



VOLUME ET PARTAGE MODAL DU TRANSPORT DE VOYAGEURS EN FRANCE DE 1845 À NOS JOURS

Alain SAUVANT, Didier ROUCHAUD

Sur la période 1845-2000, la croissance des flux de transport de voyageurs tous modes de transports confondus en France a été en moyenne 1,6 fois plus importante que la croissance du PIB.

Toutefois, le lien entre croissance économique et croissance des flux n'est pas une simple relation de proportionnalité. La meilleure explication de la croissance passe par la superposition d'une tendance temporelle de croissance de 2,7 % par an et d'une élasticité au PIB assez faible (+ 0,3). Cela relativise fortement le couplage entre croissance des flux de transports de voyageurs et croissance économique. Autrement dit, on peut s'attendre à ce qu'une variation du rythme de la croissance économique n'ait que peu d'impact sur celui de la croissance des voyageurs-kilomètres.

En ce qui concerne l'évolution des parts modales, deux périodes sont à distinguer : de l'ouverture des premières lignes ferroviaires en France vers 1840 à la première guerre mondiale, la part modale du transport ferroviaire a cru, jusqu'à un maximum de plus de 93 % dans les années précédant la première guerre mondiale. Puis, à partir de 1920, c'est la part du mode routier qui a augmenté, et ce phénomène est toujours à l'œuvre actuellement.

On notera que les évolutions des parts modales en transport de voyageurs ont été en avance de 27 ans environ sur celles des marchandises.

Les modèles d'étude de diffusion des nouvelles technologies (courbes « en S » ou « logistiques ») paraissent plus adaptés à l'analyse des évolutions du partage modal que l'analyse économétrique standard.

L'utilité d'analyses sur longue période

Les durées de vie des principaux composants du système de transports sont assez importantes : une ou plusieurs centaines d'années pour les infrastructures, une ou plusieurs dizaines d'années pour les matériels de transport, quelques dizaines d'années pour les principales technologies.

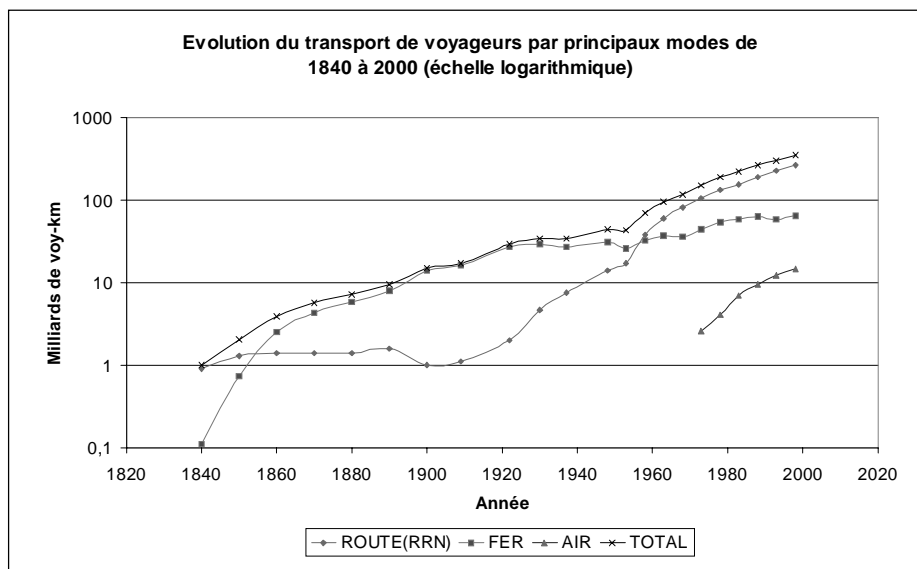
L'analyse des tendances lourdes des évolutions de ce système doit donc être effectuée autant que possible dans la longue durée : c'est pourquoi la plupart des analyses présentées ci-dessous portent sur la période s'étendant de 1845 à nos jours.

