



HAL
open science

Un petit modèle bidimensionnel décrivant l'univers des déplacements

Francis Papon

► **To cite this version:**

Francis Papon. Un petit modèle bidimensionnel décrivant l'univers des déplacements. Les Cahiers Scientifiques du Transport / Scientific Papers in Transportation, 1992, 26 | 1992, pp.53-64. 10.46298/cst.11920 . hal-04118128

HAL Id: hal-04118128

<https://hal.science/hal-04118128v1>

Submitted on 6 Jun 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

Un petit modèle bidimensionnel décrivant l'univers des déplacements

Francis PAPON

INRETS

Arcueil - France

La vitesse des déplacements est loin d'être constante et a tendance à croître avec la distance. De plus, les vitesses élevées ne sont accessibles qu'à des coûts également élevés. Enfin, certains types de déplacement semblent plus favorisés que d'autres par les technologies actuelles : la congestion affecte les voies de circulation des grandes agglomérations tandis que des trains à grande vitesse relient des villes distantes de 500 kilomètres en 2 heures, et que des vols supersoniques traversent l'Atlantique en 3 heures et demie.

Pour étudier ces effets, nous créons ci-après un petit modèle bidimensionnel simple. Nous examinons ensuite si certains déplacements constituent une défaillance des technologies de transport actuelles. Nous cherchons enfin à voir si l'introduction d'un nouveau mode de transport permet de pallier cette défaillance.

1. LES DEPLACEMENTS: UN UNIVERS AXE SUR DEUX DIMENSIONS, LE VOYAGE ET LE VOYAGEUR

L'univers des déplacements de personne effectués dans le monde comprend de multiples facettes. Pour simplifier, un déplacement de personne est constitué par l'association d'un *déplacement physique*, ou *voyage* (aller d'un point A à un point B à une certaine date), et d'un *usager* ou *voyageur* effectuant ce déplacement, et qui a certaines caractéristiques.

Nous modélisons le déplacement physique par une seule dimension: la *distance* (à vol d'oiseau) du déplacement, notée d . Nous considérons des distances variant de 0,1 à 20000 km, par pas géométrique de 1,5. Bien sûr, la distance ne peut à elle seule représenter la diversité des déplacements physiques (d'origines et destinations variées, en ville, à la périphérie d'une ville, en rase campagne, entre deux villes, franchissant une montagne ou un océan, dans un pays développé bien équipé ou dans un pays en développement, à diverses heures de la journée, sous différentes conditions météorologiques, etc). Nous considérerons donc des déplacements originaires du centre d'une grande agglomération d'un pays développé (Paris), à une heure ouvrable pour fixer les paramètres du modèle.

Nous modélisons l'usager par une seule dimension: la *valeur du temps*, notée h . Nous considérons des valeurs du temps variant de 1 à 16000 F/h, par pas géométrique de 1,5. Bien sûr encore, cette valeur du temps ne peut à elle seule représenter la diversité des usagers (âge, sexe, catégorie socio-professionnelle, revenu, motif du déplacement, capacités physiques, etc). Mais ici, nous supposons que seule la valeur du temps intervient dans la fonction d'utilité de l'usager.

Face à un déplacement physique et à un usager, les technologies de transport offrent différentes solutions appelées *modes*, notés m , ayant des caractéristiques différentes (temps de transport, coût, fréquence, confort, trajets terminaux, fiabilité etc). Nous ne retenons que deux caractéristiques: le temps total de transport, noté t_m et le coût total de transport, noté c_m . Nous supposons de plus, que pour un mode donné, ces deux caractéristiques sont des fonctions affines de la distance d :

$$t_m(d) = t_{0m} + d/v_m \text{ (R1);}$$

$$c_m(d) = c_{0m} + \gamma_m \cdot d \text{ (R2).}$$

Un mode m est donc parfaitement défini par les quatre paramètres:

t_{0m} : temps de transport terminal;

v_m : vitesse principale du mode;

c_{0m} : coût fixe du mode;

γ_m : coût kilométrique du mode.

Nous considérons 17 modes pour couvrir l'ensemble des déplacements. Cela est peu étant donné la diversité des technologies utilisées, mais permet de dresser un panorama assez général. Les caractéristiques de ces modes sont données dans le tableau T.1 sur la base d'estimations personnelles. Parmi ces 17 modes, le mode 6: voiture particulière sur voies rapides urbaines à péage est supposé être un mode nouveau que nous considérons ne pas exister pour le moment.

