
- l'avenir de la voiture hybride,
- l'avenir de la voiture électrique (les batteries de demain),
- l'avenir de la pile à combustible.

Le choix de ces domaines est largement influencé par les préoccupations du développement durable et plus précisément par la question de l'émission du CO₂. Mais sans doute ne faut-il pas pour autant négliger d'autres thèmes tels que la sécurité, le bruit, la consommation d'espace... Plus généralement, les objectifs du développement durable ne se limitent pas au seul aspect de l'environnement mais la dimension économique et sociale, donc la préoccupation de l'équité, doivent également être pris en compte.

2. Nous avons également noté l'existence de travaux prospectifs relevant des sciences sociales. Mais malgré la publication, dans le cadre du Predit 2, d'un appel à proposition, les travaux relevant de cette approche, ou plus précisément des différentes méthodologies qui soutiennent cette approche, restent peu nombreux, et

ceux qui existent doivent à l'évidence être approfondis. Il ne suffit pas en effet de décrire des futurs possibles, ni même de les hiérarchiser du point de vue de leur probabilité. Il faut analyser précisément les conditions de leur apparition et de leur développement, qu'il s'agisse des conditions techniques (et l'on retrouve donc ici la nécessité d'une collaboration plus étroite des spécialistes des sciences exactes et des sciences sociales), des conditions économiques, du contexte politique, etc. Les scénarios doivent aussi s'efforcer de prévoir à quels moments et en quels termes les orientations déterminantes devront être prises, et les mesures politiques qui devront alors être adoptées.

De nouvelles recherches doivent également être engagées pour couvrir des champs qui n'ont pas été jusqu'alors explorés (les transports interurbains de voyageurs par exemple, ou les transports de marchandises).

3. Un nouvel élan doit donc être donné aux travaux prospectifs dans le domaine des transports. Plus largement, ces travaux doivent même déborder le champ des transports et concerner les changements majeurs de toutes origines (démographique par exemple...) auxquels notre pays, et plus généralement notre planète (car le comportement des pays en développement en matière d'émission des gaz à effet de serre jouera un rôle déterminant), seront confrontés et les conséquences qui en résulteront dans le champ des transports.

Il suppose sans doute que des moyens lui soient consacrés, mais plus encore qu'une organisation prenne en charge et coordonne les efforts.

Il nous semble en effet nécessaire que le programme de travail qui devrait résulter des propositions formulées ci-dessus soit en effet pris en charge par une structure à créer ou une structure existante à renforcer qui soit à la fois :

- un centre de ressources, qui réunisse les quelques spécialistes apportant leur expertise, garantissant la qualité des travaux et constituant le « noyau » de la réflexion,
- le centre d'animation du réseau plus large de ceux qui seraient appelés à participer à ce programme.
- un lieu de valorisation et de débat autour des résultats des travaux prospectifs qu'il contribuerait à développer.

ANNEXES

MANDAT DU GROUPE DE TRAVAIL

Le groupe de travail « prospective sur les transports » fait un état de l'art de la prospective sur les transports (méthodologies et champ d'études), à travers des débats avec des experts présentant leurs travaux de recherche.

La valeur ajoutée de cette réflexion collective sera d'identifier les questions-clés qui déterminent l'avenir des transports en général, ou celui de champs plus particuliers (les transports de marchandises, les transports urbains...). Il s'agira de mettre l'accent sur les variables essentielles, de toute nature (technologiques, économiques, sociologiques et organisationnelles, voire politiques), auxquelles renvoient ces questions, en soulignant les incertitudes des connaissances actuelles quant à l'évolution de ces variables, et donc en mettant en lumière la nécessité d'étudier ces questions et d'analyser ces variables dans une approche délibérément prospective.

Le résultat du travail du groupe ainsi orienté sera un rapport destiné à la communauté scientifique, pouvant servir de support à un appel d'offres. Il devrait à la fois cibler les travaux attendus sur les questions-clés identifiées et formuler une problématique prospective en soulignant ce qui fait la spécificité d'une telle approche et en rappelant les méthodes qui en fondent la légitimité scientifique.

COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL

Président, rapporteur général

Maurice Bernadet, professeur à l'université de Lyon II

Rapporteur des séances du groupe de travail

Catherine Côme, chargée de mission, Ecrin

Membres

Jacques Bouttes, ex président du club Transports, Ecrin

Daniel Cadet, directeur adjoint, direction des relations extérieures, Alstom transports

Gérard Cambillau, adjoint au directeur prospective, direction recherche et technologie, SNCF

André Cayol, enseignant-chercheur, université de technologie de Compiègne

Jean-Noël Chapulut, ingénieur en chef, conseil général des ponts et chaussées, ministère de l'Équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer

Anne-Marie Chemali, ingénieur, EDF

Jean-Pierre Chenais, retraité, ex directeur technique Alstom transports

Françoise Duchezeau, déléguée générale écologie urbaine et développement durable, RATP

Michel Frybourg, professeur au Conservatoire national des Arts et métiers, membre de l'Académie des technologies

Jean-François Gruson, ingénieur, direction stratégie-économie-programme, IFP

Jean-Paul Hermann, secrétaire exécutif à la recherche, Renault

Jean-Luc Lesage, sous-directeur, direction générale de l'aviation civile

Michel Mercardier, SNCF, ex chef de la mission prospective

Alain Morcheoine, directeur de l'aviation et des transports, Ademe

Nicole Muhlrاد, directeur de recherche, Inrets

Olivier Paul-Dubois Taine, ingénieur général des Ponts et chaussées, ministère de l'Équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer

