

Temps de transport et vitesses : ce que nous apprend la conjecture de Zahavi

Yves Crozet ¹

¹Laboratoire Aménagement Economie Transport (LAET-CNRS), Lyon. E-mail : yves.crozet1@wanadoo.fr

Résumé :

Formulée il y a près d'un demi-siècle, la conjecture de Zahavi est plus que jamais d'actualité. Mais elle ne doit pas être réduite à l'idée que les budgets temps de transport (BTT) sont toujours d'environ une heure par jour comme si cela relevait d'une loi physique ou biologique. Si l'on parle de conjecture et pas de loi, c'est parce qu'il ne s'agit que d'une hypothèse de travail en forme d'effet de cliquet se traduisant par une double constance. Celle des BTT qui se stabiliseraient malgré la hausse de la vitesse de déplacement et celle de la part du budget monétaire affectée aux transports qui se maintiendrait à environ 15 % quel que soit le niveau de revenu. Dans les deux cas, il y aurait donc réinvestissement en distances accrues des gains de temps et/ou de pouvoir d'achat. Ce mécanisme permet de comprendre l'évolution de la demande de déplacements et l'enrichissement des programmes d'activités.

Ce travail doit être cité comme :

Yves Crozet (2026), Temps de transport et vitesses : ce que nous apprend la conjecture de Zahavi. *Encyclopédie en ligne de l'Association Française d'Economie des Transports (AFET)*. Septembre 2026.

Il y a près de 50 ans, Yacov Zahavi et Antie Talvitie (1980), chercheurs à la Banque Mondiale, ont construit un modèle de prévision de la mobilité des personnes en zone urbaine, en mettant l'accent sur deux contraintes auxquelles fait face une personne mobile : le temps disponible d'une part et le pouvoir d'achat d'autre part. Dans les deux cas, une constance serait à l'origine d'effets rebond sur l'espace-temps des mobilités.

Vitesse physique et constance du budget temps de transport

Le temps passé dans les transports est considéré par les économistes comme un coût. Pour un déplacement donné, une augmentation de la vitesse devrait donc réduire le budget temps consacré au transport (BTT). Or, **alors que la vitesse moyenne des déplacements a beaucoup progressé dans la seconde moitié du XXème siècle, les BTT des urbains semblent se maintenir à environ une heure par jour.**

En synthétisant plusieurs études conduites dans des villes de différents pays, Zahavi a constaté que les BTT étaient très élevés dans les villes du Tiers-Monde où les habitants se déplaçaient à pied. Mais dès que le taux de motorisation s'élevait, le BTT diminuait et convergeait vers une moyenne quotidienne d'une heure. La croissance de la vitesse de déplacement réduisait donc le BTT mais jusqu'à un plancher. Zahavi fit alors l'hypothèse que la relation entre la vitesse de déplacement et le BTT se résumait à l'équation suivante :

$$BTT = b + \frac{a}{V} \quad (1)$$

Le BTT par personne mobile varie en fonction de la vitesse (V) et des coefficients b et a .

- b correspond au temps minimum, estimé à un peu moins d'une heure, qu'un individu alloue au transport. **Cette constante n'est donc pas le résultat mais le point de départ du raisonnement**, ce qui explique que l'on parle de « conjecture » et pas de « loi » de Zahavi.

- a indique la vitesse de convergence¹ du BTT vers cette base d'une heure. En effet, si a est faible et si la vitesse augmente, le ratio $\frac{a}{V}$ devient négligeable et b constitue la quasi-totalité du BTT.

