



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

Alain SAUVANT

Sur longue période (1845-2000), la croissance des flux de transport de marchandises n'est pas supérieure à celle de la croissance économique. L'élasticité des flux à la croissance économique - tous modes de transport confondus - ressort entre 0,35 et 0,5 selon les modélisations utilisées. L'élasticité des flux de transport (tous modes confondus) au prix relatif moyen pondéré du transport ressort à - 0,35 environ, sur la période 1845-1940.

La hiérarchie des modes de transport de marchandises a fortement évolué sur la période considérée. La part modale du transport ferroviaire de marchandises a crû très rapidement sur la période 1845-1870. A partir de l'entre-deux guerres, c'est au tour de la part modale du transport routier de marchandises de croître. Cette croissance est cependant trois fois plus lente que celle du fer au XIX^e siècle. Le transport fluvial de marchandises a, pour sa part, connu un long déclin entrecoupé de quelques rebonds éphémères.

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

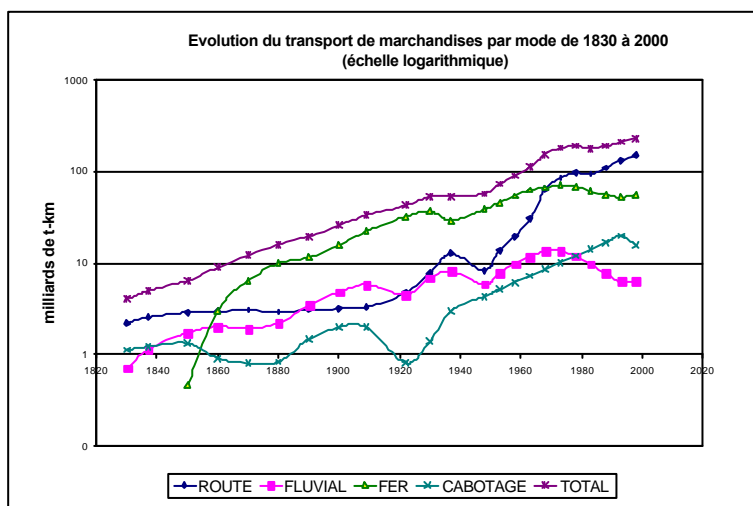
L'utilité d'analyses sur longue période

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 marchandises, trois étapes sont décrites ci-dessous :

- relations entre croissance économique et volume de transports de marchandises ;
- description des évolutions du partage modal ;
- analyse des liens entre partage modal et prix relatifs des modes.

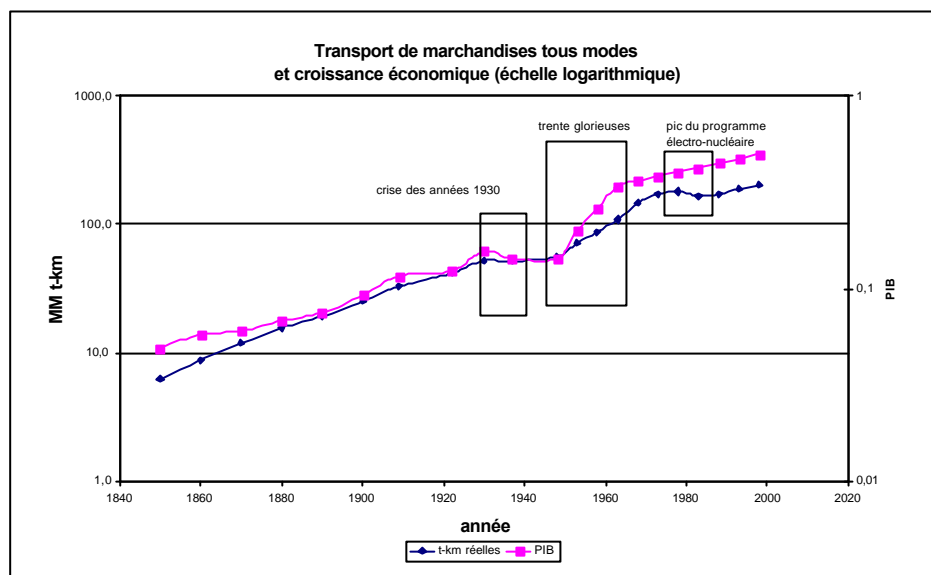


MARCHANDISES

Volume de transports de marchandises et croissance économique

Le volume de transports de marchandises augmente avec la croissance économique du fait de facteurs tels que l'augmentation des tonnages produits et l'augmentation des distances unitaires parcourues du fait de la spécialisation croissante des activités. Les développements ci-dessous cherchent à décrire les liens qui relient croissance économique et croissance des flux de marchandises.