Jean-Michel Kail, chargé de mission, conseil général des ponts et chaussées, ministère de l'Équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer

Jacqueline Lecourtier, directeur scientifique, IFP

Jean-Jacques Vollmer, directeur recherche et développement Europe, Fédération des industries des équipements pour véhicules

François Warnier de Wailly, ingénieur, direction de la stratégie, RATP

Francis Yguel, chargé de mission, département sciences pour l'ingénieur, Centre national de la recherche scientifique

AUDITIONS

Bertrand Chateau, président directeur général, Enerdata

Peter Wiederkehr, administrateur, direction environnement, OCDE

Yves Crozet, directeur du laboratoire d'économie des transports, vice-président de l'université Lyon 2

Georgia Plouchart, ingénieur chargé d'études, IFP

Daniel Le Breton, responsable du département transports et énergie, direction de la stratégie et du développement, Total raffinage et marketing

Philippe Bourgeois, chef de projet, Minefi

Jean-Claude Griesemann, chef de groupe de recherche, Renault

Alain Faure, chercheur CNRS au Centre de recherches sur le politique, l'administration, la ville et le territoire (CERAT) - Institut d'études politiques de Grenoble

Jean-Marc Offner, directeur, laboratoire techniques, territoires et sociétés (LATTS), ENPC

Jean-Luc Ygnace, ingénieur de recherche, Inrets

Claude Lamy, professeur, faculté des sciences, Poitiers

FICHES DE SYNTHÈSE DES EXERCICES DE PROSPECTIVE AUDITIONNÉS

TRANSPORTS, ÉNERGIE ET CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES EN FRANCE À L'HORIZON 2030 : APPORTS DE L'APPROCHE « BACK-CASTING » À LA FORMULATION DES STRATÉGIES TECHNOLOGIQUES ET ORGANISATIONNELLES : SCENARIOS POUR LA FRANCE

Par Bertrand Chateau
Enerdata

CONTEXTE GÉNÉRAL

Menée dans le cadre du programme prospective du Predit 1996-2000, l'étude d'Enerdata a pour objectif d'établir la chronologie nécessaire des changements technologiques et organisationnels à 2030, et de mesurer les implications pour la France du respect des critères de viabilité de l'OCDE.

MÉTHODOLOGIE

Cette étude utilise une méthode téléologique (ou back-casting), déjà utilisée dans le cadre d'une étude sur les transports soutenable spécifique à l'arc alpin organisée pour l'OCDE.

SCENARIOS ET CONCLUSIONS

- Le scenario BAU (business as usual) éloigne fortement le système de transports de la soutenabilité environnementale.
- Le critère le plus difficile à atteindre est celui sur le CO₂, dans tous les cas de figure.
- La percée technologique est nécessaire mais non suffisante pour atteindre l'ensemble des critères ; la production d'électricité reste un problème majeur.
- La gestion de l'offre et de la demande de transports est également nécessaire mais non suffisante pour atteindre l'ensemble des critères ; c'est l'option la plus délicate.
- La soutenabilité des transports peut être réalisée par la combinaison des changements de gestion du transport et des améliorations technologiques. La production d'électricité reste un problème.

COMMENTAIRES DU GROUPE DE TRAVAIL

- 2030 est un horizon « facile » à imaginer (en fonction des technologies prêtes à aboutir), mais un peu court par rapport aux ambitions des objectifs.
- Les prévisions sont une des grandes questions sur lesquelles le groupe de travail a achoppé, en particulier les prévisions de trafic (élasticité constante du PIB ou élasticité dynamique ?).
- Il n'y a pas d'analyse du champ des possibles sur la demande de transports de marchandises et de passagers.
- L'absence de système de pondération des mesures, des impacts de ces mesures sur les acteurs économiques, de leur positionnement concurrentiel, des prix et des coûts, rend difficile l'analyse de la viabilité des stratégies.

- Des éléments du système transports sont absents de l'étude d'Enerdata :
 - L'étude de la demande : le modèle utilisé a essentiellement deux dimensions - organisation et technologie. Sociologues et économistes n'ont pas été sollicités.
 - Le jeu des acteurs.
 - La sécurité.
 - La dynamique économique (globalisation).
- Il conviendrait d'examiner la sensibilité des résultats aux différentes hypothèses utilisées, en faisant varier ces dernières.

LE PROJET « ENVIRONMENTALY SUSTENAIBLE TRANSPORT » (EST)⁸ DE L'OCDE

Par Peter Wiederkehr
Administrateur, direction environnement, OCDE

CONTEXTE GÉNÉRAL

En 1998, les ministres de l'environnement des pays membres de l'OCDE ont demandé à l'OCDE de mettre au point des orientations axées sur des transports écologiquement viables. Pour y répondre, le sous-groupe sur les transports de l'OCDE, piloté par Peter Wiederkehr, a élaboré une liste de grandes orientations visant à relever le défi du transports écologiquement viable des personnes et des marchandises. Douze pays ont participé activement à ce programme, douze autres étant également impliqués.

Les orientations TEV constituent l'aboutissement des « principes et orientations stratégiques relatives aux transports durables » approuvées par la conférence de l'OCDE « Vers les transports durables » tenue à Vancouver en 1996. Ces orientations ont été approuvées à la conférence de l'OCDE qui s'est tenue du 4 au 6 octobre 2000 à Vienne sur le thème « les transports économiquement viables - perspectives, stratégies et meilleures pratiques ».