Tableau T.1: Caractéristiques des différents modes.

| Mode | t_{0m} (h) | v_m (km/h) | c_{0m} (F) | γ_m (F/km) |
|--|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| 1. Marche à pied | 0,00 | 4 | 0 | 0,06 |
| 2. Bicyclette | 0,01 | 8 | 1 | 0,15 |
| 3. Cyclomoteur | 0,02 | 12 | 2 | 0,35 |
| 4. Motocyclette | 0,03 | 14 | 4 | 0,75 |
| 5. VP sur voirie urbaine (1) | 0,05 | 16 | 4 | 0,85 |
| 6. VP sur voies rapides urbaines à péage (1) | 0,15 | 50 | 6 | 3,05 |
| 7. VP sur routes de rase campagne (2) | 1,00 | 70 | 10 | 0,35 |
| 8. VP sur autoroutes interurbaines à péage (2) | 1,00 | 120 | 10 | 0,50 |
| 9. Autobus | 0,10 | 10 | 0 | 0,40 |
| 10. Métro | 0,20 | 20 | 0 | 0,60 |
| 11. RER | 0,30 | 30 | 0 | 0,70 |
| 12. Train ordinaire | 1,30 | 100 | 6 | 0,40 |
| 13. TGV | 1,40 | 200 | 18 | 0,60 |
| 14. Hélicoptère | 0,50 | 300 | 100 | 15,00 |
| 15. Avion ordinaire | 1,70 | 850 | 100 | 0,80 |
| 16. Avion supersonique | 1,70 | 2200 | 6000 | 2,00 |
| 17. Traversée maritime | 3,00 | 15 | 100 | 0,20 |

Nota : (1) Taux d'occupation de 1,15. (2) Taux d'occupation de 2,5.

Pour un déplacement physique de distance d et un usager à la valeur du temps h , les performances d'un mode m sont représentées par le *coût généralisé* de transport:

$$c_g(h,d) = c_m(d) + h \cdot t_m(d) = c_{0m} + \gamma_m \cdot d + h \cdot t_{0m} + h \cdot d/v_m \text{ (R.3),}$$

ou encore par le *temps généralisé* de transport:

$$tg_m(h,d) = t_m(d) + c_m(d)/h = t_{0m} + d/v_m + c_{0m}/h + \gamma_m \cdot d/h \quad (R.4),$$

ou mieux encore par la *vitesse généralisée* de transport:

$$vg_m(h,d) = d/tg_m(h,d) = \frac{d \cdot h}{c_{0m} + \gamma_m \cdot d + h \cdot t_{0m} + h \cdot \frac{d}{v_m}} \quad (R.5),$$

qui a l'avantage d'avoir une expression symétrique en h et d.

L'usager choisit le mode le plus avantageux:

$$\hat{m}(h,d) = \operatorname{argmax}_m \left(\frac{d \cdot h}{c_{0m} + \gamma_m \cdot d + h \cdot t_{0m} + h \cdot \frac{d}{v_m}} \right) \quad (R.6),$$

réalisant une vitesse généralisée:

$$\hat{vg}(h,d) = \max_m \left(\frac{d \cdot h}{c_{0m} + \gamma_m \cdot d + h \cdot t_{0m} + h \cdot \frac{d}{v_m}} \right) \quad (R.7).$$

Il est facile de voir que la fonction $\hat{vg}(h,d)$ est croissante par rapport à chacun de ses arguments.

Ainsi, dans un espace (h,d,vg) , les performances des technologies de transport sont représentées par une surface $vg = \hat{vg}(h,d)$. Cette surface est découpée en secteurs sur lesquels un mode est le plus performant. La frontière entre un mode m et un mode m' est un arc d'hyperbole sur le plan (h,d) d'équation:

$$h = \frac{(c_{0m} - c_{0m'}) + (\gamma_m - \gamma_{m'}) \cdot d}{(t_{0m} - t_{0m'}) + \left(\frac{1}{v_m} - \frac{1}{v_{m'}}\right) \cdot d} \quad (R.8).$$

Grâce à un petit programme en Turbopascal, et à partir des caractéristiques des modes données dans le tableau T.1, nous obtenons une représentation de cette surface et de son découpage en secteurs dans les tableaux T.2 et T.3.