Le graphique ci-dessous illustre les évolutions comparées des transports de marchandises tous modes et celle du produit intérieur brut (PIB) en volume ramenée à une échelle comparable. Il montre un léger effet de lissage du volume des transports par rapport à celui de la croissance économique.



Un cas unique de découplage flux croissance : le programme électro-nucléaire français

La seule période (en dehors de celles des guerres mondiales, pour lesquelles les données ne sont pas disponibles) où l'on constate une progression du volume des transports significativement moins forte que celle du PIB est la décennie 1976-1985. Cela est probablement dû, pour l'essentiel, à la mise en place de l'essentiel du programme électro-nucléaire français, qui a fortement réduit les flux de transports de combustibles et constitue, à ce jour, le seul exemple significatif de découplage de croissance entre celle du transport de marchandises et celle du PIB en France sur la période.

Une période de faible croissance : la crise des années 1930

Une autre 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 États-Unis. Les transports - tous modes additionnés - reculent de 1,2 % 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 %, ce qui montre une faible élasticité des transports à la baisse de l'activité (0,1).

Une période de forte croissance : les trente glorieuses

Par contre, sur la période dite des trente glorieuses, où la croissance économique a été particulièrement forte, les transports ne progressent, dans leur ensemble, que de 97 % entre la période 1946-1950 et les années 1961-1965, alors que le PIB a progressé de 138 % en volume entre ces mêmes périodes, soit une élasticité implicite de 0,8 sur la période.

MARCHANDISES

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 :

$$\text{Log (transports tous modes)} = -30,0 + 0,0179 * \text{année} + 0,35 * \text{Log (PIB en volume)}$$

(-12) (15) (5)

$$R^2 = 0,99$$

Elle s'interprète comme une évolution combinant une tendance de croissance de 1,8 % par an, et un effet croissance économique avec une élasticité de 0,35¹.

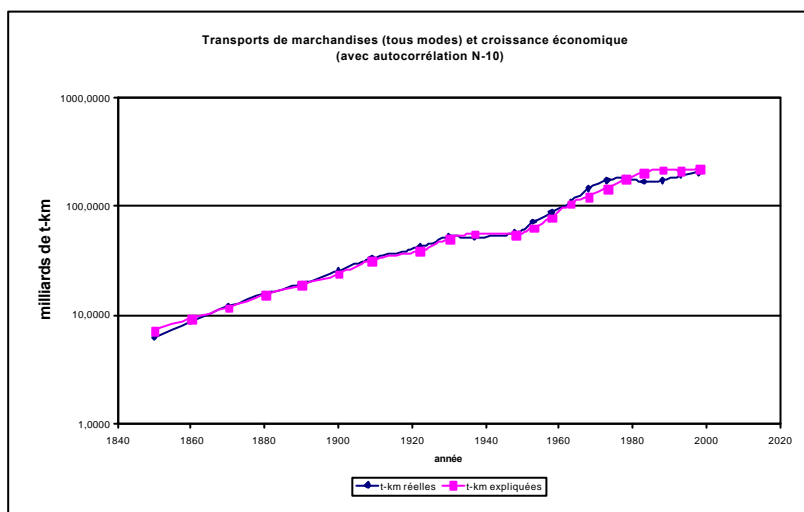
Alternativement, un modèle avec autocorrélation peut être construit sur la période 1845–2000. Il aboutit à une élasticité des transports à la croissance économique un peu plus élevée (0,51).

$$\text{Log (TTM)} = 2,53 + 0,51 * \text{Log (PIB en volume)} + 0,63 * \text{Log (TTM-10)}$$

(12) (10) (19)

$$R^2 = 0,992$$

(TTM = transports tous modes, exprimés en tonnes-kilomètres)
(TTM-10 : transports tous modes retardés de 10 ans)



L'amplification de la croissance économique par les transports économiques : une apparence seulement ?

