

Voyager dans le temps

Considérations pour une meilleure exploitation de la liaison fixe

Cesare Marchetti ¹

MARCHETTI-083

Même si nous admettons tous que l'avenir n'est pas prédéterminé et donc connaissable avec certitude (d'où les limites de la prévision), il n'en reste pas moins qu'une grande partie de la recherche vise à l'identification d'invariants et au repérage de cycles supposant la pérennité, sauf rupture majeure, de phénomènes au fil du temps.

Célèbres sont à cet égard les recherches menées par Cesare Marchetti ² qui en substance explique ici que l'étendue du territoire de chacun est déterminé d'une manière quasi invariable par deux facteurs essentiels : la vitesse des moyens de transport (auxquels on ne saurait consacrer plus d'une heure par jour) et le niveau de revenu (les dépenses consacrées aux transports étant elles-mêmes limitées à 15 %).

Ainsi l'auteur est-il amené à expliquer comment le progrès des moyens de transport est de nature à transformer la géographie humaine, la taille des villes, voire des « conurbations » (réseaux de ville) et que, au rythme des progrès technologiques réalisés en la matière, Tanger sera bientôt plus proche de Madrid que Paris d'Orléans.

Une autre géographie s'instaure rapprochant les pôles correctement interconnectés tandis qu'au contraire se marginalisent les régions qui n'ont pas le privilège d'être ainsi reliées...

H.J.

1. Analyste de systèmes, IIASA (International Institute for Applied System Analysis). Ce texte est issu d'une communication présentée au III^e Colloque International sur la liaison fixe Europe-Afrique à travers le détroit de Gibraltar, Marrakech, 16-18 mai 1990.

2. Voir revues *Futuribles* numéros 30, 53, 99.

Construire un pont entre deux continents est un geste royal. Mais les rois, avant de fonder une ville, interrogeaient les sages devins, parce que le succès d'un projet résulte d'un contexte qui n'est encore que dans le domaine du possible.

Dans ma présentation je parlerai des contextes possibles pour une liaison Europe-Afrique à travers le détroit de Gibraltar en mettant en évidence ce qui pourrait faire de cette liaison une œuvre vitale pour la co-existence et la collaboration des deux continents.

Le premier pas est de se libérer du contingent, en allant aux principes premiers qui règlent les mouvements des hommes.

L'homme vit dans un espace qu'il visualise comme son territoire. Pas strictement comme sa propriété mais comme arène de son action.

L'utilisation du territoire nécessite des déplacements qu'on peut faire à pied ou à l'aide de « prothèses », d'outils, d'une sophistication croissante : la bicyclette, la voiture, le train, l'avion, le bateau... Si l'on observe ces instruments de déplacement dans leur séquence historique, on voit que l'on peut les ordonner selon un seul paramètre : la vitesse qu'ils permettent.

Pourquoi la vitesse est-elle si importante pour mobiliser pendant des siècles le génie des inventeurs et la persévérance des entrepreneurs ? La raison est curieuse et d'importance centrale : c'est que l'homme a des rythmes, de nature probablement biologique, qui règlent ses mouvements et son comportement.

Comme des mesures sur le terrain l'ont montré, tant en Europe qu'en Amérique du Nord et du Sud, ainsi qu'en Asie du Sud-Est, les hommes se déplacent, en moyenne, une heure par jour. La durée étant fixe, c'est donc la vitesse qui définit la dimension de l'espace, c'est-à-dire du territoire que chacun utilise pour ses affaires, ses relations et ses loisirs. Si l'on marche à pied, à l'indienne, on aura la dimension du village. Si l'on utilise l'avion comme « prothèse » on est à l'échelle du monde, comme la « jet-set society ».

Puis interviennent les coûts. Ici aussi, pour des raisons qu'on pourrait difficilement qualifier de biologiques, il y a une grande homogénéité des comportements : on dépense pour les transports, en moyenne, 15 % de son revenu disponible, et ceci indépendamment de sa culture et du niveau de son revenu. L'allocation de la dépense de transport entre les différents modes se fait judicieusement de façon à maximiser le parcours total effectué.

Cette vision de l'utilisation par l'homme du temps et de l'espace bouleverse un peu les descriptions des économistes. On n'a pas une « demande de transport » suivant les buts que les gens se proposent. On a un « budget d'espace » qui dépend du revenu et des techniques de transport, à l'intérieur duquel on organise son territoire. La progression

des revenus et le développement des techniques de transport rendent la situation très évolutive. C'est pourquoi, un lien Afrique-Europe étant inévitablement un projet à long terme, 100 ans au moins, il doit être conçu dans l'optique des cent ans à venir.