Le tableau T.3 peut se lire colonne par colonne, ce qui donne pour une distance donnée, les différents modes utilisés par valeur du temps croissante. Il peut aussi se lire ligne par ligne, ce qui donne pour une valeur du temps donnée, les différents modes utilisés suivant la distance.

Il faut garder présent à l'esprit que les valeurs du temps les plus fréquentes dans notre pays sont comprises entre 10 et 300 F/h, c'est donc dans cette zone du tableau T.3 que l'on trouvera la plupart des déplacements. Enfin, pour les déplacements de longue distance, certains modes (voiture, train) apparaissent compétitifs alors qu'ils sont indisponibles à cause d'un obstacle naturel (océan).

2. MISE EN EVIDENCE DES DEFAILLANCES DES TECHNOLOGIES ACTUELLES

Il est intéressant d'étudier la surface $\hat{v}g(h,d)$ calculée par notre modèle, qui représente les performances des technologies de transport de personne en fonction de la valeur du temps des usagers et de la distance. Nous cherchons notamment à l'interpoler par une fonction régulière. Nous recherchons une interpolation du type:

$$\hat{v}g^*(h,d) = v_{g1} \cdot \exp\left(\alpha \cdot \ln\left(\frac{h}{h_1}\right) \cdot \ln\left(\frac{d}{d_1}\right)\right) \quad (R.9),$$

où v_{g1} , α , h_1 , et d_1 sont des paramètres:

h_1 peut être interprétée comme la valeur du temps en-deçà de laquelle aucun autre mode que la marche à pied n'est compétitif: $h_1 = 0,72$ F/h;

d_1 peut être interprétée comme la distance en-deçà de laquelle aucun autre mode que la marche à pied n'est compétitif: $d_1 = 0,1$ km;

v_{g1} peut être interprétée comme la vitesse généralisée correspondant à l'usage de la marche à pied: $v_{g1} = 3,669$ km/h;

α est le paramètre qui permet d'ajuster la fonction interpolante pour minimiser l'écart quadratique moyen avec la fonction calculée par le modèle; on trouve $\alpha = 0,056$.

Le tableau T.4 donne les écarts entre la fonction logarithme de la vitesse généralisée interpolante et la fonction logarithme de la vitesse généralisée calculée par le modèle en fonction de la valeur du temps et de la distance. L'écart quadratique moyen des logarithmes népériens est de 0,315, ce qui correspond à un écart relatif de 37%.

Le tableau T.4 met également en évidence les secteurs du plan (h,d) où les technologies, telles qu'elles ont été modélisées, sont plus ou moins performantes que ce que donne la fonction interpolante.

On trouve un secteur correspondant à des distances comprises entre 44 et 8522 km et des valeurs du temps comprises entre 8 et 2217 F/h où les technologies sont relativement plus performantes. Ce secteur correspond aux modes TGV, train ordinaire, avion ordinaire et voiture particulière sur routes de rase campagne, et il couvre donc l'essentiel des déplacements de longue distance.

En revanche, les technologies sont relativement moins performantes pour les valeurs du temps les plus élevées. Ce secteur de moindre performance (écart des logarithmes népériens supérieur à 0,3) commence à partir de 657 F/h pour des distances plus particulièrement comprises entre 8,6 et 29 km correspondant à l'usage du RER ou de l'hélicoptère.

Il semblerait donc que selon la logique de notre interpolation, les voyageurs pressés (à valeur du temps élevée) pâtiraient d'une insuffisance des technologies de transport pour des distances correspondant à des déplacements au sein d'une grande agglomération.

Le tableau T.4 permet de repérer également les technologies qu'il serait intéressant de développer selon la logique de notre interpolation:

- les déplacements urbains à faible valeur du temps, c'est-à-dire les transports collectifs urbains dans les pays pauvres;
- les déplacements internationaux à faible valeur du temps;
- les déplacements périurbains à valeur du temps très élevée (hélicoptère);
- les déplacements à très longue distance à valeur du temps très élevée (vols hypersoniques).

