

### III - L'accessibilité

#### 1. Présentation des indicateurs d'accessibilité

##### 1.1 La notion d'accessibilité

La notion d'accessibilité a été introduite dans les études de transport, soit à titre de complément, soit à titre de substitut aux approches par les gains de temps et la valeur du temps. Il a paru important, en effet, de considérer les motivations des déplacements et ainsi d'appréhender l'intérêt que présentent les activités à la destination du déplacement : le transport est, du point de vue du citadin, un obstacle plus ou moins grand pour accéder aux activités dans la ville.

Une autre raison sous-jacente à l'introduction de cette notion d'accessibilité est le souci d'appréhender par l'analyse la distribution dans l'espace des temps de transport au lieu de se contenter d'une analyse des gains de temps d'une variante à une autre, qui n'éclaire aucunement sur l'inscription dans l'espace de ces temps de transport.

De cela provient l'intérêt de la notion d'accessibilité que l'on peut définir comme la plus ou moins grande facilité d'accéder, par le système de transport, à des lieux ou des activités situés sur une unité géographique donnée, généralement une agglomération.

La notion d'accessibilité inclut celle de potentialité : zone qu'un usager peut atteindre, s'il le souhaite, en telle quantité de temps <sup>(1)</sup>. On voit ainsi l'une des distinctions avec les approches en gains de temps réels où n'apparaissent pas les possibilités de choix des usagers mais simplement les effets de leurs choix reconstitués.

---

(1) Ou bien nombre d'activités qui lui sont accessibles en moins de telle quantité de temps.

La considération des motifs de déplacement et l'analyse du fonctionnement de la société urbaine permettent de mettre en évidence les types d'activités qu'il semble nécessaire de rendre le plus accessible possible à la population ou à certains groupes particuliers. Par exemple, on peut citer l'importance de l'accessibilité aux emplois à partir des zones d'habitat.

## 1.2 Problèmes de définition des indicateurs d'accessibilité

Différentes questions se posent lorsque l'on cherche à préciser la notion intuitive d'accessibilité et à créer des indicateurs opérationnels :

### - Accessibilité à quoi ?

Il faut définir de manière précise l'objet de l'accessibilité. On peut se contenter d'une définition purement géographique : accessibilité aux différentes zones d'une agglomération, accessibilité aux différentes stations d'un réseau de transport collectif. On peut aussi chercher à préciser certains types d'activités possibles dans ces zones :

- . emplois (on peut affiner suivant les types d'emplois) ;
- . commerces ;
- . services administratifs, médicaux, etc. ;
- . population (pour déplacements de visite entre personnes...).

On voit la difficulté d'une accessibilité regroupant les différents motifs de déplacements.

### - Comment définir la facilité ou la difficulté d'accès ?

Le premier facteur auquel on peut penser est le temps de transport. Mais le coût de transport est également une donnée importante, bien que sa définition ne soit pas aisée. Les éléments de confort peuvent aussi être considérés et l'on peut se demander s'il ne conviendrait pas de prendre en compte le "temps vécu", c'est-à-dire le temps ressenti subjectivement au lieu du temps objectif ? On voit que ces questions posent les problèmes classiques de la notion de coût généralisé. Ainsi, les indicateurs d'accessibilité n'échappent pas, semble-t-il, à la valeur du temps et aux critiques formulées à l'encontre de celle-ci. Mais il faut reconnaître que, bien qu'important, ce point n'est pas central dans les approches par accessibilité.

- Comment agréger les cas ponctuels ?

On ne peut se préoccuper des situations en matière d'accessibilité d'individus particuliers : il apparaît nécessaire de réaliser des agrégations d'informations ponctuelles ; par exemple dire que tel individu habitant à tel endroit mettrait tel temps pour aller travailler dans telle entreprise présente peu d'intérêt. Par contre, dire que l'on a tel nombre d'emplois accessibles à moins de 20 minutes de telle zone résidentielle est déjà beaucoup plus intéressant pour l'analyse du système de transport. Le problème est bien de mettre au point des indicateurs semi-agrégés significatifs, d'arbitrer entre des informations trop détaillées et des informations trop synthétiques.