MÉTHODOLOGIE

Cette étude utilise une méthode téléologique (ou back-casting). La méthode backcasting consiste à prendre comme point de départ la définition d'objectifs concrets à long terme (30/50 ans), puis à développer des liens avec la situation actuelle.

L'objectif visé étant ici les transports écologiquement viables, le travail de recherche consiste à examiner de quelle panoplie d'instrument on dispose pour atteindre cet objectif.

Il y a une infinité de combinaison possibles, mais le cheminement est toujours à peu près le même : on regarde d'abord ce que l'on peut tirer de la technologie, puis on considère l'efficacité différentielle des modes, l'efficacité logistique, le solde étant obtenu par une diminution de la mobilité (contrainte et non pas choisie).

SCENARIOS ET CONCLUSIONS

Les conclusions de ce programme, qui regroupe des études de cas très détaillées, sont préoccupantes : l'évolution du parc des véhicules à moteur va connaître un taux de croissance très aigu entre 1990 et 2030, de même, les distances parcourues par les véhicules motorisés dans les régions de l'OCDE devraient progresser de près de 40 % d'ici à 2020 tandis que le volume des transports aériens mondiaux devraient tripler.

Sous l'effet de cet accroissement et de la hausse de la consommation d'énergie, les rejets de gaz à effet de serre augmentent et l'on prévoit d'ici à 2020 une hausse d'environ 33 % des émissions totales de CO₂ dans les pays de l'OCDE en l'absence de modifications des politiques actuelles, ce qui est loin de l'objectif général du protocole de Kyoto qui prévoit avant 2008-2012 une réduction de 5 % des émissions de gaz à effet de serre par rapport aux niveaux de 1990 pour les pays de l'annexe I.

⁸ Traduit par « transports écologiquement viable » (TEV).

Afin d'inverser ces tendances non viables, quatre critères de viabilité écologiques sont énoncés : régénération, substituabilité, assimilation, prévention des effets réversibles.

La principale conclusion de ce programme est que les progrès technologiques ne seront jamais suffisants pour maîtriser l'accroissement des effets environnementaux découlant d'une augmentation des transports. L'effort devra porter autant sur la gestion de la mobilité que sur la technologie. Les premiers moyens envisagés sont : l'efficacité énergétique (20 %), puis les technologies poussées (20 %). Reste 40 % pour atteindre les objectifs à répartir entre répartition modale, amélioration logistique, taille des véhicules, normes (les normes actuelles sont un compromis entre une acceptabilité économique et politique et les normes de l'OMS⁹)...

La répartition modale est un des moyens pour atteindre les TEV : pour atteindre un développement durable, il faut rééquilibrer voitures particulières et transports en commun pour les passagers et inverser la tendance pour le fret marchandise (augmentation du fret rail et diminution des poids lourds, majoritaires actuellement).

COMMENTAIRES DU GROUPE DE TRAVAIL

Les questions et objections soulevées portent sur :

- Les aspects méthodologiques et économétriques : la non-différenciation des niveaux locaux/régionaux/globaux peut engendrer une confusion, les moyens technologiques mis en oeuvre n'ayant pas les mêmes impacts à ces différents niveaux.
- Le découplage de la croissance et des transports, présenté comme un résultat et non comme un objectif.
- Les problèmes d'incertitudes sur les prévisions (les modèles de perturbation utilisés dans d'autres modèles économiques n'ont pas été pris en compte).
- Les limites du champ géopolitique couvert et l'exportabilité des préconisations hors de ce champ (non prise en compte des pays hors OCDE, et notamment des EU).
- La validité de l'objectif « développement durable » visé : le calendrier fixé est-il réaliste ?

⁹ OMS : organisation mondiale de la santé.

MOBILITÉ URBAINE : CINQ SCENARIOS POUR UN DÉBAT

Par Yves Crozet

Directeur du laboratoire d'économie des transports, vice-président de l'université Lyon 2

CONTEXTE GÉNÉRAL

L'exercice présenté constitue l'un des premiers volets de la réflexion engagée par le centre de prospective et de veille scientifique de la Drast sur la prospective de la mobilité. Fruit de la réflexion collective d'un groupe d'une dizaine d'experts (dit « groupe de Batz »), qui s'est réuni une dizaine de fois en 2000-2001, cet exercice de prospective a pour objectif de déterminer les principales tendances de l'évolution de la mobilité urbaine à 2020, en comparant différentes options possibles de politiques ou d'interactions entre acteurs publics et privés.

MÉTHODOLOGIE

Le groupe d'experts a choisi de sortir des deux approches classiques de la prospective qui consistent soit à anticiper des tendances à partir d'hypothèses sur le contexte (forcasting), soit à reconstituer le cheminement vers un objectif fixé comme une contrainte (backcasting).

Ici, il ne s'agit pas de déterminer l'impact possible sur la mobilité de variables multiples - comme la croissance, la démographie, les modes de vie, l'urbanisation ou le prix de l'énergie - mais de rechercher des leviers stratégiques et de tester la plausibilité ou les conditions de mise en oeuvre d'outils ou de principes d'action allant jusqu'au bout de leur logique, d'où l'idée d'images caricaturales (scenarios de moyens et non de finalité).

Les critères de différenciation des cinq scenarios obtenus se font sur la base de questionnements très simples : souhaite-t-on ou pas maîtriser la mobilité ? Fait-on confiance aux comportements individuels ou aux régulations publiques pour le faire ?

SCENARIOS ET CONCLUSIONS

L'hypothèse qui a prévalu lors de l'élaboration de scénarios de mobilité urbaine est celle d'une double contrainte : maintien de la croissance économique d'une part et augmentation des contraintes environnementales d'autre part.