Revenons maintenant sur les détails de la gestion par les hommes de leur territoire. Comme le montrent les mesures effectuées sur le terrain, les habitants des villes font en moyenne (sur la population totale) trois ou quatre sorties par jour, une longue et les autres plus courtes. La sortie longue est effectuée surtout pour se rendre au travail. Ceci garantit le maximum de choix parce que, dans le cadre des contraintes indiquées, la totalité du territoire accessible est mise à disposition.

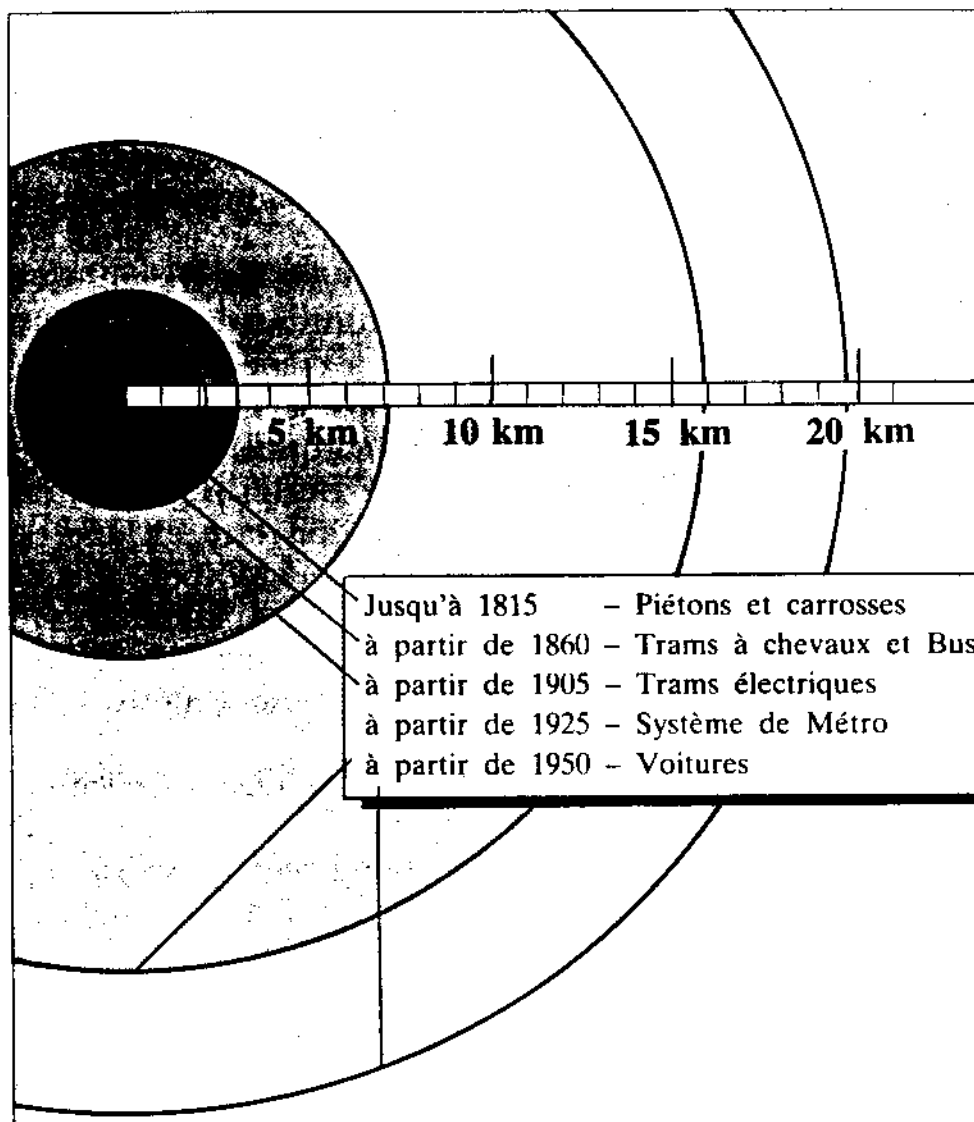
Ceci définit aussi le noyau des interactions sociales. La ville étant une machine à inter-agir, sa structure en est marquée. Si l'on regarde, par exemple, l'évolution historique de la ville de Berlin (figure 1) on voit que ses dimensions sont définies par la distance couverte en une demi-heure par le moyen de transport le plus rapide. Quand tout le monde allait démocratiquement à pied, la limite était à deux kilomètres du centre (1815). Elle est passée à 3 avec les trams à chevaux (1860), à 7 avec les trams électriques, à 16 avec les trains urbains — le « métro » (1925), et à 20 avec la voiture.

