



## **DES RÉSERVES IMPORTANTES DE CAPACITÉ À LONG TERME DANS LES PRINCIPALES LIGNES FERROVIAIRES À GRANDE VITESSE ET LES GRANDS AÉROPORTS PARISIENS**

*Alain SAUVANT*

Les principales lignes ferroviaires à grande vitesse (LGV) et les aéroports parisiens présentent encore d'importantes réserves de capacité, à condition d'utiliser du matériel de plus grande capacité (TGV à deux niveaux, en unité multiple, avions de grande capacité), en recourant des systèmes de "contrôle commande" performants et en utilisant davantage l'infrastructure, notamment aux heures creuses. Ces gains maximaux de capacité à long terme (2020 à 2030) sans infrastructures nouvelles sont de plus de quatre fois les flux actuels pour la LGV Sud-Est, pourtant la plus saturée, et de plus de quatre fois également pour les aéroports de Paris (hors contraintes réglementaires entraînant un plafonnement du nombre de mouvements). Les comparaisons internationales montrent qu'un tel niveau d'utilisation des capacités peut être atteint en pratique, que ce soit pour les LGV ou pour les aéroports. Ces gains sont possibles à réglementation inchangée pour les TGV.

Cette mobilisation de la capacité disponible passe également, surtout pour le mode ferroviaire, par un recours accru à des modulations tarifaires pour une meilleure utilisation des capacités.

### **La capacité est au cœur de la politique des transports**

La question de la capacité des principales lignes ferroviaires à grande vitesse et des grands aéroports se situe au cœur des choix de politique des transports en matière de transport de voyageurs à longue distance.

En effet, rien ne sert de développer des nouvelles lignes ferroviaires à grande vitesse (par exemple Lyon-Turin) si elles induisent un supplément de trafic qui ne peut s'écouler sur les lignes les plus chargées (Paris-Lyon dans ce même exemple). De même, des politiques visant, au nom d'une optimisation collective intégrant des éléments environnementaux, à reporter des flux de voyageurs du mode aérien vers le mode ferroviaire pourraient trouver leurs limites davantage dans des problèmes de capacité que dans des difficultés d'orientation de la demande.

### **Capacité à court terme et capacité à long terme**

À court terme (un an), les problèmes de capacité constituent un élément clé des politiques commerciales des entreprises ferroviaires et aériennes de transport de voyageurs (SNCF, Air France, Air Lib). En période de tension sur le matériel roulant, l'ajustement de la demande sur l'offre peut se faire en augmentant les prix alors que, en l'absence de problèmes de matériel roulant, une politique de développement de volumes est préférable compte tenu de l'importance des coûts fixes. Ce cas a été rencontré au début de cette année, où les tensions sur le matériel roulant constatées en 2001 ont amené la SNCF à relever ses tarifs sur le TGV Méditerranée au début de l'année 2002. Ce point ne sera pas traité ici, la présente note considérant essentiellement les implications des problèmes de capacité en termes de politique des transports à horizon de long terme (2020 ou 2030).

### **Une panoplie de solutions aux problèmes de capacité, de temporalité et de coût très variables**

A long terme, la solution à plusieurs problèmes de capacité rencontrés aujourd'hui peut être trouvée. Il s'agit notamment :