Si l'on ne reprend 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 élémentaire de type log-log a été estimé, et aboutit à l'équation ci-dessous² :

$$\text{Log (TTM)} = 6,44 + 1,41 * \text{Log (PIB en volume)}$$

(157) (72)

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 1,7 % par an). Par contre, pour les périodes où la croissance est particulièrement faible ou particulièrement forte, les résultats peuvent diverger assez fortement.

¹ Intervalle de confiance à 95% pour l'élasticité : [0,22 ; 0,49].

² Les valeurs entre parenthèses correspondent à un test de Student à un niveau de significativité de 95%.

MARCHANDISES

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 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 :

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

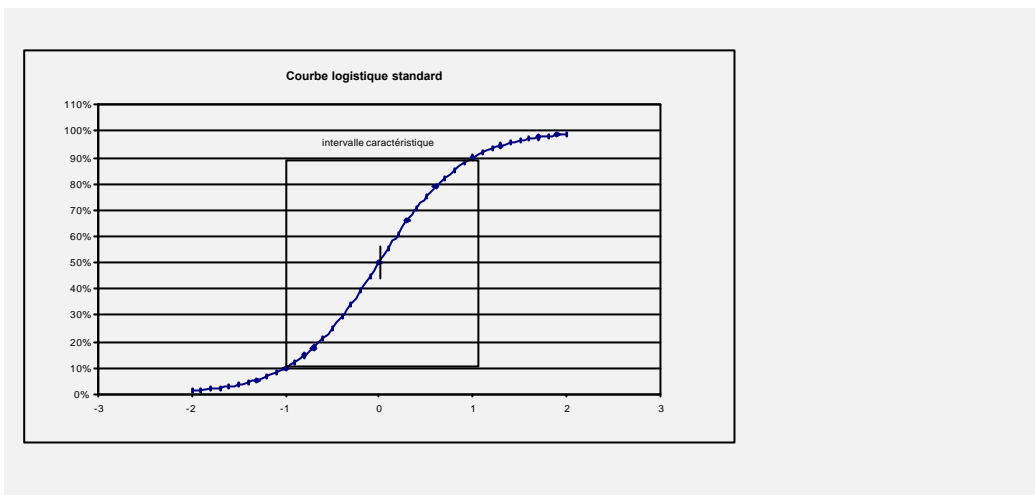
Cette équation différentielle admet comme solution générale $\frac{x(t)}{x_{\max}} = \frac{c * \exp(k * t)}{(1 + c * \exp(k * t))}$ (c étant une constante dépendant des conditions initiales).

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). Par ailleurs,

$t_{mi-parcours} = -\frac{\ln(c)}{k}$ est la date où la diffusion de la technologie atteint la moitié de sa progression totale.



MARCHANDISES



Des modèles d'évolution des parts modales des principaux modes pour différentes périodes ont été estimés par la méthode des moindres carrés ordinaires. Les périodes étudiées sont d'une part 1830-1913, et 1920-2000 d'autre part. Le type de modèle utilisé est le suivant (cf. encadré)

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

Les résultats du calage sont les suivants pour les périodes 1830-1913 et 1920-2000 :

Période 1830-1913

Mode	Fer	Route
Sens de l'évolution	croissance	déclin
Temps caractéristique (années)	11,6	29,0
Part modale_max	63%	57%
Part modale_min	0%	9%
Date de mi parcours de l'évolution	1859	1859
Début de l'intervalle caractéristique	1847	1830
Fin de l'intervalle caractéristique	1871	1888

Période 1920-2000³

Mode	Fer	Route	Fluvial
Sens de l'évolution	déclin	croissance	déclin
Temps caractéristique (années)	31,3	34,2	34,4
Part modale_max	63%	78%	14%
Part modale_min	20%	9%	0%
Mi parcours de l'évolution	1977	1977	1978
Début de l'intervalle caractéristique	1946	1943	1944
Fin de l'intervalle caractéristique	2008	2011	2012

L'essentiel de la croissance de la part modale du transport ferroviaire de marchandises au XIX^e siècle a eu lieu sur une période brève de 24 ans [1847 ; 1871] correspondant en gros au second Empire. Il a fallu à ce mode moins de douze ans pour passer de 10 % à 50 % de son potentiel, et encore un peu moins de douze ans pour passer de 50 % à 90 % de son potentiel.