- Le scenario 1, *homo technicus*, est celui du volontarisme technologique qui peut être résumé par les idées de continuité par rapport aux tendances actuelles, de faisabilité et d'acceptabilité des progrès techniques.
- Le scenario 2, *homo oeconomicus*, se fonde sur l'impuissance des technologies pour réduire les atteintes à l'environnement et sur l'absence de volonté politique. Il aboutit à la tarification comme outil principal de régulation.
- Le scenario 3, *homo contractor*, se fonde sur la maîtrise de la mobilité par des transactions privées, avec la mise en place d'un marché des droits à circuler (logique libérale).
- Le scenarios 4, *homo politicus*, est celui de la maîtrise de la mobilité par une transaction urbaine, essentiellement locale.

Une fois établis ces quatre scenarios, qui balayent de façon contrastée le champ des possibles, le groupe d'experts de la Drast en a proposé un cinquième, « plus nuancé et plus réaliste », qui combine des éléments empruntés aux quatre scenarios précédents.

- Le scénario 5, *homo civis*, envisage innovations et stratégies locales pour une mobilité soutenable. Sont ainsi considérés : la mobilité et les nouvelles relations au temps et aux territoires, les services de la mobilité, la soutenabilité de la mobilité, la dépendance à l'automobile, la recomposition institutionnelle et les jeux d'acteurs.

COMMENTAIRES DU GROUPE DE TRAVAIL

- Ces travaux conduisent à mettre beaucoup plus l'accent sur les sciences politiques qu'il ne l'est fait généralement en matière de prospective sur les transports.
- Il paraîtrait intéressant de compléter ce travail par un exercice de backcasting, permettant, tout au moins au niveau des technologies et de nos connaissances quant à leur potentialités sur le court et le moyen termes, d'évaluer les difficultés de réalisation et à tout le moins les « verrous technologiques » à lever pour chacun des scénarios à long terme présentés.

L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE L'EXPLOITATION DES RESSOURCES NON CONVENTIONNELLES

Par **Georgia Plouchart**
Ingénieur chargé d'études, IFP

CONTEXTE GÉNÉRAL

Dans le cadre du Club « énergie, prospective et débats » du Commissariat général du Plan, présidé par Benjamin Dessus, une étude concernant la raréfaction des ressources fossiles a été réalisée. Elle a montré que la raréfaction et l'épuisement des ressources fossiles ne constituaient pas un problème vu l'importance des ressources non-conventionnelles qui viendraient se substituer aux ressources conventionnelles, du fait de la continuité technique et économique entre ressources fossiles conventionnelles et non-conventionnelles et du très fort potentiel d'interchangeabilité entre les sources fossiles. En revanche, les objectifs futurs de réduction des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère pourraient limiter l'utilisation de ces ressources.

Dans cette perspective, il a été demandé à l'IFP de réaliser une étude visant à analyser, en terme d'émissions de CO₂ et de consommations énergétiques, les filières conventionnelles et non-conventionnelles de production de carburants à partir de ressources fossiles. L'étude examine donc selon ces deux critères :

- l'évolution potentielle des énergies fossiles vers des ressources fossiles non conventionnelles (huiles lourdes et extra-lourdes, bitumes, schistes bitumineux, hydrates de gaz et gaz de charbon) ;
- la capacité d'interchangeabilité des ressources fossiles pour produire un même carburant (gazole ex-gaz et ex-charbon...);
- et enfin, la possibilité d'utiliser des carburants de haute qualité (carburants conventionnels très peu soufrés) et de substitution (DME, GPL, GNv), et celle de mettre sur le marché des véhicules à révolution technologique (pile à combustible).

Cette étude cible exclusivement les carburants destinés aux véhicules. Elle pourrait cependant s'étendre aux combustibles destinés à la production d'électricité, de chaleur ou de gaz de ville.

MÉTHODOLOGIE

La question posée est de savoir si la mise en œuvre de ces nouvelles ressources risque de se heurter à des problèmes environnementaux plus importants que la mise en œuvre des ressources traditionnelles.

L'étude de l'IFP n'a concerné que l'usage de carburants divers fabriqués à partir des ressources conventionnelles (pétrole brut, gaz naturel) ou de ressources nouvelles (charbon, pétroles lourds, schistes, hydrates de gaz, etc.).

La méthode a consisté à décrire l'ensemble des étapes nécessaires depuis l'extraction de la ressource jusqu'à la mise à disposition aux « roues » des véhicules.

L'étude a été réalisée en deux temps :

- tout d'abord une étape de mise à disposition au véhicule d'un carburant à partir des différentes sources et l'appréciation des consommations intermédiaires et des émissions associées ;
- par la suite, une étape d'utilisation des carburants par les véhicules avec l'appréciation des consommations de carburant et des émissions associées.

Les performances énergétiques et environnementales sont le résultat de l'ensemble de ces deux étapes.

SCENARIOS ET CONCLUSIONS

L'étude de l'IFP montre que la transformation de combustibles fossiles comme le charbon ou les schistes bitumineux en carburants liquides ou en hydrogène, s'accompagne d'émissions de CO₂ nettement supérieures à celles engendrées par le raffinage du brut conventionnel (un rapport 1,5 à 3 selon les filières). Seul le gaz naturel permet d'obtenir ces carburants avec des performances d'émission de CO₂ acceptables. Cette étude confirme donc que l'usage de ressources non conventionnelles, pourtant abondantes, sera très probablement limité par les émissions de CO₂.