Pour analyser les évolutions à l'œuvre sur longue période dans le secteur des transports de voyageurs, deux étapes sont décrites ci-dessous :

- relations entre croissance économique et volume de transports de voyageurs ;
- description des évolutions du partage modal.

L'analyse ci-dessous ne porte, pour le mode routier, que sur les flux sur le réseau routier national (autoroutes et routes nationales). Les données pour l'ensemble des modes correspondent ainsi en première analyse aux flux interurbains.

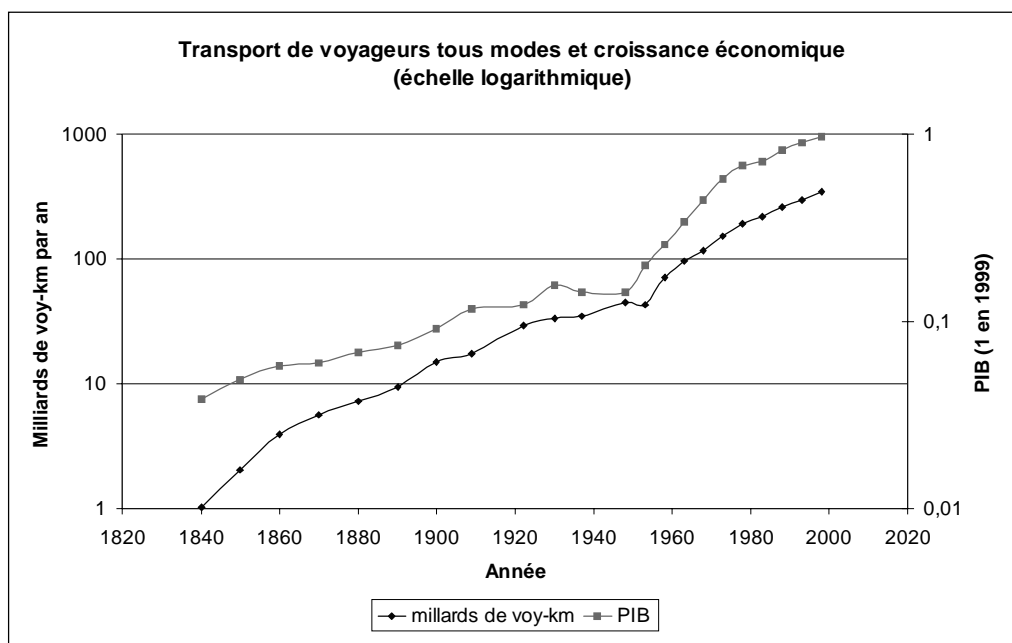
VOYAGEURS



Volume de transports de voyageurs et croissance économique

Le volume de transports de voyageurs (voyageurs-kilomètres) augmente avec la croissance économique du fait de facteurs tels que l'augmentation du revenu des ménages et l'augmentation des distances unitaires parcourues, elle-même due à l'accroissement des vitesses. Les développements ci-dessous cherchent à décrire les liens qui relient croissance économique et croissance des flux de voyageurs.

Le graphique ci-dessous illustre les évolutions comparées des transports de voyageurs, tous modes de transport confondus, et celle du produit intérieur brut (PIB) en volume ramenée à une échelle comparable.



Une période de faible croissance : la crise des années 1930

Une période intéressante est celle qui correspond à la crise des années 1930, qui touche la France à partir de 1932 environ, avec quelques années de retard par rapport aux Etats-Unis. Les transports -tous modes additionnés- restent stables sur la période 1935-1940 par rapport à 1925-1934, alors que le PIB en volume a chuté entre ces mêmes périodes de 8,4 %.

VOYAGEURS

Une période de forte croissance des transports de voyageurs des années 1950 jusqu'à nos jours

Alors que le PIB croît fortement pendant les trente glorieuses et plus modérément ensuite, les transports de voyageurs continuent d'augmenter fortement jusqu'à la fin des années 1970.

Cette croissance forte s'explique probablement par la diffusion progressive de la motorisation des ménages.