1.3 Différents types d'indices possibles

Les principaux types d'indices possibles sont les suivants :

- Indices dépendant de l'offre, avec pondération par la demande

Ce type d'indices ne prend pas en compte le système d'activités ; il porte donc uniquement sur des zones géographiques. L'accessibilité (en émission) d'une zone  $i$  est alors définie ainsi :

$$A_i = \frac{\sum_j T_{ij} C_{ij}}{\sum_j T_{ij}}$$

avec  $T_{ij}$  : trafic de la zone  $i$  à la zone  $j$

$C_{ij}$  : indice représentant le coût (prix, temps, pénibilité) du trajet de  $i$  à  $j$ .

On notera le caractère peu satisfaisant de la pondération par les trafics car la distribution des déplacements (définir comment les trafics émis se répartissent dans les zones réceptives) dépend des accessibilités relatives des zones : à la limite, si deux zones sont inaccessibles l'une à l'autre (coût très élevé), ceci n'apparaîtra pas dans l'indice d'accessibilité en raison de la pondération par un trafic nul.

- Indices dépendant de l'offre et du système d'activités

. Isochrones

Les indices isochrones se définissent comme le nombre ou le pourcentage d'opportunités que l'on peut atteindre à l'intérieur d'une courbe isochrone. Cette courbe définie à partir d'un point central indique tous les points de l'agglomération que l'on peut atteindre dans un temps donné. On aura par exemple l'isochrone : "nombre d'emplois à moins de 20 minutes du centre de telle ZUP".

La signification de tels indices est directe, de sorte que l'on peut aisément les interpréter : c'est ce qui fait leur intérêt lors d'une procédure de décision, pour le dialogue des décideurs entre eux ou avec les analystes. Mais il y a appauvrissement des informations potentielles (pour reprendre l'exemple précédent, on ne sait s'il y a beaucoup d'emplois accessibles à 10 minutes, à un quart d'heure, etc. de la ZUP). Si l'on affine l'analyse en décrivant des isochrones pour toute une gamme de temps de transport, on ne peut échapper à l'inconvénient d'une information trop désagrégée, difficilement interprétable.

. Indices gravitaires

On peut les considérer comme une extension des indices isochrones, avec pondération de ces indices par un "indice de résistance". Les indices gravitaires sont de la forme :

$$A_i = \sum_j O_j f(d_{ij})$$

avec  $O_j$  = opportunités offertes par la zone  $j$ .

On a alors un exemple de réduction ponctuelle d'une distribution (cf. rapport III).

La fonction de résistance  $f(d_{ij})$  est celle des modèles gravitaires de distribution. Elle est généralement de forme exponentielle :

$$f(d_{ij}) = e^{-\alpha d_{ij}}$$

On trouvera un exemple de construction d'indices gravitaires à propos de l'étude Ermont-Invalides (annexe B, III).

Plusieurs problèmes sont posés par l'utilisation de ces indices ; on notera notamment ceux relatifs à l'existence de plusieurs modes de transport. Tout d'abord, on peut se demander si la formulation précédente ne privilégie pas implicitement le mode "voiture particulière" pour lequel il y a couverture totale de l'agglomération par le réseau de voirie ; la couverture par le réseau de transports collectifs, qui n'est réalisée que sur certains axes, nécessiterait sans doute des indicateurs d'accessibilité tenant compte de cette discontinuité de couverture.

Ensuite se pose le problème du traitement du choix modal dans ces indicateurs d'accessibilité : si l'on souhaite un indice d'accessibilité tous modes de transport confondus, il faut bien agréger les accessibilités par mode qui sont différentes. Ceci peut être réalisé de différentes manières (amenant à des résultats distincts) et notamment :

- pondérer les coûts ( $c_{ij}$ ) des différents modes de transport par les trafics de ces modes (coefficients de répartition modale) et calculer l'accessibilité sur ces coûts pondérés ;
- calculer les accessibilités par mode et pondérer ces accessibilités par les coefficients de répartition modale pour obtenir l'indice global d'accessibilité ; on peut également utiliser un jeu de coefficients défini a priori ;
- ou prendre le coût ( $c_{ij}$ ) le plus faible sur chaque liaison considérée en supposant que l'utilisateur peut choisir le mode dont le coût généralisé est le plus faible.