COMMENTAIRES DU GROUPE DE TRAVAIL

- Cette étude constitue plus un exercice de projection qu'un travail de prospective (en particulier, absence d'hypothèses sur des améliorations technologiques, pour le charbon par exemple).
- Les critères d'évaluation choisis sont uniquement techniques (rendement énergétique et émission de CO₂). Les critères économiques ne sont pas pris en compte.
- Le point le plus étonnant de cette étude : les bons résultats obtenus avec le gaz naturel.

PROSPECTIVE ÉNERGÉTIQUE : LES CARBURANTS ALTERNATIFS

Par Daniel Le Breton

Responsable du département transports et énergie,
direction de la stratégie et du développement, Total raffinage et marketing

CONTEXTE GÉNÉRAL

Les carburants alternatifs aujourd'hui existent sous une forme marginale (2% du marché mondial des transports en 1998). Majoritairement utilisés près de leur site de production à cause des contraintes logistiques, ils ont besoin d'incitations économiques pour se développer et sont victimes des disparités entre les législations nationales des carburants ou de l'absence de législation adaptée.

Ils peuvent cependant avoir localement une place significative et sont au coeur des préoccupations actuelles (cf. les projets européens). Le marché des transports est prévu en forte croissance à 2020 (+ 2,5 %, la route ayant la part la plus importante), ainsi que la pétrochimie (+ 2,5 %).

Si les consommations de la Chine, de l'Inde et du reste du monde augmentent, le pétrole est-il suffisant ? Comment s'envisage dans ce contexte évolutif l'avenir des carburants alternatifs ? Quelle sera en 2020 la place des ressources alternatives ?

MÉTHODOLOGIE

L'étude présentée est plus une projection à 2020 qu'une prospective : sont considérés les principaux marchés, la mobilité à l'échelle mondiale, les projets européens, le cycle de vie des carburants.

SCENARIOS ET CONCLUSIONS

- Les ressources alternatives ne peuvent quitter leur niveau de niche dans les transports qu'à un prix élevé. D'où l'intérêt du législateur pour identifier des voies de progrès par la réglementation (projets européens).
- Les ressources alternatives ont un potentiel dans la fourniture d'énergie primaire, domaine où les gains d'émission de GHG sont les plus sensibles à court terme.
- Dans les transports, elles risquent de rester confinées à quelques pourcentages du marché.
- Le R&D doit rester ouverte à l'examen de toutes les potentialités, l'avenir reste incertain (hydrogène).
- On ne peut oublier le client dans ce débat, lui qui attend une ressource sûre, bon marché, facilement accessible.

COMMENTAIRES DU GROUPE DE TRAVAIL

Les questions d'ordre politique - quel est le lien entre les affirmations politiques, la technique et les stratégies des entreprises pétrolières ? - n'ont pas été abordées et mériteraient d'être incluses dans une réflexion de type prospective.

LES TECHNOLOGIES CLEFS DANS LES TRANSPORTS - 2005

Par Philippe Bourgeois
Chef de projet, Minefi

CONTEXTE GÉNÉRAL

Réactualisation d'une première étude parue en 1995, les « 100 technologies-clés pour l'industrie française à l'horizon 2005 » ont pour objectif d'aider les entreprises à définir les technologies qu'elles doivent développer et maîtriser et d'aider les pouvoirs publics à définir et mettre en œuvre la politique technologique et à mobiliser les acteurs industriels autour des technologies identifiées. Dans cette perspective, cet exercice tente de répondre à trois questions : Quelles sont les technologies importantes pour l'industrie française ? Quelle est la position française sur ces technologies ? Quelles doivent être les priorités technologiques ?

MÉTHODOLOGIE

La méthode utilisée, dite « en entonnoir », consiste à partir d'un brainstorming d'experts, et à effectuer, au moyen d'un certain nombre de filtrages successifs et d'un travail de hiérarchisation (selon la méthode « attrait, atouts, facteurs clefs de succès », utilisée en stratégie), une sélection des données pertinentes.

Ce travail a été réalisé par huit groupes composés de 12 membres, un panel d'experts et un comité de pilotage. Il en a résulté une liste hiérarchisée et argumentée de technologies clefs ainsi qu'un rapport avec des recommandations.

SCENARIOS ET CONCLUSIONS

Dans pratiquement tous les domaines, y compris dans le domaine des transports, on voit une montée en puissance de l'électronique et des TIC. Les transports sont un intégrateur de technologies extraordinaire puisqu'ils prennent en compte la moitié des technologies clefs recensées. Ceci est également un indicateur de la complexité du secteur.

Les principales tendances sont :

- L'importance croissante de l'électronique (composants électronique de moyenne puissance ; architectures électroniques).
- La montée en puissance des TIC, que ce soit au niveau du véhicule (véhicule « intelligent » et « communicants ») ou du système productif (design sensoriel, outils d'aide à la créativité, offre de produit à base de réalité virtuelle, représentation de la perception du consommateur).
- La place grandissante du logiciel, notamment « embarqué » (sûreté des systèmes embarqués et des infrastructures).

L'enjeu fondamental pour les transports est donc de gérer à la fois la complexité croissante des technologies utilisées et de baisser les coûts. Un autre enjeu est de mettre en place des nouvelles organisations industrielles, avec des structures qui puissent s'adapter aux NTIC.