Un modèle expliquant les transports tous modes avec une tendance temporelle et la croissance économique

Un modèle avec une tendance temporelle a été construit pour rendre compte de manière satisfaisante des périodes où la croissance économique a été anormalement basse (crise des années trente) ou anormalement élevée (trente glorieuses).

L'équation du modèle, calée sur la période 1845-2000, est la suivante :

$$\text{Log (voy-km tous modes)} = \text{constante} + 0,027 * \text{année} + 0,3 * \text{Log (PIB en volume)}$$

(-16) (18) (4)

$$R^2 = 0,98$$

Elle s'interprète comme la superposition d'une tendance de croissance de 2,7 % par an, et un effet croissance économique avec une élasticité de 0,3.

Peu d'écart dans l'évolution des flux de voyageurs entre une croissance économique forte et une croissance économique plus faible

Si l'on ne prend que la croissance économique comme variable explicative de la croissance des flux de transports, sans tendance ni autocorrélation, on peut avoir l'illusion que la croissance économique des flux de transports dépend, en l'amplifiant, de celle du PIB. Pour quantifier cet effet sur la période 1845 à 2000, un modèle de type log-log a été estimé et aboutit à l'équation ci-dessous¹ :

$$\text{Log (voy-km tous modes)} = \text{constante} + 1,6 * \text{Log (PIB en volume)}$$

(86) (49)

$$R^2=0,94$$

L'utilisation de ce type de modélisation aboutit à des résultats similaires à ceux des modèles précédents pour les périodes de croissance moyenne du PIB (autour de 2 % par an).

Par contre, pour les périodes où la croissance est particulièrement faible ou particulièrement forte, les résultats peuvent diverger assez fortement, la croissance des flux étant, en période de forte croissance économique, plus faible que ce que donnerait un calcul simplifié avec une élasticité de 1,6.

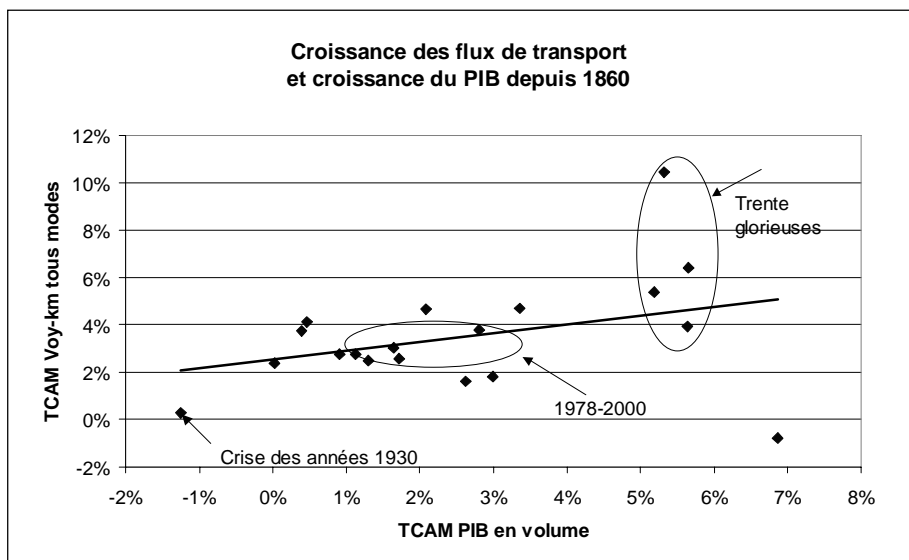
Autrement dit, si la croissance économique moyenne était amenée à varier, on peut s'attendre à ce que celle des flux en voyageurs-kilomètres varie beaucoup moins.

Le graphique ci-dessous permet de visualiser, pour les différentes périodes étudiées, les liens entre le taux de croissance annuel moyen du PIB en volume et celui des flux de voyageurs-kilomètres, tous modes de transports confondus.

La meilleure droite est indiquée sur le graphique suivant : on constate que sa pente est faible (autour de 0,3), corroborant le constat que la croissance des flux varie positivement - mais assez peu - avec celle du PIB. L'ajustement est particulièrement bon pour les points correspondant au dernier quart du vingtième siècle.