- des limites liées à la quantité de matériel disponible (TGV, avions), pour lesquelles des commandes peuvent être passées aux industriels avec un horizon de quelques années pour le matériel ferroviaire ; pour le transport aérien, les délais d'adaptation peuvent être plus rapides en cas de ré-allocation d'appareils d'une ligne à l'autre ;
- des limites liées à la capacité réduite du parc en service par rapport à celui que peuvent offrir les industriels (par exemple du matériel TGV à un seul niveau par rapport à deux niveaux). Ici, les délais économiques d'adaptation peuvent être de l'ordre de la durée de vie résiduelle des matériels, qui ne peut dépasser la durée de vie totale de 35 années environ. Les horizons auxquels cette contrainte peut être levée sont donc de 2015 pour la ligne Sud-Est, 2025 pour la ligne Atlantique, et 2030 pour la ligne Nord et l'interconnexion. Cette contrainte apparaît donc levée en 2030, et même pour l'essentiel dès 2020. Pour les avions, l'existence d'un marché de l'occasion permet de s'affranchir de cette contrainte ;
- des limites liées à la capacité de l'infrastructure (lignes à grande vitesse, aéroports) . Des solutions peu coûteuses (quelques dizaines de millions d'euros de coûts supplémentaires) existent. Ainsi, sur les LGV, des systèmes technologiques de " contrôle commande " ont été développés qui permettent un gain de capacité notable par rapport à l'existant (quinze trains par heure et par sens au lieu de douze en service commercial) ;
- des solutions de développement de nouvelles infrastructures existent également (triplément de voies LGV, nouvelles LGV, nouvel aéroport), mais à des coûts importants, supérieurs à deux milliards d'euros (accès terrestres à un nouvel aéroport compris).

### **Une méthode basée sur l'étude de l'emport des matériels et de l'utilisation des infrastructures**

La capacité maximale d'une infrastructure peut se caractériser par le produit du trafic maximal (nombre de trains ou d'avions par jour) et par l'emport maximal (nombre de passagers par train ou avion). L'examen de la capacité disponible, et donc des réserves de capacité, doit donc considérer ces deux points.

La méthode développée ici passe donc par les étapes suivantes :

- un bilan de la situation actuelle (2000) en matière d'emport des matériels (TGV et avions) ;
- un bilan de l'utilisation des infrastructures en matière de trafic (nombre de mouvements) par rapport à un trafic normatif maximal ;
- l'estimation des réserves de capacité, tant du côté de l'amélioration de l'emport que de celui de l'utilisation des infrastructures.

On notera que, à l'évidence, les problèmes de capacité en ligne sur les LGV sont plus importants sur les troncs communs que sur des lignes moins chargées. Seuls ces troncs communs, susceptibles de saturation, sont donc étudiés ici.

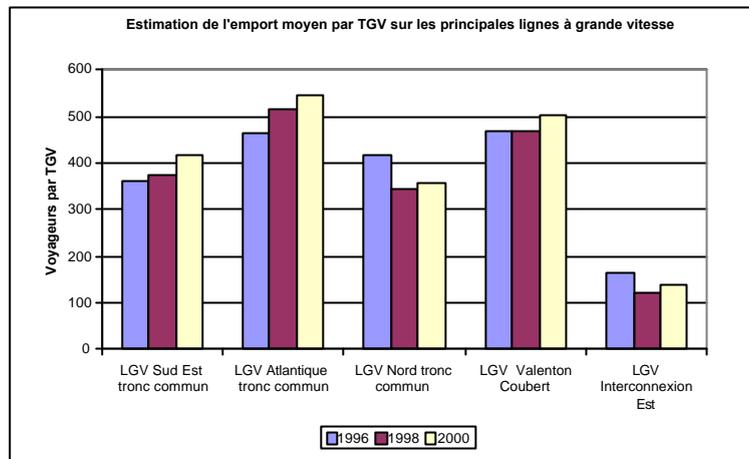
### **Emport des matériels roulants TGV**

L'emport des matériels roulants TGV pour les principales lignes à grande vitesse peut être estimé en rapprochant les données de flux de voyageurs TGV des principales gares parisiennes et des TGV jonction (Province - Province) des données de nombre de circulations effectives de rames de TGV en service commercial sur les principaux tronçons de LGV.

<sup>1</sup> Systèmes d'exploitation destinés à assurer la sécurité et la fluidité de la circulation des trains, tels que " transmission voie-machine " TVM 430 à cantons courts ou " european rail traffic management system " ERTMS niveaux 2 ou 3.