La croissance de la dimension physique d'une ville comporte une réorganisation de la densité de la population. Les « villes à pied » sont très denses, comme on peut le vérifier pour Londres ou Berlin en 1800, ou la Rome impériale qui entassait un million d'habitants sur une vingtaine de km². Hong Kong et Calcutta tombent dans le même cadre aujourd'hui. Les « villes en voiture » peuvent être très diluées, comme Los Angeles, ou avoir des densités intermédiaires en fonction des conditions historiques.

Le métabolisme élevé d'une ville pose aussi le problème parallèle du transport des marchandises, problème résolu pour l'énergie par les réseaux de gaz et d'électricité — Paris, au siècle dernier, avait de « sacrés » problèmes pour son ravitaillement en bois. Mais pour le reste la situation n'a pas beaucoup progressé. Ceci ne constitue pas strictement une limite à la taille, mais les problèmes d'accès croissent très rapidement. Toutefois une solution se profile grâce aux nouveaux moyens de transports. Pour le moment, l'avion.

La question est de savoir quel avantage une ville tire de sa taille croissante. L'interprétation que je préfère est que la taille permet des spécialisations de plus en plus poussées et même des services nouveaux. Le village peut avoir le magasin tout-venant, mais avec peu de choix. Si l'on cherche un micro-rupteur on le trouve dans la grande ville au magasin de micro-rupteurs. Mais l'Opéra ou la Bourse nécessitent un contexte si complexe que seules les grandes villes peuvent en disposer.

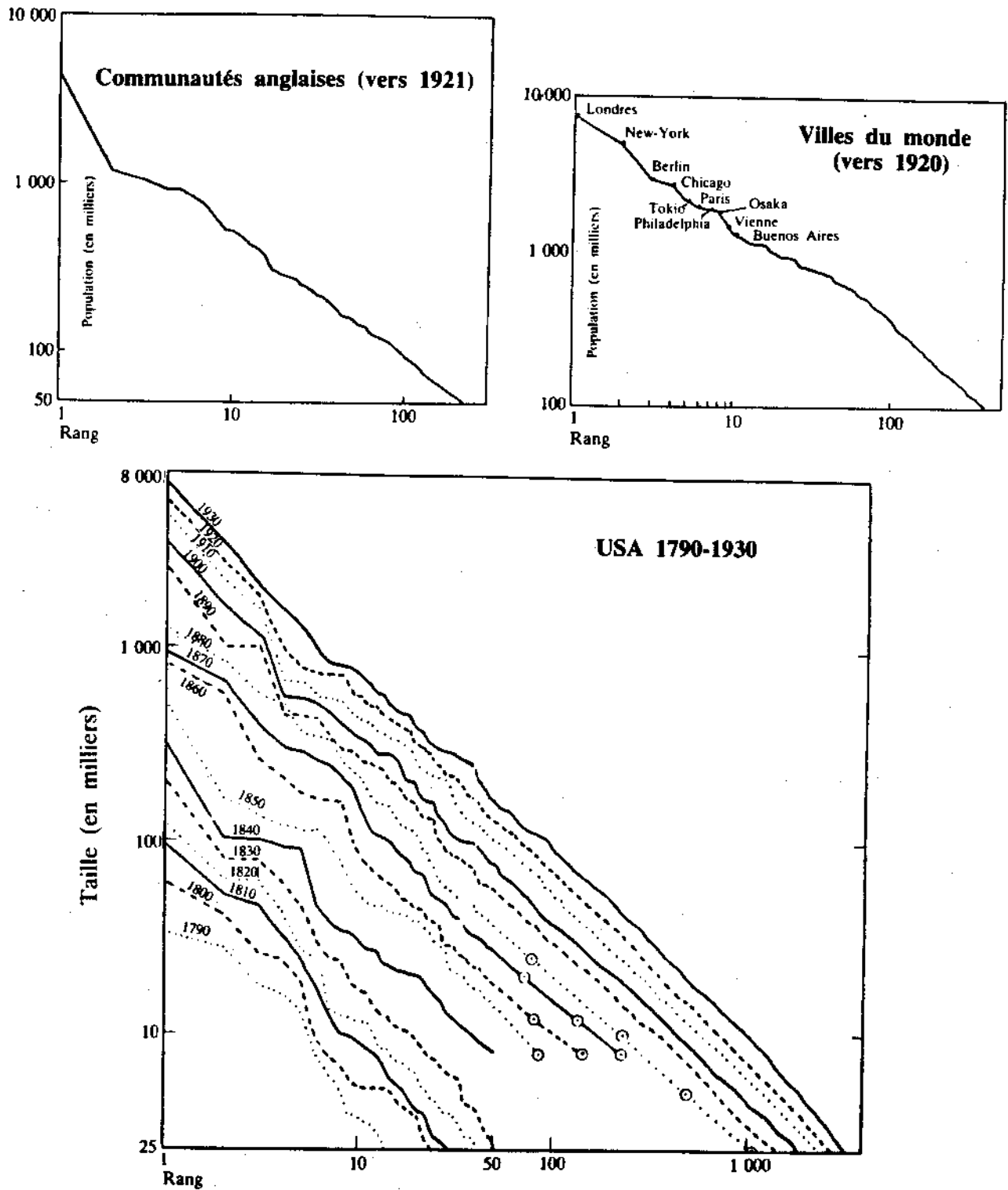
Figure 1. — Croissance d'une métropole (Berlin)