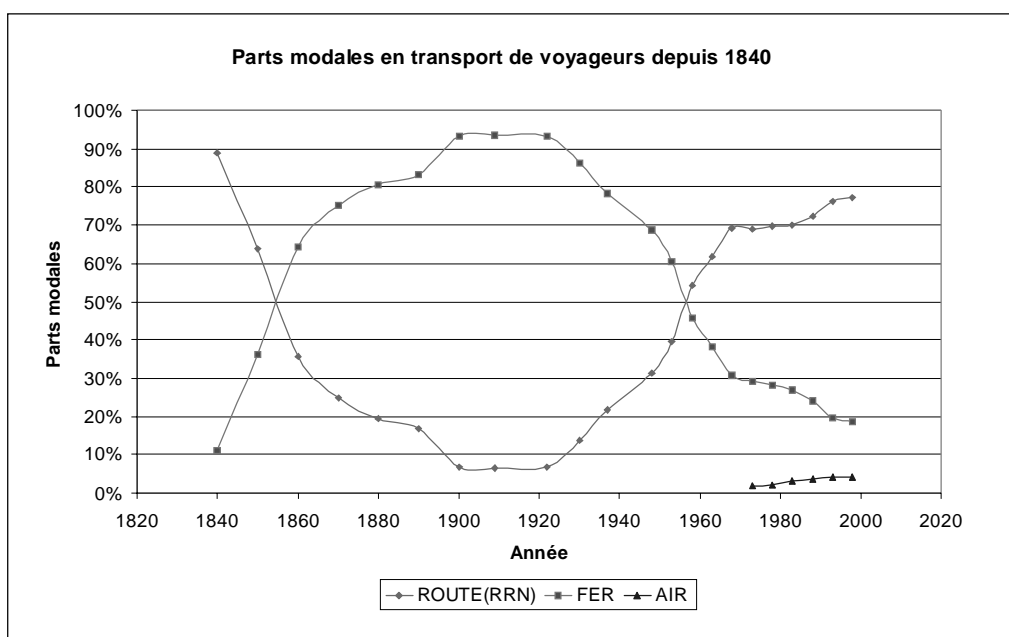
¹ Les valeurs entre parenthèses correspondent à un test de Student à un niveau de significativité de 95 %.

VOYAGEURS



**La part modale
du fer augmente
jusqu'en 1910,
atteignant plus
de 93 %,
puis chute ensuite**

Le graphique ci-dessous illustre les évolutions des parts modales des principaux modes de transport de voyageurs sur la période qui s'étend de 1840 à 2000.



Il montre que la hiérarchie des modes de transport de voyageurs a fortement évolué sur la période considérée :

- la part modale du transport ferroviaire de voyageurs a connu une croissance très rapide sur la période 1840-1910, suivie d'un déclin d'abord très fort jusque vers les années 1970 puis plus modéré ensuite. Un sommet est atteint juste avant la première guerre mondiale avec plus de 93 % de part modale du transport ferroviaire² ;
- la part modale du transport routier de voyageurs évolue à l'inverse de celle du ferroviaire. Elle décline jusqu'à la première guerre mondiale, puis remonte ensuite. Le point bas de la part modale du transport routier de voyageurs (6,4 %) est atteint autour de 1910 ;
- la part modale du transport aérien intérieur de voyageurs passe de 1,7 % en 1971 à 4,2 % en 2000.

² Seul le réseau routier national est pris en compte.

Un modèle de croissance des parts modales en courbe en S

Les évolutions des parts modales du mode correspondent à des courbes logistiques (ou courbes en S), habituelles pour décrire le rythme de diffusion des nouveaux produits (du réfrigérateur au téléphone portable, par exemple).

Loi logistique de diffusion de nouvelles technologies (courbe en S)

La diffusion de nouvelles technologies est en général progressive et suit des lois très similaires d'une technologie à l'autre.