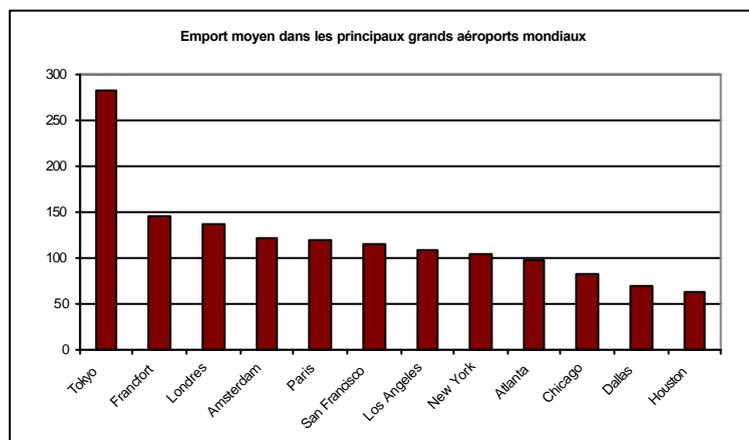
## VOYAGEURS

Le graphique ci-dessous retrace l'évolution sur la période 1996-2000 du niveau estimé de l'emport moyen en voyageurs par train des TGV sur les troncs communs des trois principales lignes à grande vitesse (LGV Sud-Est, Atlantique, et Nord), ainsi que la LGV d'interconnexion Est et la partie de LGV Valenton-Coubert (utilisée à la fois pour l'interconnexion Sud-Est - Atlantique et les dessertes Paris Sud-Est).



### **Emport des avions aux aéroports de Paris**

Le graphique ci-dessous montre le niveau de l'emport moyen en passagers par mouvement commercial en 2000 dans les douze principaux aéroports (ou groupes d'aéroports) mondiaux. Du fait de la présence de fret et de passagers, une prise en compte du fret au moyen d'un coefficient d'équivalence s'impose. Pour calculer l'emport, le coefficient d'équivalence de dix passagers pour une tonne a été retenu.



### **D'importantes réserves de capacité dans le transport ferroviaire de voyageurs à grande vitesse**

Pour apprécier l'ampleur des réserves de capacité dans le transport ferroviaire de voyageurs à grande vitesse, deux approches peuvent être envisagées :

- une estimation de la capacité maximale normative de chaque ligne,
- une comparaison internationale.

Cette capacité normative nécessite des achats de matériels roulants TGV supplémentaires et un renouvellement total de la flotte TGV vers du matériel à deux niveaux. Elle représente ainsi une situation de long terme.

La fluctuation de la demande dans la journée amène à retenir un remplissage moyen des TGV à 75 % seulement de la capacité totale en moyenne annuelle, ordre de grandeur de ce qui est constaté actuellement.



## VOYAGEURS

L'approche consiste à mesurer la capacité normative offerte dans les hypothèses suivantes :

- utilisation systématique d'éléments TGV en unité multiple (deux rames par train) ;
- utilisation systématique de TGV duplex (deux niveaux)<sup>2</sup> ;
- remplissage moyen des TGV à 75 % de la capacité totale en moyenne annuelle ;
- utilisation<sup>3</sup> de quinze sillons par heure, de 6 heures à 22 heures avec un " blanc " pour travaux d'une heure en cours de journée.

### **Contraintes de capacité et contraintes de service public**

L'hypothèse d'une circulation étalée uniformément sur la période située entre 6 heures et 22 heures (hors " blanc travaux ") est celle qui pose le plus de problèmes méthodologiques. Elle signifie implicitement un étalement de la demande au cours de la journée et au cours de la semaine pour remplir correctement les trains en dehors des périodes de pointes hebdomadaires et journalières. La gestion d'une telle situation passe par des contrastes tarifaires forts entre les prix pratiqués en pointe et ceux pratiqués hors pointe, de manière à inciter une partie importante des voyageurs à reporter leurs heure et jour de départ. Actuellement, même par rapport aux pratiques des compagnies aériennes, la modulation des tarifs pratiquée en France par la SNCF est assez faible, ce qui laisse à penser qu'il reste d'importantes marges de manœuvre tarifaires inutilisées.