L'évolution historique des dimensions physiques de la ville de Berlin est strictement liée à celle de la vitesse des moyens de transports. On va d'un Berlin « à pied » d'environ 2 km de rayon, à un Berlin « en voiture » de 20 km de rayon. Un gain de surface d'un facteur 100 ! L'évolution de la taille du territoire urbain est liée à l'accroissement de la distance moyenne parcourue en une demi-heure en fonction des moyens de locomotion empruntés : à pied : environ 2 km ; en tramway : 7 km ; en métro : 16 km. L'élargissement de la périphérie au-delà d'un rayon de 20 km est lié au développement du trafic routier.

Cette organisation hiérarchique de la complexité a été analysée statistiquement par Zipf avec son fameux « rank-size ». On classe les villes d'une nation (ou du monde entier) selon leur taille (size) en fonction de la population (la plus grande figure au premier rang) et on les présente sur un graphique, avec le rang en abscisse et la taille en ordonnée. Sur

Figure 2-3. — Classement des villes selon leur taille

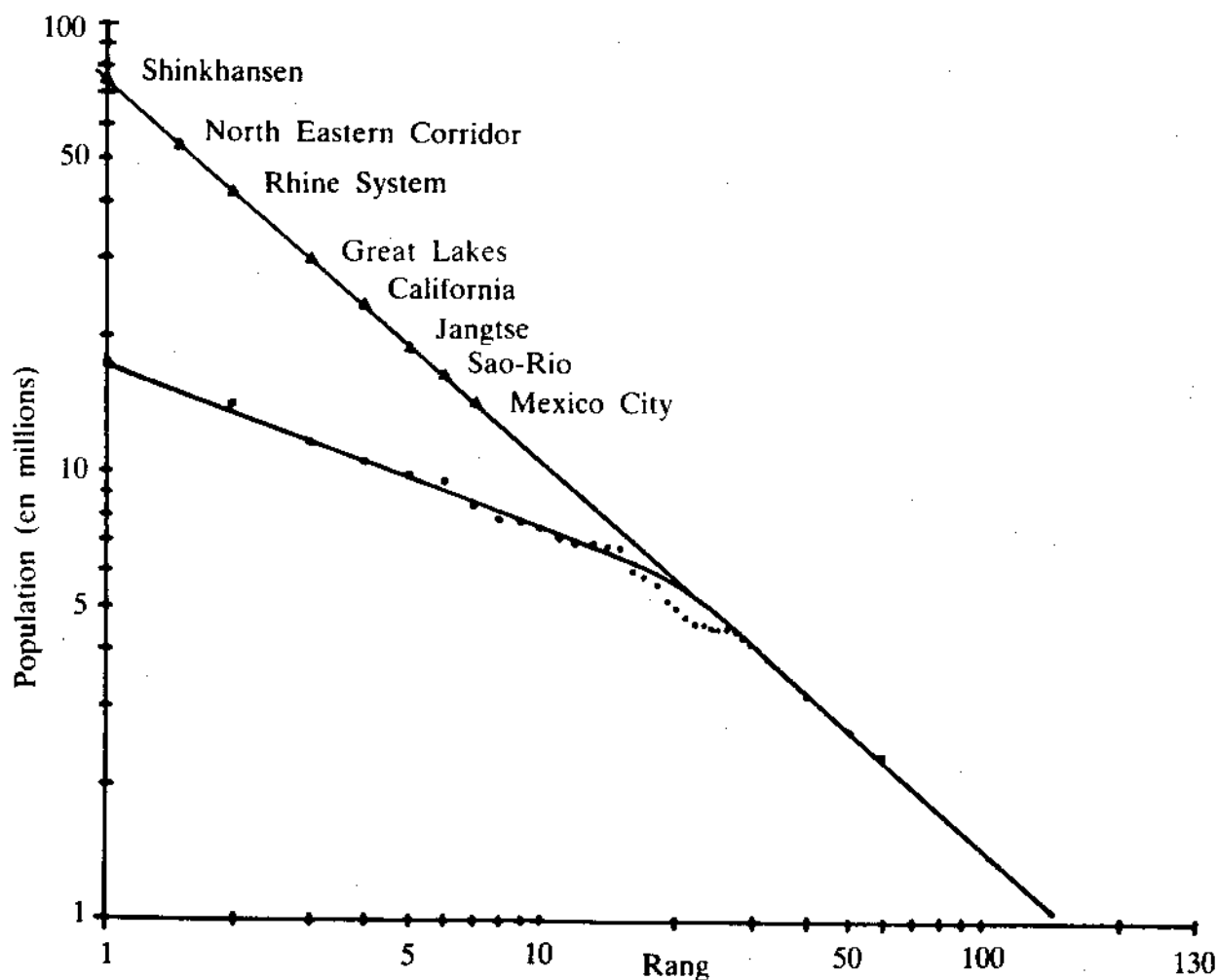


Si l'on classe les villes des Etats-Unis en fonction de leur taille (size) on donne à chacune une position dans la série (rank). Si, suivant Zipf, on dispose la série sur un graphique log-log on obtient habituellement une ligne droite. Les déviations nécessitent une explication qui, souvent, révèle les structures profondes du système. Par exemple, les villes anglaises en 1920 sont sur une ligne droite sauf Londres. Cette ville, par contre, se positionne parfaitement si l'on classe toutes les villes du monde, ce qui révèle sa qualité de capitale fonctionnelle du monde.

un graphique log-log la séquence s'ordonne normalement selon une droite (figure 2 pour les Etats Unis). Si l'on dispose l'ensemble des villes du monde au siècle précédent (figure 3), on voit que Londres occupe correctement le rang 1. L'analyse historique montre, en effet, que Londres, à cette époque, était la capitale fonctionnelle du monde entier.