COMMENTAIRES DU GROUPE DE TRAVAIL

- L'étude du Minefi a essentiellement pris en compte les besoins du marché. Or, dans le secteur des transports, on gagnerait à introduire une prospective sociétale (par exemple, pour traiter la question du recyclage, qui est un élément clef du système transports).
- D'autres facteurs mériteraient d'être davantage intégrés : le temps de validation des technologies, leur temps de maturation, qui est différent d'une technologie à l'autre (d'où l'importance du rôle des pouvoirs publics), leur capacité d'intégration dans la chaîne existante.

LES CARBURANTS ALTERNATIFS : UNE STRATÉGIE POUR UNE MOBILITÉ SOUTENABLE EN 2020

Par Jean-Claude Griesemann
Chef de groupe de recherche, Renault

CONTEXTE GÉNÉRAL

Les résultats présentés sont le fruit d'un travail mené par le consortium composé de Eucar, organisation de recherche des constructeurs européens, du Concawe, organisme de recherche environnementale de l'industrie pétrolière et du Joint research center de la Commission européenne à Ispra, sur les carburants alternatifs, qui intéressent l'industrie dans la mesure où ils permettent de satisfaire les niveaux d'émission les plus bas, au moindre coût, sans contribution détrimentale à l'effet de serre et dans une perspective économique réaliste.

MÉTHODOLOGIE

L'étude repose sur l'étude des bilans énergétiques et émetteurs de gaz à effet de serre détaillés de chaque filière permettant la production et la distribution de carburants à partir des diverses matières premières envisageables. La contribution des véhicules utilisant ces carburants est calculée par le modèle de simulation numérique Advisor. La synthèse des émissions et consommations énergétiques est réalisée par tableur et présentée sous forme graphique. Les coûts sociétaux inhérents au développement des diverses filières sont rapportés au bénéfices induits en termes d'économies annuelles de gaz à effet de serre relâchés.

SCENARIOS ET CONCLUSIONS

- L'hydrogène n'est pas une ressource mais un vecteur et reste une option futuriste pour laquelle les technologies d'exploitation restent à développer : les motorisations à hydrogène sont néfastes à l'effet de serre tant que ce gaz est produit à partir du gaz naturel.
- Les biocarburants sont maintenant bien établis.
- Les GPL sont utilisés aux Pays-Bas, en Italie. Ils sont en stagnation.
- Le gaz naturel est une technologie en cours de diffusion et de développement mais ne nécessite pas une recherche fondamentale universitaire. Ses bénéfices en termes de gaz à effet de serre approchent ceux apportés par les Diesel.
- Les carburants de synthèse (synfuels), provenant du vaporeformage du gaz naturel (Fischer Tropsch) sont sans soufre et sans aromatiques. Dans les moteurs Diesel, qui voient leurs performances limitées par l'apparition de fumées, ils peuvent apporter un degré de liberté supplémentaire. Ils peuvent surtout permettre de progresser vers l'usage des carburants de synthèse obtenus par gazéification de la biomasse (sunfuels).
- Les Bio GTL («biomass to liquids ou «sunfuels») sont produits par gazéification de la biomasse inutilisée. Ils permettent une économie de CO₂ globale et un effet immédiat sur l'ensemble du parc de véhicules Diesel sans technologie spécifique (process décrit dans une étude publiée par le CEA en 2001). Sources envisagées : les résidus forestiers et taillis à rotation rapide ou les plantes.

Conclusions générales

- La voie des synfuels/sunfuels serait la plus immédiate pour réduire les émissions de CO₂ provenant des véhicules Diesel en circulation. Ces carburants de synthèse pourraient être une partie de la solution.
- Les constructeurs associés à Eucar estiment qu'en 2030, une part majoritaire des énergies utilisées sera composée des carburants d'origine pétrolière, une part qui pourrait devenir sensible en provenance du gaz naturel et de la biomasse. Ils n'excluent pas une apparition d'hydrogène, mais pas de façon sensible avant 2020.

LES POLITIQUES PUBLIQUES À L'ÉPREUVE D'ÉQUATIONS TERRITORIALES INÉDITES

Par Alain Faure

Chercheur CNRS au Centre de recherches sur le politique, l'administration, la ville et le territoire (CERAT), Institut d'études politiques de Grenoble

CONTEXTE GÉNÉRAL

Dans les années 70-80, la France a développé la planification avec une forte prise en compte de problématiques d'aménagement du territoire. La prospective fait avancer les sciences politiques, avec un rôle prépondérant du commissariat général du plan où se construisent les référentiels en matière de politique publique.

Aujourd'hui, ce schéma est en voie d'épuisement : sur des thématiques plus floues, comme l'environnement ou la culture, ce modèle ne fonctionne pas et la multiplication des acteurs brouille les cartes. On assiste ainsi à une crise des référentiels, qui ne sont plus produits uniquement par l'état mais aussi par d'autres acteurs, notamment les élus locaux.

MÉTHODOLOGIE

Non précisée.

SCENARIOS ET CONCLUSIONS

L'acteur qui demain pèsera énormément sur les décisions publiques sera les agglomérations. On assiste à une montée en puissance des agglomérations, en tant que territoires politiques souverains (cf. la façon dont les communautés d'agglomérations se sont saisies de la politique culturelle).

Jusqu'à présent le discours normatif pointait le problème du décalage entre la décision et sa mise en œuvre. Actuellement, le discours est : « il y a des difficultés dans la construction de problèmes, à partir du moment où ils ne sont plus donnés d'en haut, où il faut les co-construire ».

COMMENTAIRES DU GROUPE DE TRAVAIL

- Les enjeux dans le domaine des transports sont nationaux et internationaux : si la planète est fractionnée en agglomérations, avec des maires tout-puissants, comment les problèmes vont-ils être résolus ?