## 2. La théorie économique de l'accessibilité urbaine de G. KOENIG

Il s'agit d'une théorie globale de l'accessibilité développée récemment au SETRA par G. KOENIG <sup>(1)</sup>, visant à justifier l'emploi d'indicateurs d'accessibilité par un cadre cohérent d'hypothèses et de vérifications expérimentales.

### 2.1 Insuffisance des indicateurs classiques de comparaison de variantes

Pour la comparaison de variantes de transport suivant le critère des temps de transport, les indicateurs classiques de gains de temps apparaissent insuffisants pour traduire l'intérêt de différentes variantes selon ce critère. En effet, les améliorations apportées sur un réseau de transport peuvent induire une modification des comportements des citoyens, telles qu'un accroissement de mobilité (nombre de déplacements effectués par ménage par jour) ou un allongement des longueurs de parcours. Les nouvelles possibilités offertes aux citoyens pour l'amélioration du réseau de transport peuvent ainsi conduire à un accroissement du temps total passé dans le système de transport.

On constate ainsi une contradiction entre les effets bénéfiques que peuvent apporter certaines variantes et leur prise en compte négative dans les indicateurs classiques de gains de temps. On échappe habituellement à cette contradiction en faisant l'hypothèse d'une demande constante, en raisonnant sur une matrice unique de demande entre zones.

Cette dernière hypothèse peut être acceptée lorsqu'il s'agit d'étudier des modifications marginales du système de transport, mais non lorsque les modifications sont suffisamment "structurelles" pour influencer notablement sur cette demande. C'est dans ce dernier cas que de nouveaux indicateurs doivent être recherchés, et les indicateurs d'accessibilité paraissent satisfaisants de ce point de vue.

---

(1) La dernière version, définitive, ("La théorie de l'accessibilité urbaine - Un nouvel outil au service de l'aménageur") date de mars 1975.

## 2.2 Position du problème et premières hypothèses générales

En fait, il faut considérer les deux éléments antagonistes explicatifs du déplacement : l'élément moteur et l'élément résistant. Pour appréhender l'utilité d'un déplacement, il conviendrait donc de traduire ces deux éléments dans une échelle unique d'utilité (les approches classiques ne considèrent que l'élément résistant, le coût, sans s'occuper de l'élément moteur).

La satisfaction procurée par un déplacement serait alors la différence entre l'intérêt de la destination et la gêne occasionnée par le transport. Pour parvenir à cela, un modèle micro-économique du comportement du citadin est développé sur la base de deux hypothèses principales.

## 2.3 Première hypothèse sur le comportement du citadin

Dans un premier temps, on raisonne uniquement sur les déplacements domicile-travail (les résultats sont ensuite transposés pour les autres motifs de déplacement).

On suppose que, pour un individu donné, chaque emploi offre une utilité brute composée du salaire et des différents avantages et inconvénients de l'emploi (intérêt du travail, avantages en nature, etc.). Cette utilité brute sera nulle si l'individu ne peut occuper cet emploi (qualification inadaptée).

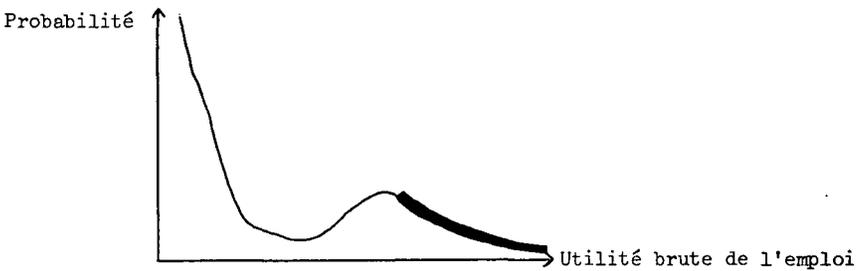
L'utilité nette est la différence entre l'utilité brute d'un emploi et le coût généralisé du transport (le coût généralisé est la somme du coût monétaire et des autres coûts, tels que le temps, traduits en termes monétaires).