³ La part modale minimale du mode ferroviaire a été fixée de manière exogène à hauteur de 20 %. La valeur permettant de minimiser les moindres carrés des écarts ressort à 0 %.

MARCHANDISES

La croissance de la part modale du transport routier de marchandises pendant la seconde moitié du XX^e siècle a été beaucoup plus lente. Il a fallu à ce mode plus de 34 ans pour passer de 10 % à 50 % de son potentiel. Cette comparaison permet de relativiser la vitesse de progression de la part modale de la route.

Quels enseignements pour l'avenir ?

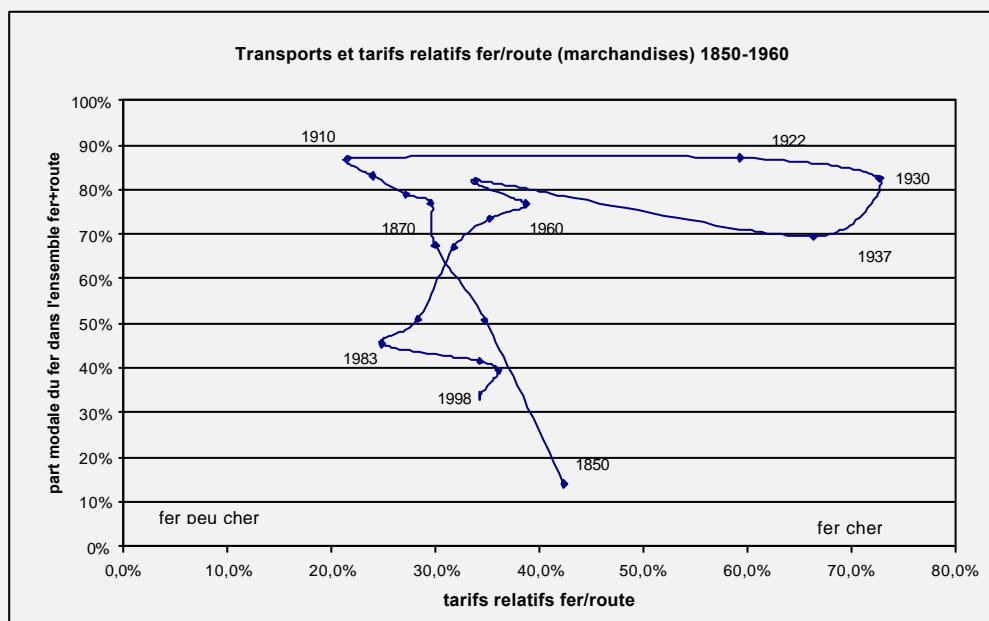
La part modale du transport routier de marchandises devrait se stabiliser, même en l'absence de politique volontariste de transfert modal. L'examen de l'intervalle caractéristique montre que ce phénomène devrait avoir lieu autour de 2010 environ.

Par ailleurs, l'histoire du transport routier de marchandises montre que la part modale d'un mode peut descendre à moins de 10 % (situation du TRM en 1920), pour remonter ensuite et devenir dominante. De même, le transport ferroviaire de marchandises est parti de zéro vers 1830 pour atteindre une part modale de 77 % à son zénith, vers 1920.