On observera que le fait d'offrir des capacités adéquates aux heures de pointe peut être considéré comme une contrainte de service public. Cette contrainte a un coût plus ou moins important selon que l'on fixe des contraintes de réponse à la demande en hyper-pointe annuelle, en pointe hebdomadaire ou en pointe journalière. Dans la situation actuelle, cette contrainte est d'ailleurs intériorisée par l'exploitant ferroviaire sans qu'aucune contribution publique ne vienne la compenser. En tout état de cause, il s'agit là d'une contrainte de service public et non de capacité au sens strict du terme.

### **Quelques ratios pour mesurer le taux d'utilisation des capacités**

On peut alors calculer les ratios suivants concernant l'utilisation des capacités :

- le taux d'utilisation des capacités du matériel roulant par rapport à sa capacité normative : 
$$\frac{\text{emport en 2000}}{\text{emport normatif}}$$

- le taux d'utilisation des capacités de l'infrastructure par rapport à sa capacité normative : 
$$\frac{\text{sillons utilisés en 2000}}{\text{capacité normative}}$$

- le taux d'utilisation global de la capacité par rapport à la capacité normative : 
$$\frac{\text{emport en 2000}}{\text{emport normatif}} * \frac{\text{sillons utilisés en 2000}}{\text{capacité normative}}$$

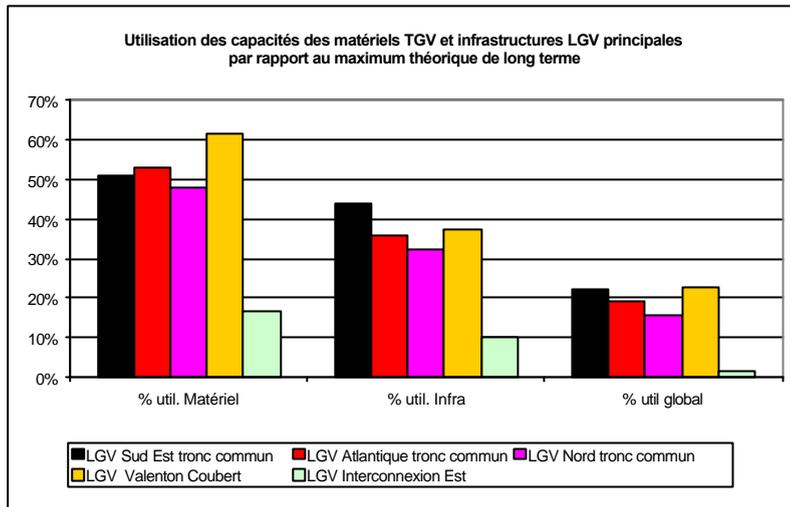
Comme on le constate sur le graphique ci-après, les taux d'utilisation des capacités du matériel roulant ne dépassent pas 53 % et ceux des capacités des infrastructures ne dépassent pas 44 %. Le taux d'utilisation global de la capacité, tel que défini ci-dessus, ne dépasse pas 22 %.

<sup>2</sup> À huit voitures sauf pour la LGV Atlantique où les quais sont adaptés à des rames de dix voitures. Pour la LGV Nord, l'utilisation de rames à deux niveaux n'est pas supposée possible pour les Eurostar.

<sup>3</sup> Par les circulations commerciales.