Au début de la diffusion d'une nouvelle technologie, les avantages ne sont pas toujours évidents : les coûts sont encore élevés, les performances, certes prometteuses, ne sont pas toujours à la hauteur de celles des technologies existantes. Viennent s'ajouter les habitudes des consommateurs et les intérêts des firmes en place.

De plus, pour de nombreuses technologies nouvelles, des effets de clubs apparaissent : par exemple, il ne sert à rien d'être abonné au téléphone si personne d'autre ne l'est. La diffusion de la technologie se fait ainsi dans un premier temps dans un marché de niche, où elle apporte dès ses débuts un avantage perceptible. Il s'agit en général de clients très au fait des évolutions, qui y trouvent un avantage d'un point de vue symbolique, qui en font un usage important ou dont la situation est en tout cas très spécifique.

La diffusion se fait ensuite progressivement : si l'on suppose une diffusion par le bouche à oreille, le nombre de nouveaux utilisateurs par unité de temps est proportionnel à celui des personnes déjà utilisatrices. Ce nombre de nouveaux utilisateurs est également proportionnel à la population non encore utilisatrice : si l'utilisation est totale, il ne peut y avoir de nouveaux utilisateurs.

Cette loi de diffusion peut se formaliser de la manière suivante :

On note $x(t)$ le nombre d'utilisateurs à la date t . On suppose que le nombre maximum d'utilisateurs à long terme sera x_{\max} . C'est le produit de la population totale par le taux de pénétration final de la technologie par rapport à l'ensemble de la population.

On constate que le nombre de nouveaux utilisateurs entre la date t et la date $t+1$ est en général proportionnel au nombre d'utilisateurs déjà existants $x(t)$, et au nombre de non utilisateurs qui restent à convertir à l'usage de la technologie, soit la différence entre x_{\max} et $x(t)$.

On a ainsi la loi de diffusion suivante (forme discrète) :

$$x(t+1) = x(t) + \frac{k}{x_{\max}} * x(t) * (x_{\max} - x(t))$$

k est une constante de proportionnalité qui décrit la vitesse de diffusion de l'utilisation de la technologie dans la population.

La loi de diffusion mentionnée ci-dessus peut également s'écrire sous forme continue de la manière suivante :

$$\frac{dx}{dt} = \frac{k}{x_{\max}} * x(t) * (x_{\max} - x(t))$$

Cette équation différentielle admet comme solution générale $\frac{x(t)}{x_{\max}} = \frac{c * \exp(k * t)}{1 + c * \exp(k * t)}$ (c étant une constante dépendant des conditions initiales).

Une propriété intéressante de cette loi, illustrée par le graphique ci-dessous, est qu'il s'écoule autant de temps entre le moment où le taux de pénétration $\frac{x(t)}{x_{\max}}$ passe de 0,12 % à 1 %,

que de temps pour qu'il passe de 1 % à 10 %, puis de 10 % à 50 %, puis de 50 % à 90 % et enfin de 90 % à 98,8 %. La durée Δt (ou temps caractéristique de la diffusion) de chacun des intervalles mentionnés précédemment est $\Delta t = \frac{\ln(9)}{k}$ (temps caractéristique) et est aussi le

temps qui s'écoule entre le moment où $\frac{x(t)}{x_{\max}}$ passe de 25 % à 75 %.

Par ailleurs, $t_{\text{miparcours}} = \frac{-\ln(c)}{k}$ est la date où la diffusion de la technologie atteint la moitié de sa progression totale.

Dans certains cas, on constate un nombre d'utilisateurs minimal x_{\min} . Un changement de variable $x'(t) = x(t) - x_{\min}$ permet de se ramener au cas décrit ci-dessus.