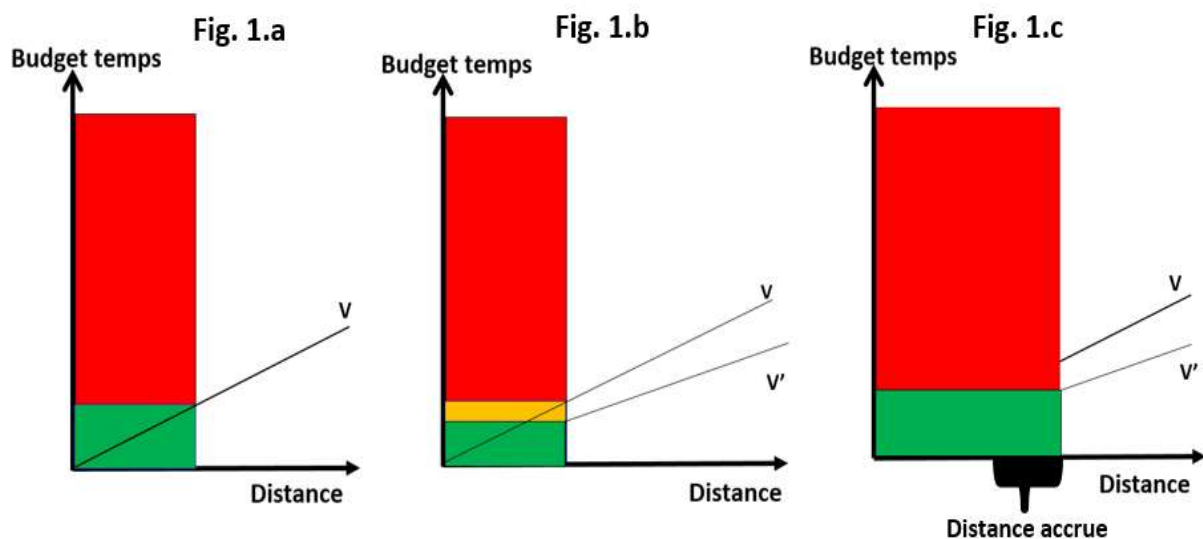
A lire trop rapidement ces lignes, on pourrait en déduire que lorsque la vitesse augmente, elle joue un rôle de plus en plus faible (si V tend vers l'infini $\frac{a}{V}$ tend vers zéro), au contraire de b qui est la constante décisive. Mais c'est le contraire qui est vrai. Si chacun est prêt à passer

¹ Dans ses travaux, Zahavi estime à 2 la valeur de a . Si $V = 5\text{km/h}$ (marche à pied), alors a/V est égal à 0,4 heure. Mais si $V = 30$, alors a/V n'est plus que de 0,066 heure soit 4 minutes. Faut-il rappeler que le temps est l'inverse de la vitesse, si la vitesse est de 20 km/h, alors il faut 3 minutes pour franchir un kilomètre.

une heure par jour à se déplacer, alors toute hausse de la vitesse se transforme en accroissement des distances parcourues. **Les gains de temps sont réinvestis dans une expansion de l'espace des mobilités** comme le résument les trois schémas de la figure 1.

- Dans la figure 1.a, le budget temps distingue le temps d'activité (en rouge) et le temps de transport (en vert). La vitesse, droite V , permet de parcourir une certaine distance.
- La figure 1.b imagine une vitesse accrue symbolisée par la droite V' . Il en résulte un gain de temps (rectangle jaune) qui réduit d'autant le BTT (en vert).
- La figure 1.c révèle que si le gain de temps est réinvesti en distance accrue, alors le BTT est constant tout comme le temps d'activité mesuré par la hauteur du rectangle rouge.

Figure 1- Vitesse physique et dilatation de l'espace-temps des mobilités



Nous sommes alors en présence d'un effet rebond provoqué par la vitesse. Les gains de temps potentiels sont réinvestis en distance supplémentaire parce qu'aller plus loin offre des opportunités nouvelles (logement, emploi, relations sociales...) et un possible enrichissement quantitatif ou qualitatif des programmes d'activités. Ce que cache la constance du BTT est donc l'hypothèse selon laquelle les personnes mobiles ont une préférence pour la variété (Gronau & Hamermesh 2001). C'est cette dernière, plus que la conjecture de Zahavi, qui explique pourquoi les BTT varient dans l'espace. Les enquêtes ménages-déplacements (EMD) conduites en France révèlent en effet que le BTT quotidien change avec la taille de l'agglomération. Alors qu'il dépasse 1h30 en région parisienne, il n'est que de 40 ou 50 minutes

dans les petites villes où la densité des opportunités offertes est moindre. Ainsi, en région parisienne la préférence pour la variété est aiguïée par la masse et la diversité des aménités mais aussi par la nécessité de trouver un logement plus grand ou financièrement accessible. Dans les petites villes au contraire, le logement est plus accessible et les aménités moins nombreuses ne justifient pas des BTT très élevés d'autant que la congestion est moindre.