Si l'on reprend l'exercice aujourd'hui on trouve la distribution de la figure 4. En fait, la ligne fait un coude au niveau d'environ 6 millions d'habitants. Suivant les règles de Zipf nos « grandes » villes ne le sont pas assez. Mais ici nous revenons à la définition de la ville, du fait que sa substance est dans les transports et que des moyens comme l'avion peuvent nous transporter très loin avec des temps de l'ordre de l'heure biologique dont on a parlé.

Figure 4. — Villes et corridors : vers une nouvelle hiérarchie fonctionnelle



En reprenant l'exercice avec les villes actuelles, on retrouve un coude sur la ligne aux alentours de 6 millions d'habitants. Ceci indique dans un sens que le système est à court de grandes villes (ligne pleine). Mais si l'on prend en compte les « corridors » qui intègrent plusieurs villes, on revient à une distribution correcte. Ceci révèle la valeur fonctionnelle du « corridor », au moins au niveau de la hiérarchie urbaine.

Doxiadis, dans son œuvre *Ecomenopolis*, a introduit un concept intermédiaire, l'Eperopolis. C'est une conurbation à l'intérieur de laquelle on peut, dans la journée, aller, mener à bien ses occupations et rentrer chez soi. Barcelone-Madrid ou Rome-Milan, rentrent typiquement dans cette catégorie. La dénomination américaine est « couloirs » (« corridors »). Le « Boswash » (Boston-New-York-Washington) et « San Diego-Los Angeles-San Francisco », en sont les types. Ces couloirs sont reliés par des « navettes » aériennes, caractérisées par des fréquences élevées et des formalités réduites, comme si elles étaient des « métros ». Et c'est bien ce qu'elles sont en réalité.

En reprenant la figure 4, si l'on reporte la population de ces couloirs, comme si c'étaient des villes, on retrouve parfaitement la relation de Zipf, c'est-à-dire une ligne droite sur le graphe. L'observation est de grande importance, parce qu'elle montre que la complexité de l'ensemble est reconstruite par la mobilité des couches supérieures de la population du système à l'intérieur du couloir. La gestion matérielle quotidienne des villes peut se faire séparément.