Tableau T.4: Ecarts (en logarithmes) entre la fonction vitesse généralisée interpolante (technologies "idéales") et la fonction vitesse généralisée calculée (technologies réelles modélisées) en fonction de la valeur du temps et de la distance, et mise en évidence des secteurs de déficit technologique et d'excédent technologique, en l'absence du mode 6.

gras: déficit technologique
italique: excédent technologique

| | | distances (km) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|------|----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-------|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 0.1 | 0.15 | 0.23 | 0.34 | 0.51 | 0.76 | 1.14 | 1.71 | 2.56 | 3.84 | 5.77 | 8.65 | 13 | 19.5 | 29.2 | 43.8 | 65.7 | 98.5 | 148 | 222 | 333 | 499 | 748 | 1122 | 1683 | 2525 | 3788 | 5682 | 8522 | 12783 | 19175 | | | | | | | | |
| valeurs du temps (F/h) | $10 \cdot \ln(v_{ginter}/v_{gcalcul})$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1,0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | |
| 1,5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | | |
| 2,3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | | |
| 3,4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | | | | |
| 5,1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | -1 | -1 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 7,6 | -1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -2 | -3 | -3 | -3 | -3 | -3 | -3 | -2 | -2 | -2 | -2 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | | | | |
| 11 | -1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -2 | -3 | -4 | -4 | -4 | -4 | -4 | -4 | -3 | -3 | -2 | -2 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | | | | |
| 17 | -1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | -1 | -1 | -2 | -2 | -2 | -3 | -4 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | -4 | -3 | -3 | -2 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | | | | |
| 26 | -1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -2 | -2 | -2 | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -6 | -6 | -6 | -5 | -4 | -4 | -3 | -2 | -2 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | | | | |
| 38 | -1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -2 | -2 | -2 | -2 | -3 | -5 | -5 | -6 | -6 | -6 | -6 | -5 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | | | |
| 58 | -1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -2 | -2 | -2 | -3 | -5 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -5 | -5 | -4 | -3 | -3 | -2 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | | |
| 86 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | -1 | -1 | -2 | -1 | -3 | -4 | -5 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -5 | -5 | -4 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | |
| 130 | -1 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -2 | -4 | -5 | -5 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -5 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 195 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -3 | -4 | -4 | -5 | -6 | -7 | -7 | -7 | -7 | -7 | -6 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 292 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | -2 | -3 | -3 | -4 | -6 | -7 | -7 | -7 | -7 | -7 | -6 | -6 | -5 | -4 | -2 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 438 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | -1 | -1 | -2 | -4 | -5 | -6 | -7 | -7 | -7 | -7 | -6 | -6 | -5 | -4 | -2 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 657 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 | -1 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -6 | -6 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 985 | -1 | -2 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -6 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1478 | -2 | -2 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 0 | -2 | -3 | -4 | -4 | -4 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 2217 | -2 | -2 | -1 | -1 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 0 | -2 | -2 | -3 | -3 | -2 | -2 | -1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 3325 | -2 | -1 | -1 | -1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 | 6 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 4988 | -2 | -1 | -1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 6 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 7482 | -2 | -1 | -1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 9 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 11223 | -2 | -1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 6 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| 16834 | -2 | -1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 | 8 | 9 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 5 | 5 | 6 | 7 | 7 | 6 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | | |

3. EFFET DE L'INTRODUCTION D'UN MODE NOUVEAU

Nous pouvons maintenant introduire le mode 6: "voiture particulière sur voies rapides urbaines à péage", et recalculer la surface $\hat{v}_g(h,d)$ en présence de ce mode à l'aide du programme. Nous obtenons ainsi les tableaux T.5 et T.6, analogues des tableaux T.2 et T.3 réalisés sans le mode 6.

Sur le tableau T.6, on voit que ce mode 6 est compétitif pour des distances comprises entre 2 et 50 km et des valeurs du temps supérieures à 130 F/h. Les différences de vitesse généralisée entre la situation sans mode 6 et la situation avec mode 6 peuvent atteindre 12 km/h dans ce secteur.

Les modes que le mode 6 remplace sont:

— le mode 5 (voiture particulière sur voirie urbaine): cellules en gras et à gauche du secteur 6 sur le tableau T.6, correspondant à des distances inférieures à 5,8 km;

— le mode 8 (voiture particulière sur autoroute interurbaine à péage): cellules en gras et à droite du secteur 6 sur le tableau T.6, correspondant à des distances supérieures à 29 km;

— le mode 11 (RER): cellules en *italiques* dans le secteur 6 sur le tableau T.6, correspondant à des distances intermédiaires comprises entre 8,6 et 19 km et à des valeurs du temps inférieures à 985 à 3325 F/h;

— le mode 14 (hélicoptère): cellules en format standard dans le secteur 6 sur le tableau T.6, correspondant à des distances supérieures à 8,6 km et à des valeurs du temps supérieures à 985 à 4988 F/h.