## VOYAGEURS

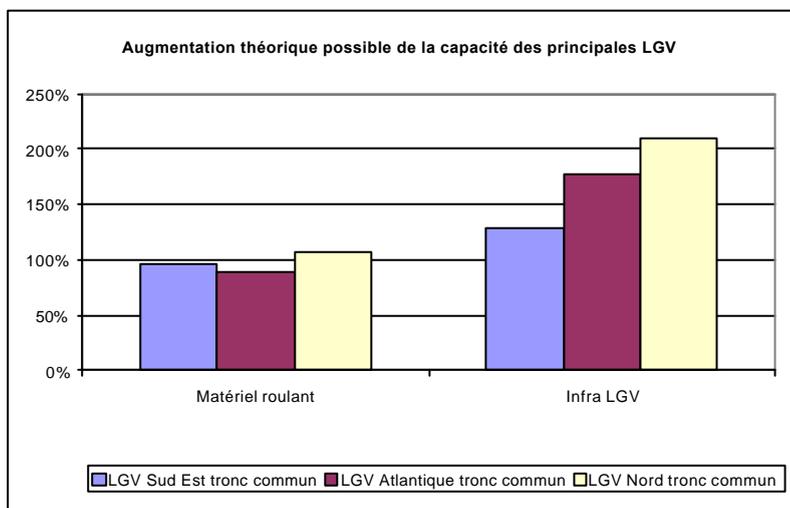


La LGV Sud-Est est la ligne où le taux d'utilisation global des capacités est le plus élevé en 2000. Sur cette ligne, les mesures suivantes pourraient augmenter la capacité de :

- 48 % pour l'utilisation systématique de rames en unités multiples<sup>4</sup> ;
- 33 % pour l'utilisation systématique de rames à deux niveaux<sup>5</sup> ;
- 128 % pour l'utilisation des quinze sillons disponibles journaliers (6h-22h).

La combinaison de ces trois effets conduirait à un total de 348 % d'augmentation de capacité (multiplication des flux voyageurs par 4,5).

Le graphique ci-dessous illustre les potentiels disponibles pour les trois principaux troncs communs des lignes à grande vitesse (LGV) en France.



On notera que la méthode développée ici ne tient pas compte des capacités d'accueil des voyageurs dans les gares parisiennes, qui pourraient se révéler plus limitantes que celles des lignes à grande vitesse elles-mêmes. Les gains de capacité calculés ici le sont à réglementation inchangée. La levée de l'obligation de disposer d'une place assise pour tous les voyageurs permettrait d'ailleurs d'accroître encore la capacité disponible.

<sup>4</sup> Le taux d'utilisation de rames en unités multiples (UM) retenu comme référence (2000) est de l'ordre de 35 %. Aucune donnée n'est disponible par ligne sur ce taux. L'estimation ressort un peu au-dessus de la moyenne nationale.

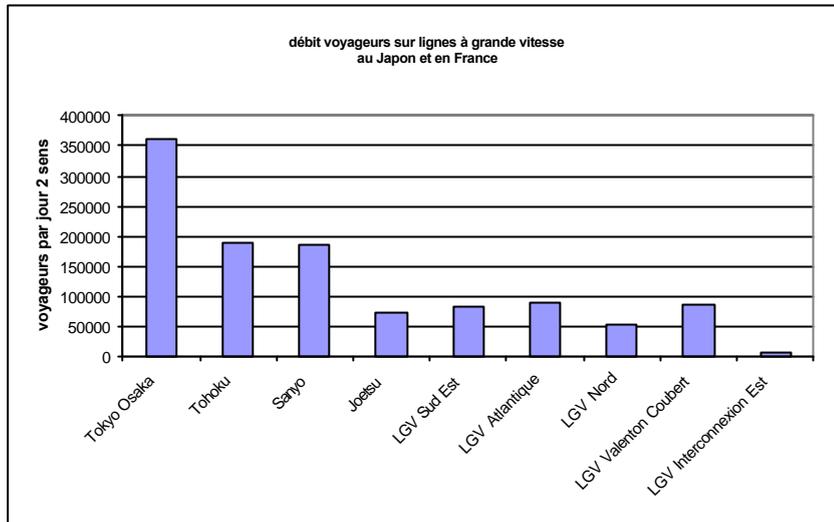
<sup>5</sup> Le taux d'utilisation du matériel à deux niveaux retenu comme référence (2000) est de 25 %. Cette estimation a été faite au regard du nombre de rames en service fin 2000 (30 rames duplex et 105 rames Sud-Est).