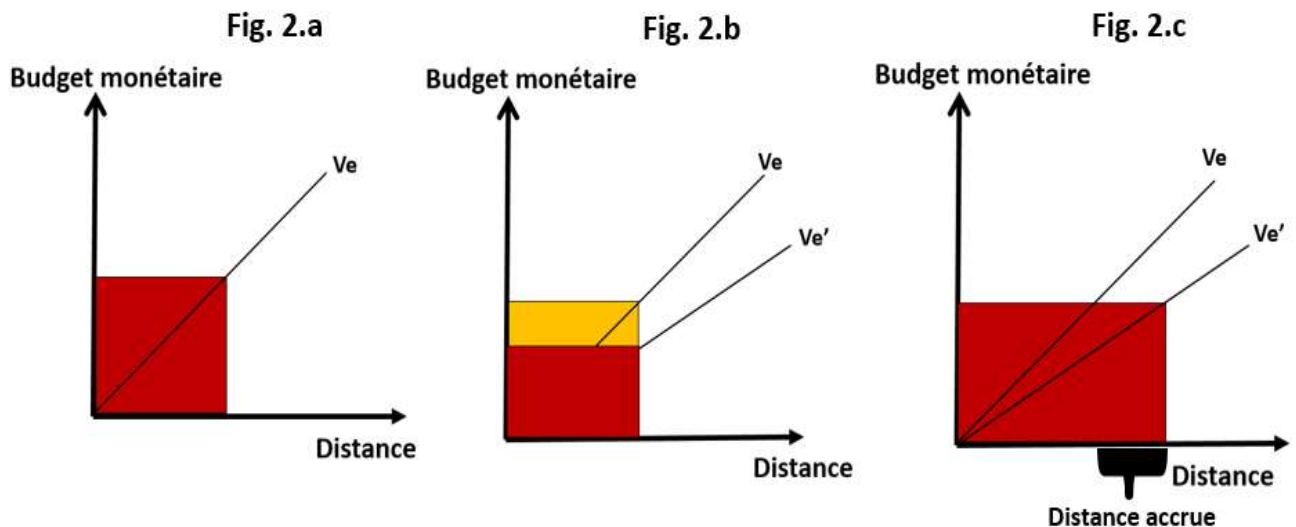
L'effet rebond, un produit du changement des prix relatifs

La notion d'effet rebond a été proposée en 1865 par l'économiste anglais Stanley Jevons (1835-1882) qui s'inquiétait de la croissance très forte de la consommation de charbon. Alors que l'efficacité des machines à vapeur avait progressé de 60%, la consommation de charbon en Grande-Bretagne avait été multipliée par 10 (+ 1000 %) en 30 ans. Cette sur-réaction de la demande de charbon n'est en réalité pas une surprise. Les machines à vapeur étant plus performantes et pouvant remplacer dans de nombreuses activités la force humaine, animale ou hydraulique, il n'y avait aucune raison pour que la demande de charbon reste stable. La baisse du coût relatif de l'énergie change les prix relatifs dans toute l'économie et les choix des producteurs et des consommateurs en tiennent compte. Il s'est passé la même chose un siècle plus tard avec le pétrole, pour lequel le paradoxe de Jevons est devenu le postulat de Khazoom-Brooks, deux chercheurs qui ont abouti séparément à la même conclusion.

Vitesse économique et constance du budget monétaire de transport

Moins connue que la constance du BTT, la seconde hypothèse de Zahavi est au moins aussi importante. Il avance en effet l'idée selon laquelle les dépenses de transport d'un ménage s'élèvent à environ 15% du revenu disponible et que cette proportion reste la même quand le revenu augmente ou que les coûts du transport diminuent. Cela signifie que **lorsque le pouvoir d'acheter des déplacements augmente, ce surplus est réinvesti en accroissement de la distance, à mode de transport donné, et plus encore s'il est possible d'opter pour un mode plus rapide. Ce pouvoir d'achat peut être qualifié de « vitesse économique », définie comme le temps de travail nécessaire pour acheter une certaine distance de déplacement.** Si le SMIC horaire net est de 10€ et qu'un billet de TGV coûte 10 centimes par km, alors la vitesse économique du TGV est de 100 km/h (10/0,1) pour un smicard mais de 300 km/h (30/0,1) pour une personne gagnant 3 fois le SMIC. Cet exemple n'illustre pas seulement la définition de la vitesse économique, il révèle l'énorme effet rebond potentiel de la hausse du pouvoir d'achat illustré dans la figure 2.