L'individu va choisir son emploi en maximisant l'utilité nette des emplois qui s'offrent à lui. Ceci constitue la première hypothèse de base.

#### 2.4 Deuxième hypothèse concernant la distribution de probabilité des utilités brutes des emplois

On peut raisonner sur les distributions de probabilité d'emplois en général, ou sur certaines catégories d'emplois.

Pour un individu donné, les emplois pris au hasard dans l'agglomération ont une utilité brute dont la distribution de probabilité est représentée sur la courbe suivante :



En fait, ce n'est que la dernière partie de la courbe (en traits épais) qui nous intéresse car l'individu cherche à maximiser son utilité. La densité de probabilité peut alors être formulée ainsi :

$$f(x) = k e^{-\frac{x}{x_0}}$$

$x_0$  est une valeur caractéristique de l'individu. Sa signification est la suivante : lorsque l'individu augmente ses prétentions sur l'utilité brute de l'emploi d'une valeur de  $x_0$ , le nombre d'emplois disponibles est divisé par 2,7. La valeur moyenne de  $x_0$  serait de l'ordre de 200 F/mois.

#### 2.5 L'indicateur d'accessibilité gravitaire

Les deux hypothèses précédentes conduisent à un indicateur d'évaluation par l'accessibilité. En effet, on démontre que l'utilité nette finale de l'emploi pour un citoyen habitant dans une zone  $i$  est égale à :

$$\bar{U}_i = x_0 \text{ Log } A_i + \text{cte}$$

$$\text{avec } A_i = \sum_j E_j e^{-\frac{c_{i,j}}{x_0}}$$

$E_j = \text{nombre d'emplois de la zone } j.$

On voit donc que cette utilité est fonction de l'accessibilité gravitaire offerte.

## 2.6 Cas des déplacements non liés au travail

Pour définir l'utilité brute des déplacements non liés au travail, on recourt à l'artifice classique dans la théorie du surplus : c'est la somme monétaire maximum que le citoyen est prêt à payer pour bénéficier de cette activité (en supposant le coût du transport nul).

## 2.7 Utilisation de cette théorie de l'accessibilité

Cette théorie de l'accessibilité est présentée comme pouvant donner lieu à plusieurs types d'utilisation :

- justification théorique des modèles gravitaires de distribution de trafic (et justification parallèle de la théorie par le fait que les modèles gravitaires reconstituent bien la réalité) ;
- comparaison des situations de plus ou moins grand isolement dans les agglomérations : isolement de zones, de groupes sociaux ;
- comparaison (évaluation) de différentes variantes de transport ;
- explication et simulation du développement urbain.

## 2.8. Remarques critiques

Sans entrer dans une analyse critique détaillée, il convient de mentionner les principales remarques qu'appelle cette théorie :

- Les hypothèses de comportement des individus apparaissent extrêmement vulnérables : il n'y a aucune mention pour les approches psychosociologiques ; le cadre du raisonnement est celui d'un système d'information

parfaite et l'on suppose que l'individu est en situation de choix, sans tenir compte des multiples contraintes qui façonnent ses décisions. Le recours à la notion de coût généralisé pour appréhender la gêne due au transport a déjà fait l'objet de critiques mais il faut souligner l'importance que prend cette notion dans une théorie économique globale de l'accessibilité.

- La référence à la théorie néo-classique de l'utilité est également gênante. Les problèmes relatifs au passage de l'utilité individuelle à l'utilité collective, des aspects explicatifs aux aspects normatifs, semblent esquivés. En fait, on ne voit pas pourquoi KOENIG cherche à exprimer sa théorie sous une présentation se référant au concept d'utilité cardinale, car celle-ci ne semble finalement pas nécessaire à son propos.

- L'utilité d'une variante de transport, dans cette théorie, dépend de la constante  $x_0$  caractéristique d'un individu ou, par extension, d'un groupe d'individus. Raisonner sur des moyennes a peu de sens mais la désagrégation au niveau de catégories socio-professionnelles homogènes risque de poser de sérieux problèmes d'application et il semble que l'on s'écarte alors des prétentions à une théorie globale.