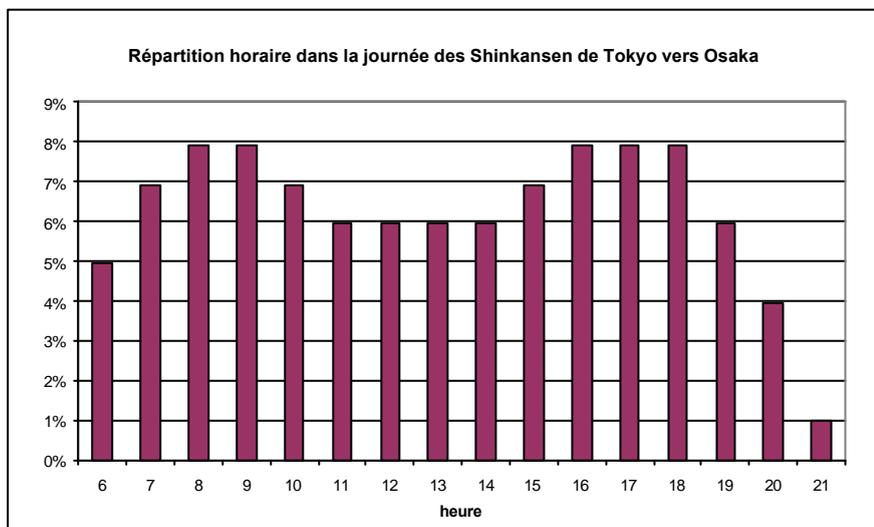
## VOYAGEURS

**Jusqu'à quatre fois plus de voyageurs par ligne à grande vitesse au Japon qu'en France**

En termes de comparaisons internationales, le graphique ci-dessous indique le nombre de voyageurs par jour (sur les deux sens) sur diverses lignes à grande vitesse en France et au Japon. Il en ressort que les lignes japonaises écoulent un flux de voyageurs bien supérieur aux lignes françaises, notamment grâce à une utilisation mieux répartie dans la journée des capacités et à un emport par train significativement plus élevé. Entre la ligne japonaise la plus chargée et les lignes françaises les plus chargées, le ratio des flux par ligne atteint 4,1.



L'utilisation intensive des lignes passe par la mobilisation de la capacité de l'infrastructure de 6 heures à 22 heures, y compris hors pointe, associée à l'utilisation d'un nombre important de rames à deux niveaux et à un pourcentage élevé de voyageurs debout aux heures et jours de pointe.



**Des réserves de capacité importantes à Paris pour les voyageurs aériens**

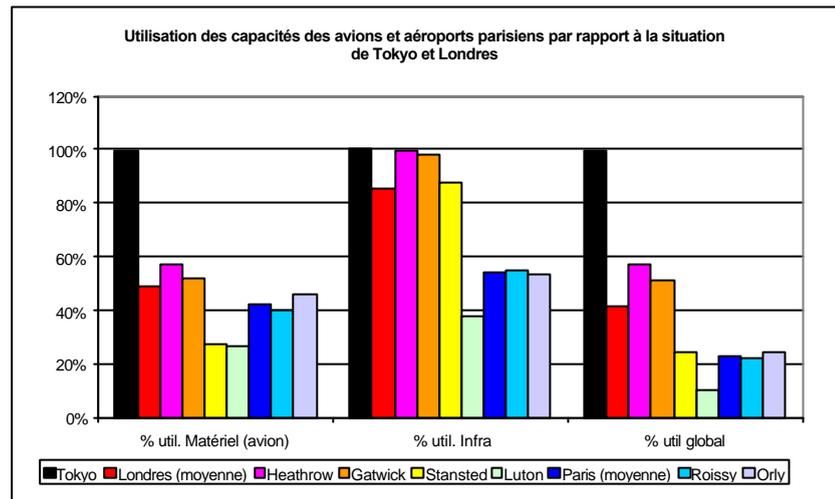
L'approche développée ci-dessous consiste à comparer les capacités mobilisées dans les grands aéroports parisiens et des référents étrangers où des problèmes de capacité se posent, à savoir Tokyo et Londres. Elle ne tient pas compte des plafonds réglementaires susceptibles de limiter la capacité des infrastructures.