Le rang n° 1, dans cette deuxième version de la figure 4 est occupé par le Shinkansen, le couloir qui va de Tokyo à Osaka et qui englobe environ 80 millions de personnes. Ce couloir est desservi par des navettes lentes, les « bullet-trains » qui vont de Tokyo à Osaka en trois heures et demie et par des navettes rapides, les avions. Seuls les avions garantissent le caractère d'Eperopolis et la demande est surabondante. Au point qu'on utilise couramment une flotte de Jumbos 747 pour des trajets de quelques centaines de kilomètres.

La demande pour un service à haute capacité avec des performances similaires tire l'offre de façon formidable. De fait, les Japonais développent depuis des décennies un train à suspension magnétique, le Maglev, capable justement de vitesses « moyennes » de 600 km/h, la vitesse moyenne d'un avion si l'on prend en compte le temps des manœuvres de départ et d'atterrissage. Des trains sont déjà expérimentés et la première ligne pourrait être en service dans une dizaine d'années.

Le Maglev est une voiture étanche, en forme de fuselage d'avion, suspendue au-dessus de la voie par une répulsion magnétique. Sa propulsion et son freinage sont assurés par des champs magnétiques générés dans la voie qui entraînent la voiture par le même phénomène d'induction qui existe entre stator et rotor dans un moteur électrique. Ainsi la voiture n'a pas de « moteur », elle est totalement passive comme une cabine d'ascenseur. Elle est aussi très légère et peut être soumise à des accélérations importantes.

En Allemagne, à Berlin, on a déjà mis en fonction, une version légère conçue pour des métros, capable d'aller à 2/300 km/h. La différence est dans l'intensité des champs magnétiques mis en œuvre. Ils

permettent de soulever les voitures allemandes de 2 cm au-dessus de la voie alors que les japonaises peuvent être soulevées de 10 à 15 cm.

Le Maglev est, en quelque sorte, un « avion terrestre ». Comme nous le verrons sa capacité de réorganiser le réseau terrestre est considérable. Pour la vitesse, en effet, le modèle japonais est conçu pour 600 km de moyenne horaire, ce qui lui permet, comme on l'a dit, de faire jeu égal avec les avions.

Les problèmes aérodynamiques, bien sûr, ne sont pas négligeables, spécialement aux entrées de tunnels. D'où la nécessité de cabines étanches.

Dans l'aviation on parle de plus en plus souvent d'avions hypersoniques, avec des vitesses de l'ordre de Mach 6 (8 000 km/h).

Mais le Maglev a des potentiels similaires si on le fait transiter dans un « tube » où l'on réduit fortement la pression de l'air. Il est, d'ailleurs, assez probable que la première ligne japonaise circule dans un tel tube du fait que la moitié de son trajet doit, de toutes façons, se situer en tunnel et que le « tube » assure une protection parfaite. En plus de la protection, la circulation dans un tube résout parfaitement les problèmes d'aérodynamique.

Avec cette option le temps de transit de Maglev est uniquement déterminé par l'accélération que l'on considère acceptable par les passagers. Dans la mesure où les privilégiés dépensent des fortunes pour acquérir des voitures de sport capables d'accélération de 0,5 G ($5m/s^2$), j'ai pensé qu'une telle accélération pourrait être agréable à l'ensemble de la population. J'ai indiqué sur le tableau 1 ce que cela peut donner. En accélérant sur la moitié du parcours et en ralentissant sur l'autre moitié, on pourrait par exemple aller de Rabat à Paris en moins de 15 minutes.

Comme je l'ai indiqué, une liaison à travers le détroit de Gibraltar doit être envisagée à l'horizon d'une centaine d'années. Puis-je ajouter

Tableau 1. — Temps de transits avec un Maglev à accélération fixe pour différentes distances et accélérations.

$2 \sqrt{\frac{S}{a}}$	2 m/sec ²	5 m/sec ²	10 m/sec ²
500 km	17 minutes	10,5 minutes (5)	7,5 minutes
1 000 km	23 minutes	15 minutes (8)	10,5 minutes
2 000 km	33 minutes	21 minutes (11)	15 minutes

Ce tableau montre très schématiquement, juste pour donner une idée, ce que l'on peut faire avec des trains à accélération constante. L'idée est qu'avec des accélérations comparables à celles que l'on peut avoir, sur quelques secondes, dans des véhicules existants on peut « urbaniser » un système de la dimension Europe-Maghreb.

que le point faible de la science-fiction est qu'elle est trop rapidement dépassée par la réalité ? Dans une étude que j'ai faite pour Bolkow-Messerschmidt sur l'évolution des transports en Europe et dans le monde pour les 50 prochaines années, j'ai montré que la demande pour ce genre de performance en termes de vitesse et de capacité de transport sera très intense.