Notre modèle permet donc de visualiser l'introduction d'un mode nouveau comme le découpage d'un nouveau secteur dans le plan (h,d), et le relèvement dans ce secteur de la surface $\hat{v}_g(h,d)$.

Nous pouvons maintenant interpoler la surface $\hat{v}_g(h,d)$ calculée par notre modèle en présence du mode 6 avec une interpolation suivant la formule R.9. Les paramètres de la fonction interpolante prennent les valeurs suivantes:

$$\begin{aligned} h_1 &= 0,72 \text{ F/h;} \\ d_1 &= 0,1 \text{ km;} \\ v_{g1} &= 3,9 \text{ km/h;} \\ \alpha &= 0,055. \end{aligned}$$

De manière analogue au tableau T.4 en l'absence du mode 6, le tableau T.7 donne les écarts entre la fonction logarithme de la vitesse généralisée interpolante et la fonction logarithme de la vitesse généralisée calculée par le modèle en fonction de la valeur du temps et de la distance en présence du mode 6. L'écart quadratique moyen des logarithmes népériens est cette fois de 0,287, ce qui correspond à un écart relatif de 33%.

Le secteur correspondant à des distances comprises entre 44 et 8522 km et des valeurs du temps comprises entre 8 et 2217 F/h correspondant aux modes TGV, train ordinaire, avion ordinaire et voiture particulière sur routes de rase campagne, est toujours couvert par des technologies relativement plus performantes.

En revanche, après l'introduction du mode 6, le secteur de moindre performance pour les usagers à valeurs du temps très élevées est repoussé à des valeurs du temps supérieures à 1478 F/h pour des distances plus particulièrement comprises entre 66 et 99 km correspondant à l'usage de l'hélicoptère, et pour des distances de 20000 km correspondant à l'usage des vols supersoniques.

Ainsi, selon notre description, l'introduction du mode 6 semble bien pallier à une lacune des technologies dans le secteur des déplacements dans les grandes agglomérations pour les usagers à valeur du temps élevée.

Grâce à notre petit modèle, nous avons pu analyser les performances des technologies de transport pour des gammes très étendues de déplacements en fonction de deux variables: la distance et la valeur du temps. Il faut émettre toutefois des réserves importantes sur les résultats présentés.

D'abord, les valeurs numériques des paramètres du modèle, ainsi que le choix des modes, sont un peu trop centrés sur des déplacements au départ de Paris, et ne couvrent pas nécessairement très bien l'ensemble des déplacements effectués dans le monde. Les valeurs numériques peuvent être contestées.

Ensuite, il serait utile de pondérer chaque cellule de nos tableaux (valeur du temps, distance) par le nombre de déplacements qu'ils représentent effectivement, notamment pour le calcul de l'interpolation.

Par ailleurs, il n'est pas inutile de rappeler que les deux paramètres choisis sont largement insuffisants pour décrire la diversité des déplacements dans le monde. La bonne approche serait d'effectuer une analyse factorielle sur de nombreuses variables, et avec une très large population de déplacements en tout genre, pour déterminer les variables les plus intéressantes.

Pour toutes ces raisons, cet article ne peut être considéré comme une démonstration de la nécessité de réaliser tel ou tel projet. Ce n'est pas non plus une évaluation économique de l'opportunité de développer certaines technologies de transport. Il s'agit simplement d'une tentative modeste de représentation de l'univers des déplacements de personne, tels qu'ils s'effectuent aujourd'hui, et une manière originale d'exprimer l'inefficacité actuelle de la circulation pour assurer les déplacements urbains des voyageurs pressés.

REFERENCES

Khisty, C. Jotin - "Assessment of 'transportation gaps' in developing countries in the context of non-motorized transport" - *5ème Conférence Mondiale sur la Recherche dans les Transports* - Yokohama - 10 juillet 1989 - 14 p.

Papon, Francis - Les "Routes de Première Classe" : Une tarification différenciée de la circulation en agglomération pour en améliorer l'efficacité économique de manière socialement équitable - Thèse de doctorat, mention "urbanisme", option "transport" - Université de Paris XII, INRETS - Arcueil - Avril 1991 - 4 tomes.