Figure 2 - Vitesse économique et allongement des distances



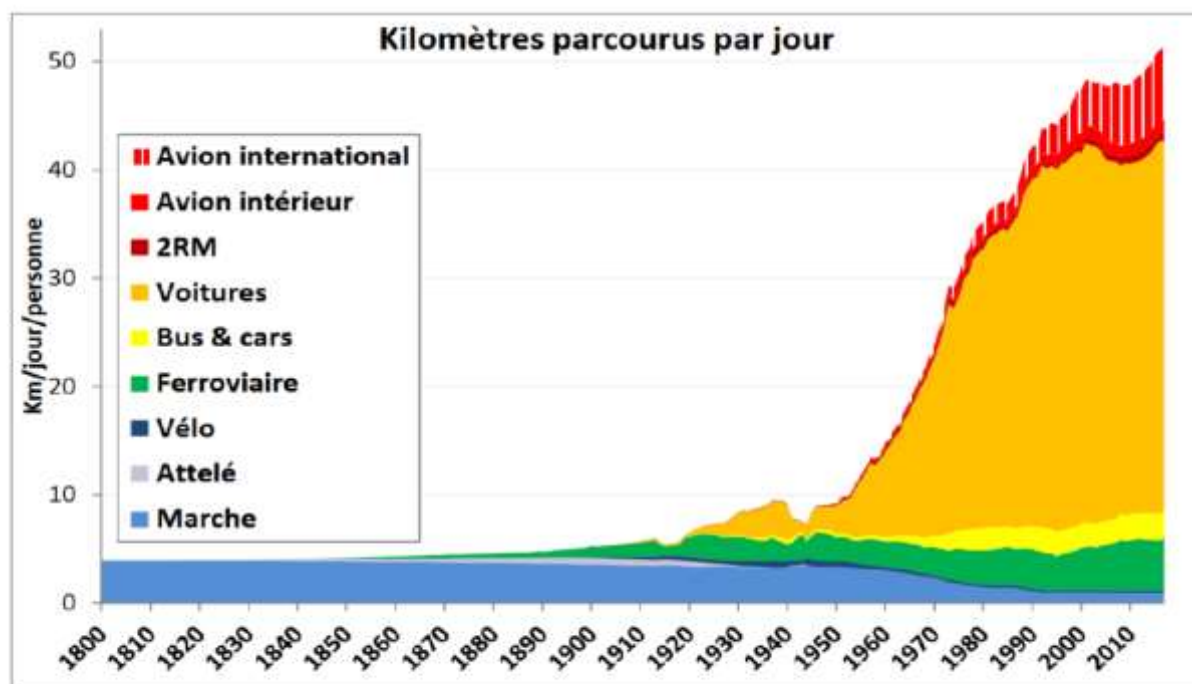
- Dans la figure 2.a le budget monétaire disponible (rectangle rouge) permet d'acheter une certaine distance de déplacement en fonction de la vitesse économique symbolisée par la pente de la droite V_e .
- La figure 2.b imagine une vitesse économique accrue du fait d'une baisse des coûts (progrès technique, baisse du prix de l'énergie, subventions...). Elle se traduit par une nouvelle droite $V_{e'}$ de moindre pente. S'il n'y a pas d'effet rebond. Le budget monétaire affecté au transport diminue et le reste (rectangle jaune) est disponible pour autre chose.
- La figure 2.c représente l'effet rebond si on retient l'hypothèse de réinvestissement du gain de vitesse économique en allongement des distances. Le budget monétaire affecté au transport, représenté par la hauteur du rectangle rouge, est constant.

Ce double effet rebond est manifeste dans l'évolution des distances parcourues par an et par personne que présente la figure 3. Nous sommes ici dans une interprétation élargie de la conjecture de Zahavi car il ne s'agit plus de déplacements urbains mais de l'ensemble des transports de passagers.

La multiplication par 10 des distances parcourues est le résultat combiné de la croissance des vitesses, physique et économique. A la fin du XIX^{ème} siècle, le train se déplaçait 10 fois plus vite que le pas de l'homme ou du cheval. Mais sa part modale est restée faible tout comme la distance quotidienne moyenne : moins de 10 km/jour car les tailles respectives du réseau et du parc roulant ferroviaire ne permettaient pas de généraliser l'usage

du train à tous les déplacements. D'autant que le prix des billets de train était élevé. Pour faire 10km, un ouvrier devait dépenser environ 20% de son salaire quotidien. Il faut attendre le milieu du XXème siècle et la démocratisation de l'automobile pour que les distances quotidiennes atteignent 20, puis 30 et 40 km. Non pas parce que l'automobile serait plus rapide ou moins coûteuse que le train, mais parce que l'automobile a étendu l'accès à la vitesse à tous les déplacements sur tous les territoires².