L'ACTION PUBLIQUE LOCALE EN QUÊTE D'EXPERTISE

Par Jean-Marc Offner

Directeur, laboratoire techniques, territoires et sociétés (LATTs), ENPC

CONTEXTE GÉNÉRAL

Jean-Marc Offner, livre les principales conclusions des recherches qu'il a menées dans le cadre du Predit (« Recherches stratégiques ») : aujourd'hui, force est de constater qu'en matière de transport et de déplacement, l'expertise est inadaptée ou lacunaire, et en déphasage avec l'action publique. Pourquoi les politiques s'intéressent peu aujourd'hui au secteur des transports ? Ils s'y sont intéressés quand les transports étaient un secteur complet. Aujourd'hui, les politiques s'intéressent à la santé, à la culture, à l'environnement car cela leur permet d'élaborer un nouveau modèle de décision publique dont les mots clefs sont : gouvernance, partenariat, négociation, etc. à l'opposé du modèle précédent. Les transports, qui ne sont plus dans l'ancien modèle sectoriel et pas encore dans ce nouveau modèle se trouvent donc en désherence.

MÉTHODOLOGIE

Non précisée.

SCENARIOS ET CONCLUSIONS

- Dans le domaine des transports, il y a une dichotomie entre les procédures formelles d'évaluation de projet et la réalité des processus de décision, qui ont leur logique propre. D'où une triple crise de la décision :
 - difficulté d'intégration des préoccupations montantes (notamment environnementales),
 - relativisation de la parole autorisée de l'expert,
 - montée de la conflictualité lors de la mise en œuvre de projets (ex : TGV Méditerranée).
- L'expertise en matière de planification est lacunaire : il y a une faiblesse du diagnostic et de la problématisation locale. Il semble qu'en France, on ne sache pas très bien faire d'évaluation a posteriori.
- Aujourd'hui, les grilles d'analyse qui permettraient de faire émerger les problèmes correspondants n'existent pas. Or l'un des enjeux de l'expertise publique est de passer de l'incertitude à la stratégie : la prospective a un rôle à jouer dans ce processus.
- Les transports manquent d'un milieu professionnel (ex : la relation bureau d'étude/université existe partout dans le monde sauf en France).

PROSPECTIVE DES NOUVELLES TECHNOLOGIES DANS LE DOMAINE DES TRANSPORTS ET SERVICES À LA MOBILITÉ : LE CAS DES SYSTÈMES DE TRANSPORTS INTELLIGENTS

Par Jean-Luc Ygnace
Ingénieur de recherche, Inrets

CONTEXTE GÉNÉRAL

Jean-Luc Ygnace livre ses réflexions sur le concept des transports intelligents (TI). Ce concept, né dans les années 80/90, n'est pas unitaire ni continu dans le temps : il s'agit plutôt d'une vision, d'un « mythe » destiné à présenter les nouvelles technologies du transport et la manière dont elles vont pouvoir résoudre un certain nombre de problèmes : congestion, sécurité, environnement, - et favoriser le développement du marché. C'est donc un concept qui varie avec les cycles économiques et les traits culturels des économies.

MÉTHODOLOGIE

Pour définir les TI et ce qu'ils seront dans 20 ans, Jean-Luc Ygnace analyse ce qu'en disent les acteurs. Par ailleurs, à partir d'une analyse de la présence ou l'absence de ces acteurs, environ 700 administrations, organismes de recherche et universités, entreprises et industries privées, au sein des instances - françaises, européennes, américaines - représentatives du domaine, il déduit les stratégies mises en place et en dégage des tendances et évolutions possibles pour les TI.

SCENARIOS ET CONCLUSIONS

- Les acteurs les plus impliqués dans les TI sont d'une part l'industrie électronique, audio, video télécom (25 %), d'autre part les SSII, publicitaires et consultants (21 %).
- Le lobbying automobile est plus fort en France qu'aux États-Unis (où le marché est partagé entre trois constructeurs).
- Les universités européennes (hors RU) n'investissent pas ce domaine, contrairement aux universités japonaises et américaines.

Conclusions

- Aucune société ne vit des TI actuellement (hormis quelques consultants, entreprises de communication et starts up).
- En revanche, des offres d'emploi liés à l'ITS (intelligent transportation system) apparaissent aux États-Unis ce qui laisse augurer que le concept et le domaine existe.
- Le passage de la recherche au produit n'est pas simple : le système de guidage de Renault a été un échec ; le régulateur d'allure adaptative, ou ACC (adaptative cruise control), est toujours à l'état de prototypage. Les TI sont un objet technique replacé dans une dynamique où de nombreux acteurs sont concernés (recherche, constructeurs, pouvoirs publics, marché).
- Actuellement, l'enjeu des TI est plus d'aider les administrations à définir des politiques : c'est une culture du moment qui permet de justifier des actions. On est donc assez loin d'une démarche prospective.

COMMENTAIRES DU GROUPE DE TRAVAIL

- Les recherches menées par l'université de Berkeley aux États-Unis n'ont pas donné les résultats escomptés ; en revanche, elles ont permis à l'université de recevoir un budget de 6 millions de dollars de la Défense pour faire des recherches sur les flottes d'hélicoptères sans pilotes. La recherche dans le domaine des TI a donc toujours une retombée, même si ce n'est pas celle que l'on attend.
- L'objet technique existe en lui-même mais il peut y avoir des lectures très différentes de cet objet. L'objet technique ouvre des espaces possibles, certains sont investis, d'autres pas. Comprendre son utilisation dans la société de demain demande des études sociétales, économiques, politiques.
- La dimension psycho-sociologique semble sous-estimée dans cette réflexion, l'utilisateur étant réduit au rôle d'acheteur.
- L'ITS ne semble pas avancer en fonction d'une logique scientifique et d'objectifs précis.