La référence retenue en matière d'emport maximal par avion est celle de Tokyo, qui présente les emports les plus élevés des grands aéroports mondiaux. Ainsi, par convention, aucune réserve d'amélioration de l'emport n'est supposée disponible pour Tokyo. L'utilisation maximale de l'infrastructure est définie par rapport au nombre de pistes et à leur géométrie.

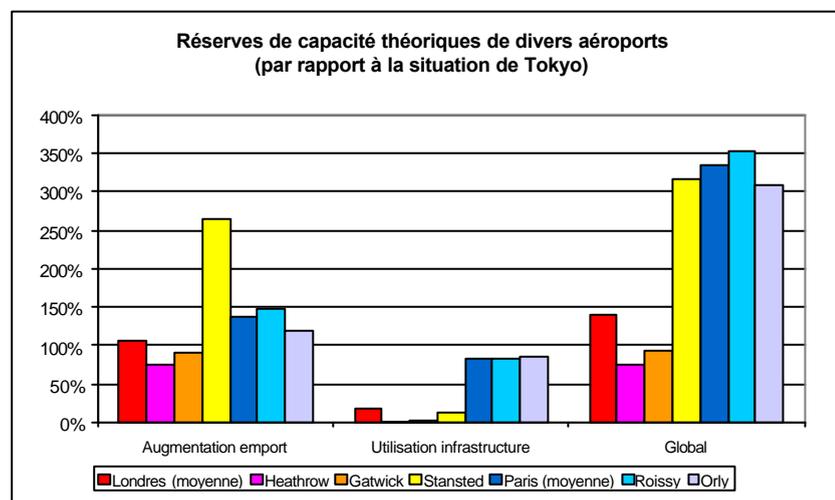
## VOYAGEURS

Le graphique ci-dessous illustre, pour les aéroports londoniens et parisiens, l'utilisation des capacités par rapport à la référence. L'emport moyen par avion à Paris se situe ainsi à 42 % de celui de Tokyo, ce qui tendrait à prouver que le potentiel d'augmentation des volumes de passagers est de 137 % sans mouvements d'avions supplémentaires.

Le nombre de mouvements, si l'on se réfère à la situation des aéroports les plus saturés à Londres (Heathrow et Gatwick), montre une utilisation de 54 % des capacités de l'infrastructure, et donc un potentiel d'augmentation de 84 %. Au total, la croissance potentielle des flux de passagers, sans nouvel aéroport ni mobilisation des capacités des aéroports de province est de 335 % (multiplication par 4,3).



Le graphique ci-dessous montre une estimation des potentiels d'augmentation des capacités des différents aéroports étudiés.



### Estimation du coût économique du dimensionnement du parc grandes lignes sur les pointes

Le parc de matériel roulant grandes lignes est globalement dimensionné :

- sur la pointe hebdomadaire (vendredi après midi et dimanche après midi) pour le TGV,
- sur des pointes de grands départs (hyper-pointe) pour le matériel roulant classique.

Les calculs suivants visent à estimer l'ordre de grandeur du coût supplémentaire lié à ce dimensionnement du parc par rapport à un dimensionnement du parc sur le volume de trafic du jour ouvrable de base.



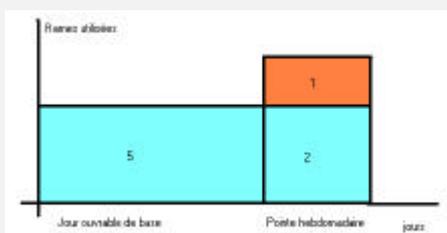
## Parc TGV dimensionné sur la pointe hebdomadaire

Le coût net du dimensionnement sur la pointe hebdomadaire peut être estimé comme la différence entre les coûts supplémentaires liés au dimensionnement d'une part, et les recettes supplémentaires permises par ces matériels supplémentaires d'autre part.