VOYAGEURS

Évolutions comparées des parts modales en transport de voyageurs et en transport de marchandises

Des modèles d'évolution des parts modales des deux principaux modes (fer et route) pour différentes périodes ont été estimés par la méthode des moindres carrés ordinaires. Les périodes étudiées sont d'une part 1840-1913, et 1920-2000 d'autre part. Les modèles utilisés sont les suivants :

$$\text{Part_modale} = (\text{part_modale_max} - \text{part_modale_min}) * \frac{c * \exp(k * t)}{(1 + c * \exp(k * t))} + \text{part_modale_min}$$

Les résultats du calage sont les suivants pour les périodes 1840-1913 et 1920-2000. Sont également présentés les résultats obtenus pour les marchandises.

Période 1840-1913					
	voyageurs	marchandises		voyageurs	marchandises
Mode	Fer	Fer		Route	Route
Sens de l'évolution	croissance	croissance		déclin	déclin
Temps caractéristique (années)	18,4	11,6		18,4	29,0
Part_modale_max	89%	63%		100%	57%
Part_modale_min	0%	0%		11%	9%
Date de mi parcours de l'évolution	1854	1859		1854	1859
Début de l'intervalle caractéristique	1836	1847		1836	1830
Fin de l'intervalle caractéristique	1872	1871		1872	1888
Période 1920-2000					
	voyageurs	marchandises		voyageurs	marchandises
Mode	Fer	Fer		Route	Route
Sens de l'évolution	déclin	déclin		croissance	croissance
Temps caractéristique (années)	24,5	30,5		18,7	38,3
Part_modale_max	89%	63%		75%	90%
Part_modale_min	18%	10%		7%	9%
Date de mi parcours de l'évolution	1953	1980		1953	1980
Début de l'intervalle caractéristique	1928	1950		1934	1942
Fin de l'intervalle caractéristique	1978	2010		1972	2018

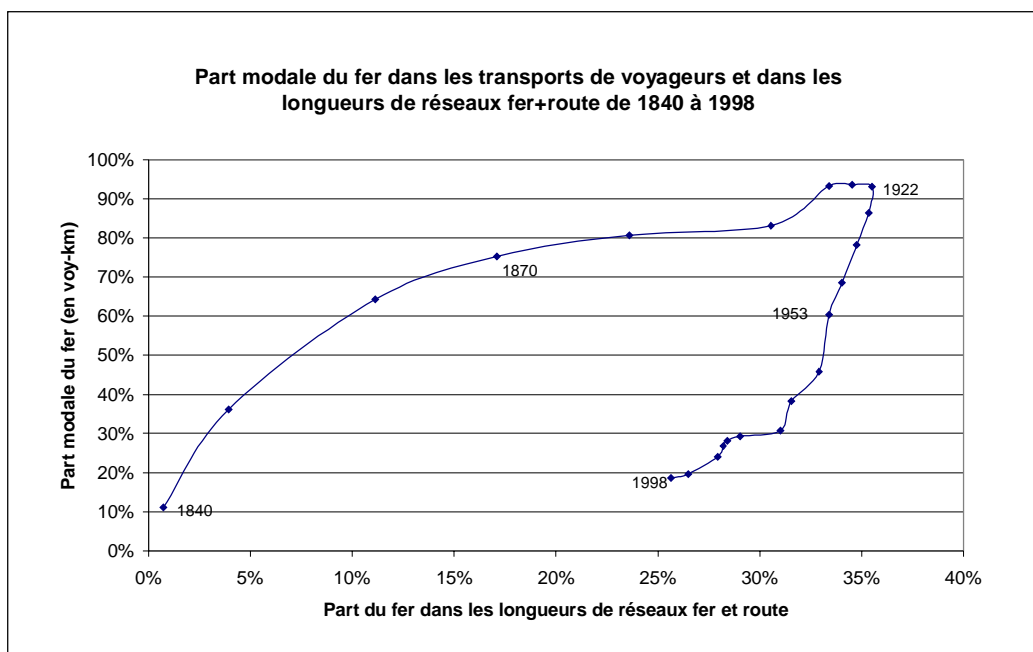
Pour la période 1840-1913, la croissance de la part modale du fer a été significativement plus rapide pour les marchandises que pour les voyageurs. Par contre, pour la période 1920-2000, c'est la part modale du fer en voyageurs qui chute plus rapidement que celle en marchandises. Sur cette seconde période, les évolutions sont en avance de 27 ans environ pour les voyageurs par rapport à celles des marchandises.