Figure 3 - Distances quotidiennes moyennes en France depuis 1800



Souree : Bigo, 2020. *Les transports face au défi de la transition énergétique*. Thèse de doctorat, p. 184

Disposer d'un mode de transport rapide est donc une condition nécessaire à la croissance des distances parcourues, mais ce n'est pas une condition suffisante. Pour que cela se produise, il faut que le mode rapide soit accessible et donc que sa vitesse économique augmente. Ainsi, en 1970, une heure de travail au SMIC permettait d'acheter 3 litres d'essence, et donc de parcourir 33 km, puisqu'une voiture consommait environ 10 litres d'essence aux 100 km. En 2000, c'était 5 litres d'essence et 67 km, avec une consommation un peu supérieure à 8 litres. Dans le même temps, le nombre d'heures de travail payées au salaire minimum nécessaire pour acheter une voiture neuve avait été divisé par 2. La voiture s'est alors substituée aux modes plus lents (marche à pied, autocar,

² Le réseau routier français compte aujourd'hui plus d'un million de km contre moins de 30 000 pour le réseau ferroviaire. 40 millions de voitures circulent en France contre environ 400 rames de TGV !

mobylette) avec réinvestissement en distances accrues des gains de temps et de pouvoir d'achat.

Ce mécanisme de substitution est aujourd'hui à l'œuvre dans le transport aérien. Au cours des dernières décennies, la vitesse de croisière des avions n'a pas changé mais le prix des billets a fortement baissé³. Un vol low-cost peut aujourd'hui revenir à 5 ou 6 centimes par km, quatre à cinq fois moins qu'un voyage en voiture, pour une vitesse porte à porte 2 à 3 fois supérieure⁴. Le résultat se lit sur la figure 3, le transport aérien représente déjà 20% des distances parcourues.

Prendre en compte l'ensemble des déplacements nous éloigne du cadre urbain dans lequel a été élaborée la conjecture de Zahavi. Mais si nous en retenons uniquement l'hypothèse de base, à savoir le réinvestissement en distance des gains de vitesse physique et économique, alors **nous disposons d'un instrument puissant pour comprendre l'évolution de la structure spatiale issue des déplacements et des choix résidentiels**. Les uns et les autres étant problématiques pour les politiques publiques et notamment les politiques climatiques et environnementales (voir Crozet, 2026).

Conclusion

Si la conjecture de Zahavi est aussi importante et mérite d'être mieux connue, près de 50 ans après son élaboration, ce n'est pas seulement à cause de l'hypothèse de réinvestissement des gains de vitesse en distances accrues. De façon plus générale, c'est parce qu'elle a montré le rôle clé des effets rebond de la vitesse physique, mais plus encore de la vitesse économique ou pouvoir d'acheter une diversité accrue des couples « activité-localisation ». **La croissance de la vitesse économique est en effet au cœur de l'intensification des programmes d'activités qui caractérise la modernité**. La notion d'intensification doit être préférée à celle d'accélération, évocatrice de vitesse physique. Avec le numérique et l'intelligence artificielle, il est possible aujourd'hui d'avoir un programme d'activités hyper-intensif sans effectuer de déplacement mais pas sans consommer beaucoup d'énergie...

³ Le prix des billets d'avion a baissé principalement grâce au progrès technique (poids des aéronefs, consommation de carburant) mais aussi par la hausse des taux de remplissage, la standardisation des matériels et leur usage intensif.

⁴ En comptant le pré et le post-acheminement, aller de Paris à Rome en avion prend 4 à 5 heures, dont seulement 1h30 de vol. Faire le même trajet en voiture prend au moins 15 heures.

Références bibliographiques

- Bigo A., (2020), Les transports face au défi de la transition énergétique. Explorations entre passé et avenir, technologie et sobriété, accélération et ralentissement. <http://www.chair-energy-prosperity.org/publications/travail-de-these-decarboner-transports-dici-2050/>.
- Crozet Y. & Joly I., (2004), *La « loi de Zahavi » : quelle pertinence pour comprendre la construction et la dilatation des espaces-temps de la ville ?*, PUCA collection « Recherches » n°163, Certu, Lyon.
- Crozet Y. (2016), *Hyper-mobilité et politiques publiques : changer d'époque ?*, Economica.
- Crozet Y. (2026), Valeur du temps et vitesse : la lente inflexion des choix collectifs. *Encyclopédie en ligne de l'Association Française d'Economie des Transports (AFET)*. Septembre 2026.
- Gronau R. & Hamermesh D. (2001), *The Demand for Variety Transportation: a Household Production Perspective*, National Bureau of Economic Research, working paper n°8509.
- Zahavi, Y., & Talvitie, A. (1980), Regularities in travel time and money expenditures. *Transportation Research Record*, 750, 13-19.