En examinant les horaires des TGV en pointe hebdomadaire, on constate qu'il y a environ 50 % de circulation en plus les vendredis et dimanches après midi. Ainsi, par rapport à un parc dimensionné sur le jour ouvrable de base (JOB), le parc dimensionné pour la pointe hebdomadaire doit être supérieur de 40 % environ, si l'on tient compte des possibilités d'éviter des entretiens de matériel roulant en pointe.

Les coûts de possession du matériel roulant sont donc de l'ordre de 40 % supérieurs à un dimensionnement sur le jour ouvrable de base.

Du côté des recettes, le graphique ci-dessous montre que, en première approximation, le supplément de recettes lié au dimensionnement supplémentaire du parc est de 1/7, soit 14 %. En effet seul le rectangle en haut à droite correspond au trafic qui ne peut être assuré en cas de dimensionnement sur un jour de base.



Le coût net du dimensionnement sur la pointe hebdomadaire est donc de 40 % - 14 % soit 26 % du coût du parc.

Avec un parc de 350 rames TGV, une annuité (6 %, 35 ans) de 6,9 % du capital et un coût unitaire à neuf de 13 millions d'euros par rame, on obtient un coût annuel de possession total du parc de 314 millions d'euros. Le coût net du dimensionnement en pointe hebdomadaire du parc TGV ressort donc à 80 millions d'euros par an environ.

## Parc de matériel roulant grandes lignes classiques dimensionné sur l'hyper-pointe

L'estimation du coût du dimensionnement du matériel roulant grandes lignes classiques peut être faite en première approche par comparaison avec celui du dimensionnement du parc TGV.

Le ratio d'occupation des sièges du parc de voitures grandes lignes classiques est de l'ordre du cinquième de celui des TGV (252 000 voyageurs-kilomètres par an et par siège en TGV contre 54 000 en train classique grandes lignes).

Le coût du dimensionnement du matériel pour faire face aux pointes et hyper pointes (par rapport à la seule pointe hebdomadaire) peut être estimé ainsi en première approximation à un peu moins de quatre cinquièmes environ de son coût total, compte tenu de la vitesse de circulation plus faible du parc classique par rapport au parc TGV. On retient ainsi, dans une approche par défaut, une fourchette de 50 % à 66 % du coût total de possession pour le surcoût du dimensionnement à l'hyper-pointe.

Avec des hypothèses de coût d'un million d'euros par voiture neuve<sup>6</sup> et un parc de 3 559 voitures à fin 2001, un financement sur 35 ans à 6 %, on obtient un coût annuel total du parc de 245 millions d'euros. Le coût du dimensionnement en hyper pointe ressort ainsi dans une fourchette de 120 à 160 millions d'euros par an<sup>7</sup>.

Le coût économique total du dimensionnement en pointe du matériel grandes lignes TGV et hors TGV ressort ainsi à 200 à 240 millions d'euros par an, soit 5 % à 6 % des produits annuels du trafic grandes lignes ou un peu moins de la moitié de l'excédent brut d'exploitation de cette activité.

On notera que, sauf exception, le nombre de vols offerts pour les destinations domestiques par les principales compagnies aériennes en France ne varie pas ou presque pas d'un jour à l'autre de la semaine. Ce type de coût de dimensionnement des pointes n'existe pas dans le transport aérien, qui gère la demande excédentaire en pointe hebdomadaire ou en hyper-pointe au moyen de tarifs significativement plus différenciés que ceux de la SNCF.

<sup>6</sup> En tenant compte des locomotives associées aux voitures corail, dans le cadre des coûts unitaires et des ratios retenus par la SNCF pour évaluer les investissements érudés du projet de TGV Atlantique.

<sup>7</sup> L'estimation ne tient pas compte des coûts de dimensionnement des gares ou des coûts de personnels liés à l'absorption des pointes.