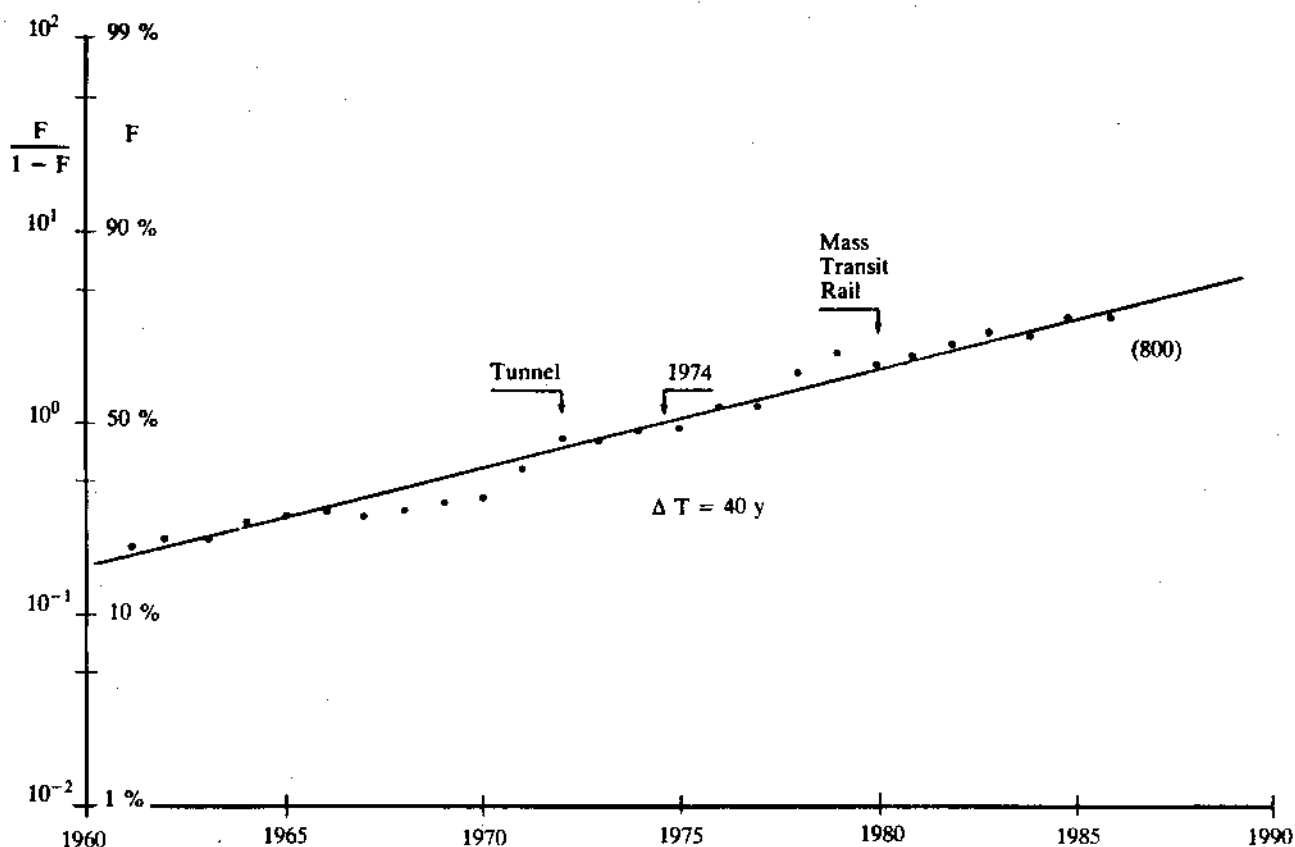
Les avions auront de la peine à fournir la capacité nécessaire aux « couloirs » dans les années à venir. Les Japonais en font déjà l'expérience avec leur utilisation inappropriée des Jumbo-Jets.