ÉTAT DES RÉFLEXIONS SUR LES PROGRAMMES FRANÇAIS ET ÉTRANGERS, ET SUR LE 6^E PCRDT CONCERNANT LES PILES À COMBUSTIBLES

Par Claude Lamy
Professeur, faculté des sciences, Poitiers

CONTEXTE GÉNÉRAL

- Face à l'augmentation du prix du pétrole et à l'aggravation des problèmes climatiques, il semble nécessaire de trouver des alternatives, que ce soit les véhicules hybrides ou les véhicules électriques, voire des véhicules roulant avec des carburants alternatifs. En ce qui concerne ces derniers, de nombreux travaux sont ou ont été réalisés : GPL, gaz naturel, sont les plus connus, mais il a aussi les carburants comme le DME (diméthylether), l'éthanol, le méthanol. L'utilisation de ces carburants, dont certains ne sont en général utilisés que comme additifs, ne permet de réduire qu'en partie les émissions.
- Une autre voie choisie est celle des véhicules électriques : ceux-ci ne sont pas une découverte récente, puisque le premier date de 1881, mais ce n'est qu'après les travaux faits sur les piles dans le domaine spatial et les crises pétrolières que les constructeurs automobiles commencèrent à s'intéresser vraiment à ce type de véhicules.
- Au cours des dix dernières années, les constructeurs automobile ont développé de nombreux prototypes. Le plus avancé est sans doute celui de Daimler Chrysler avec ses NECAR. Cependant, d'autres constructeurs automobiles sont également sur les rangs : General motors, Opel, Ford, Nissan, Toyota, Volkswagen et, en France, Renault et PSA.

MÉTHODOLOGIE

Non précisée.

SCENARIOS ET CONCLUSIONS

- Les piles à combustible sont pratiquement toutes à hydrogène, qui est la meilleure matière première pour alimenter la pile à combustible. L'utilisation de la pile à combustible dans les véhicules présente de nombreux avantages par rapport à une batterie classique - rendements énergétiques élevés, silencieux, non polluant - mais aussi des inconvénients : difficulté de stockage du gaz ou du liquide, coût élevé (utilisation de hautes technologies, matériaux précieux...). Par ailleurs, l'hydrogène, pour le moment, ne peut être stocké que sous forme gazeuse ou liquide, mais ces formes de stockage sont insuffisantes en termes de densité gravimétrique et volumétrique.
- D'autres technologies sont à l'étude : les hydrures métalliques, les nanotubes... dont on espère de meilleurs résultats en terme de volume, poids, sécurité et dépense énergétique ; elles sont cependant loin d'être mûres.
- Il reste encore de nombreux progrès à faire pour industrialiser la pile à combustible, en termes de :
 - infrastructure de production, de transports et de distribution ; type de combustible ; stockage/reformage ; éventuellement choix du carburant de transition ;
 - coût, place, poids et performances atteintes par le système.
- D'ici là, il sera sans doute nécessaire d'utiliser un carburant intermédiaire (essence, éthanol, méthanol...) dont on obtiendra de l'hydrogène par reformage à l'intérieur du véhicule.

Conclusions

- La révolution «PAC» n'est pas pour demain. Les constructeurs tablent plutôt sur 20 à 25 ans pour que des véhicules atteignent une part de marché intéressante ; mais, avec près de 60 millions de véhicules vendus chaque année, les 20 à 25 % espérés sont loin d'être négligeables.
- Les constructeurs ont souvent donné la date de 2004 comme celle du lancement de véhicules à piles. Dans les premières années, peu de véhicules seront produits : il s'agira de flottes captives plutôt destinées à des entreprises, des taxis avec un rayon de déplacement limité.

COMMENTAIRES DU GROUPE DE TRAVAIL

- La tendance est de dire que les problèmes seront résolus par la pile à combustible. Or, il s'agit d'une technologie complexe et très lourde. Le bilan complet n'est, actuellement, pas facilement réalisable.
- Le problème de la filière se pose, dans une approche prospective, et pas uniquement au niveau de la technologie. Le problème fondamental n'est pas seulement technique mais concerne également les coûts et l'économie de marché.

Destiné à la communauté scientifique, ce rapport est le fruit de la réflexion collective d'une vingtaine d'acteurs des transports. Le groupe de travail Prospective sur les transports d'Ecrin a réalisé, au cours d'une dizaine de réunions-débats où des experts ont présenté leurs travaux de recherche, un état de l'art de la prospective récente sur les transports (méthodologies et champ d'études). À partir de cet état de l'art, le rapport :

- identifie les questions-clés qui déterminent l'avenir des transports en général, ou celui de champs plus particuliers (les transports de marchandises, les transports urbains...),
- met l'accent sur les variables essentielles, de toute nature (technologiques, économiques, sociologiques et organisationnelles, voire politiques), auxquelles renvoient ces questions, en soulignant les incertitudes des connaissances actuelles quant à l'évolution de ces variables,
- met en lumière la nécessité d'étudier ces questions et d'analyser ces variables dans une approche prospective.

Il est librement téléchargeable sur le site Ecrin :
<http://www.ecrin.asso.fr/prospective/transport>