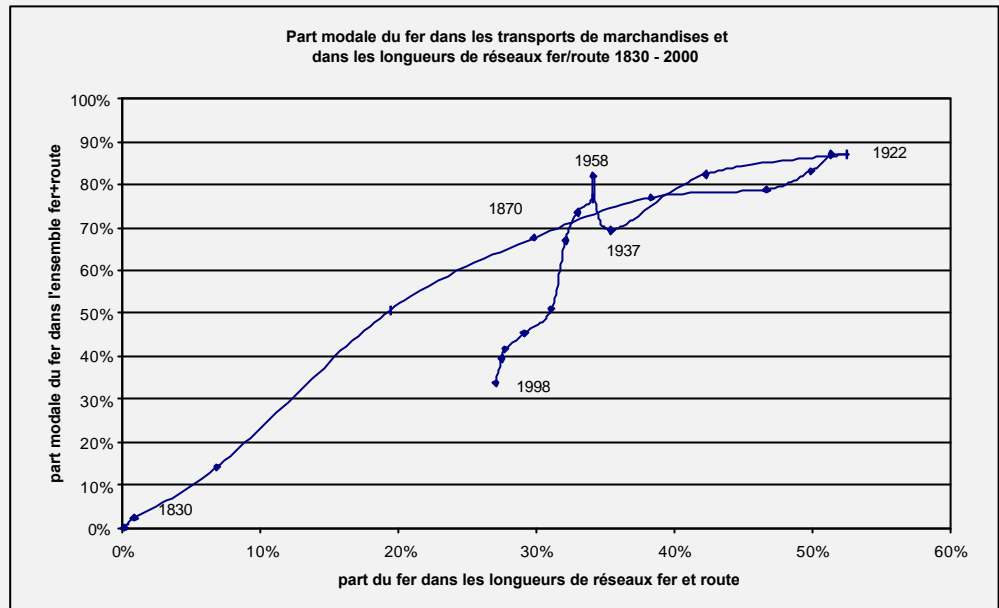
Il a toutefois fallu, dans chacun des deux cas, une révolution technologique, tant dans les mobiles et leur motorisation (locomotive à vapeur, moteur à explosion) que dans les infrastructures (voies ferrées, routes goudronnées et autoroute). Gageons que la prochaine révolution technologique sera probablement liée aux technologies des automatismes de conduite et à celles de l'information et de la communication (NTIC), qui devraient permettre sur longue période de réaliser dans les transports de marchandises d'énormes progrès en matière de productivité et de qualité de service.

Partage modal, évolution des prix relatifs des modes et des consistances des réseaux de 1845 à nos jours

Le premier graphique ci-dessous représente l'évolution des ratios des transports de marchandises entre la route et le fer, en fonction des prix relatifs de ces deux modes, pour la période 1845 à 2000. Le second graphique ci-dessous représente l'évolution des ratios des transports de marchandises entre la route et le fer, en fonction de la part du fer dans les infrastructures significatives, pour la période 1830 à 2000.



MARCHANDISES



Lors de la phase de forte progression de la part modale du fer [1847-1871], et même jusqu'en 1910, on constate une baisse tendancielle des prix du fer par rapport à ceux de la route. Cette baisse découle de l'amélioration de l'efficacité technique des chemins de fer sur la période. La part modale du fer évolue parallèlement à celle des réseaux ferroviaires jusqu'en 1875 environ. Après 1875, le réseau ferroviaire continue de se développer jusqu'à la première guerre mondiale, sans que la part modale du fer augmente, illustrant la rentabilité décroissante des nouvelles infrastructures ferroviaires de desserte fine du territoire (plan Freycinet).

A partir de 1920, un fort renchérissement relatif du fer par rapport à la route est constaté, qui n'a dans un premier temps que peu d'impact sur les parts modales. Ce n'est que vers les années 1930 que la part modale du fer chute, alors que le ratio entre les prix du fer et ceux de la route se stabilise. Cette phase correspond à un repli progressif du réseau ferroviaire sur ses éléments les plus massifs, pour faire face à la concurrence naissante du camion.

Après la seconde guerre mondiale, la part modale du fer décline sans qu'une tendance évidente soit décelable dans l'évolution des prix relatifs entre les modes routiers et ferroviaires. La part modale du transport ferroviaire chute plus vite que la part du réseau ferré dans les longueurs d'infrastructures.

Du fait de phénomènes d'hystérésis, l'analyse de l'évolution des parts modales en fonction des prix et des longueurs de réseaux ne se prête pas facilement à des approches économétriques, sauf à restreindre les analyses à des périodes homogènes.

Principales données utilisées

Données de flux, de prix et de réseaux collectées par J.C. Toutain sur la période 1830-1940. Statistiques du ministère chargé des transports à partir de 1946. Estimation à dire d'expert des flux du cabotage maritime après 1940. Données macroéconomiques (croissance, prix à la consommation) collectées par J. Friggit.

Des ajustements ont été effectués pour tenir compte des diverses ruptures de séries et de l'évolution du périmètre de la France métropolitaine sur la période étudiée : rattachement de la Savoie et du Comté de Nice (1860), annexion par l'Allemagne de l'Alsace et de la Moselle (1871), puis retour en France de celles-ci (1918).

Le pas de temps est de 10 ans pour la période 1830-1940, et de 5 ans après. Les années correspondant aux guerres mondiales ne sont pas prises en compte.