La vitesse mise à part, le Maglev a des qualités très intéressantes. Avec une accélération constante, par exemple, l'énergie que la voie doit fournir par unité de longueur est indépendante de la vitesse. Si la voie conserve cette énergie sous forme accumulée, par exemple magnétiquement, un train qui va et vient prend l'énergie en accélérant et la restitue en décélérant. On peut obtenir le même résultat avec une voie double en transférant l'énergie du train qui ralentit vers la voie parallèle qui ainsi se recharge. Pour un train dans un « tube » la consommation en énergie serait d'un ou deux ordres de grandeur inférieure à celle d'un jet en termes de passager/km transporté.

Les effets d'une liaison ultra-rapide entre deux villes ne sont pas difficiles à évaluer. J'ai étudié le problème pour le compte du CNR italien dans le cadre d'une évaluation du trafic sur un pont à travers le détroit de Messine. L'effet principal est de réduire le temps de traversée, par rapport à la technologie précédente du ferry-boat. En ordre de grandeur on passe d'une heure environ pour le ferry, attentes incluses, à 5 ou 10 minutes pour un pont.

J'ai étudié empiriquement les cas de Lisbonne, Istanbul et Hong Kong. Dans les trois cas, des villes pré-existaient à la construction du pont (de tunnels pour Hong Kong) à travers un fleuve ou un détroit. On peut voir le résultat-clé sur la figure 1. Si le temps de traversée du détroit est supérieur à 30 minutes, ce qui est inévitable avec une machine rudimentaire comme un ferry, les deux villes restent séparées. On a donc un trafic inter-urbain. Si le temps baisse au dessous de 20 minutes, ou mieux 10, en tenant compte des temps d'accès, on a un trafic intra-urbain. Cela veut dire que les lieux de travail de commerce et de loisirs, se mêlent suivant les procédures par lesquelles une ville s'auto-organise (Virirakis). Ce que j'ai découvert en étudiant ces trois cas, ainsi que par d'autres études ponctuelles, c'est que la somme des transits dans les deux sens, par jour, est égale à la population de la ville la plus petite. Dans le cas de Honk Kong, où la ville la plus petite, Victoria, a 2 millions d'habitants, le trafic à travers les 3 tunnels sera de 2 millions de personnes par jour. Le système n'est pas encore ajusté à ce chiffre mais se développe « logistiquement » vers cette valeur qu'il atteindra dans une

Figure 5. — Hong-Kong : transit à travers le détroit



Evolution logistique du nombre de transits à travers le détroit qui sépare Kouloon de Victoria. Le point de saturation de la logistique est de 800 millions de transits par jour.

vingtaine d'années (figure 5). La constante de temps de 40 ans donne une bonne idée de la vitesse de ces ajustements.

Notre problème de valoriser une œuvre de dimensions historiques comme une liaison terrestre à travers le détroit de Gibraltar, se réduit donc à un problème de temps. L'idéal serait naturellement de lier les conurbations existantes avec des temps de transit s'approchant des standards intra-urbains. Un lien Madrid-Tanger permettant un temps de trajet d'une heure mettrait les deux conurbations dans une situation d'Eperopolis. Le lien serait donc utilisé par les élites pour les affaires et les achats, comme dans le cas des navettes aériennes entre Madrid et Barcelone. Par jour, ce genre de trafic mobilise au maximum quelque chose comme une fraction de pour cent de la population. Les Maglevs de type japonais pourraient réaliser cela dès aujourd'hui.

Mais si le temps de transit était de l'ordre de 10 minutes par exemple, alors les conurbations seraient unifiées au niveau de l'ensemble de la population avec un trafic supérieur de deux ordres de grandeur. En

d'autres termes, on pourrait habiter dans un bel endroit sur la baie de Tanger et venir à son bureau à Madrid ; inversement les Madrilènes pourraient venir faire leurs courses à Fez.

Du fait que le système des villes de Tokyo à Osaka évolue vers une interconnexion de type métropolitain, les Japonais sont inévitablement attirés par le développement du Maglev à très haute vitesse, en tube. Cela résulte aussi très naturellement du fait que 50 % de la ligne en projet doit être en tunnel.

Mais, à mon avis, l'impact le plus profond est de nature politique. Dans un monde qui, grâce aux moyens de transport et de communication, est en train de s'unifier, les hommes ont peur de cette nouvelle dimension et cherchent refuge dans les tranquilles étangs de leurs vieilles cultures et de leurs ethnies. Ces racines, comme le mot le dit bien, sont enfouies dans la terre. Un système de transports ultra-rapides peut unifier le monde sans déraciner les hommes.

Gibraltar pourrait être une clé de voûte dans un dessein intercontinental.