Cela peut probablement s'expliquer par le développement du transport par train à grande vitesse pour les voyageurs, à partir des années quatre-vingt. Ainsi, on constate une quasi-stabilisation des parts modales du transport ferroviaire de voyageurs, compte tenu du bon positionnement de celui-ci grâce à son offre de transport à grande vitesse. La fin de l'intervalle caractéristique des évolutions des parts modales en voyageurs se situe vers 1970-1980 et est donc située derrière nous.

Par contre, aucune innovation majeure n'étant à constater en matière de marchandises, aucun effet similaire ne peut être constaté sur cette période, et une stabilisation de la part modale à court ou moyen terme n'est pas vraisemblable. Ainsi, la fin de l'intervalle caractéristique des évolutions des parts modales en marchandises ne se situe que vers 2010-2020.

VOYAGEURS

Le graphique ci-dessous représente l'évolution de la part modale du fer, en fonction de la part du réseau ferré dans les infrastructures de niveau national, pour la période 1840 à 2000.



De 1840 à 1870, on observe une croissance de la part modale du fer parallèle à une croissance de la part de ce mode dans les longueurs de réseaux fer (chemins de fer d'intérêt général) et route (réseau routier national, corrigé des déclassements et reclassements significatifs).

Entre 1870 et 1920, la part du fer dans la longueur des réseaux s'accroît encore fortement alors que la part modale du fer commence à saturer. A partir des années 1930, la part modale du fer décroît tandis que la part du fer dans la longueur de réseaux nationaux (fer et route) décroît de façon plus atténuée, du fait de la construction de nouvelles routes puis autoroutes et de la fermeture de certaines lignes ferroviaires.

Principales données utilisées :

Données de flux et de réseaux collectées par J.C. Toutain sur la période 1840-1940.

Statistiques du ministère chargé des transports à partir de 1946.
Données macroéconomiques (PIB) collectées par J. Friggit.

Le volume de transport ferroviaire (voyageurs-kilomètres) comprend le transport ferroviaire en Île-de-France. Pour le mode routier, seuls les voyageurs-kilomètres réalisés sur le réseau routier national (autoroutes et routes nationales) ont été pris en compte, faute de données adéquates. Pour le transport aérien, seuls les flux intérieurs ont été pris en compte. Faute de données, le transport de voyageurs par voies navigables n'a pas été pris en compte.

Le pas de temps utilisé est de 10 ans pour la période 1840-1940, et de 5 ans après. Les années correspondant aux deux guerres mondiales ne sont pas prises en compte dans l'analyse.

Quelques innovations en matière de matériel et d'infrastructures de transport

1804 : Première locomotive à vapeur roulant sur rails reliant les mines de Penydaren à Abercynon (Pays de Galles).

1825 : Première ligne de chemin de fer voyageurs entre Stockton et Darlington sur 40 km environ (Grande-Bretagne).

1827 : Ouverture de la première ligne de chemin de fer français entre Saint-Etienne et Andrézieux.

1876 : Nicolas Otto invente le moteur à explosion à quatre temps.

1879 : Première locomotive électrique (tramway électrique) aux Etats-Unis.

1888 : Invention du pneu par Dunlop.

1909 : Le concept autoroutier apparaît en Allemagne avec la société AVUS.

1914 : Première mise en service d'une voie de type autoroutier sur l'île de Long Island, près de New-York.

1920 : La Central Railroad du New Jersey (Etats-Unis) est la première compagnie ferroviaire à exploiter des machines Diesel.

1926 : La « Charte de Milan » donne une définition officielle de l'autoroute.

1933 : L'Allemagne développe son réseau autoroutier avec la Reichs Autobahnen Unternehmen (RABU).

1946 : La première autoroute de France ouvre le 9 juin 1946 entre Saint-Cloud et Orgeval.