#### Eléments de conclusion

La notion d'accessibilité apparaît très intéressante et pourrait d'ailleurs être approfondie et adaptée à des problèmes précis. Malgré les critiques formulées, l'analyse de KOENIG a l'avantage de montrer les liens entre accessibilité et modèles gravitaires de distribution, dans une théorie globale.

#### IV - L'actualisation

L'objet de cette partie est une présentation de certains travaux récents dans la théorie de l'actualisation. Ce thème est tout à fait à part dans notre recherche, s'agissant non de la prise en compte de temps de transport mais du problème de l'agrégation d'effets apparaissant à des périodes différentes de temps. Cependant, ce problème d'agrégation ne concerne pas uniquement les effets monétaires mais toutes les sortes d'effets dont ceux liés aux temps de transport. A ce titre, le problème de l'actualisation concerne bien notre recherche et il est inutile d'insister sur l'importance, dans le domaine des transports, des arbitrages entre court terme et long terme que traite l'actualisation.

Par ailleurs, d'un point de vue méthodologique, le problème sous-jacent à l'actualisation est semblable à celui sous-jacent à l'accessibilité présentée à la section précédente. Il s'agit en effet de comparer des distributions et, pour cela, de résumer chaque distribution par une valeur ponctuelle (ou moyenne) : distribution d'un nombre d'emplois sur une échelle temps de trajet pour l'accessibilité ; distribution d'effets sur une échelle temporelle exprimée en années pour l'actualisation.

Après un rappel du problème et de l'approche classique, nous présenterons quelques travaux qui restent cependant dans le cadre d'une théorie de l'utilité.

## 1. Le problème

Le problème est celui de la modélisation des préférences relatives à des sommes dépensées et gagnées à des dates différentes.

Choisir entre disposer de 1 000 F aujourd'hui et 1 100 F aujourd'hui est chose aisée. Par contre, choisir entre disposer de 1 000 F aujourd'hui et 1 100 F dans un an est plus délicat et pose le problème de la prise en compte du temps dans la détermination des préférences.

- Plus généralement, il s'agit de comparer à l'instant  $t_0$  (aujourd'hui) une somme  $x$  reçue (dépensée) à  $t_1$  et une somme  $y$  reçue (dépensée) à  $t_2$ . On pourra écrire par exemple :

$(x, t_1) \succ^{t_0} (y, t_2)$  : à l'instant  $t_0$  la première solution  $(x, t_1)$  est préférée à la seconde  $(y, t_2)$ .

- Un problème un peu plus général concerne des flux de recettes et dépenses :

$$\underline{x} = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m)$$

où  $x_i$  représente des recettes ou dépenses relatives à l'année  $i$ .

Comparer deux flux, c'est alors comparer deux distributions.

- L'ensemble des approches présentées ci-après concernent ces deux problèmes de base relatifs à des sommes monétaires. Certains des résultats peuvent cependant concerner la comparaison de coûts et avantages exprimés autrement qu'en termes monétaires. WINTERFELD et FISCHER (1975) présentent le problème général et soulignent qu'aucun modèle ne permet actuellement de prendre en compte de façon satisfaisante dans l'aide à la décision les aspects : multicritères, incertain, conséquences variables dans le temps.

## 2. L'approche classique

Présentons l'approche classique sur l'exemple simplifié de la comparaison  $(x, 0)$  et  $(y, 1)$  (disposer de  $x$  aujourd'hui ou de  $y$  dans un an). On suppose l'existence d'un marché des capitaux où l'on puisse prêter à un taux  $i$  et emprunter à un taux  $r$  ( $i \leq r$ ).

- Choisir  $(x, 0)$ , c'est disposer de  $x$  aujourd'hui que l'on peut prêter à  $i$  sur le marché ; c'est donc également pouvoir disposer de  $x(1+i)$  dans un an. Si  $x(1+i) \geq y$ , alors  $(x, 0) \succcurlyeq (y, 1)$  : la première solution n'est certainement pas plus mauvaise que la seconde puisque, grâce au marché, on peut indifféremment disposer de  $(x, 0)$  ou  $(x(1+i), 1)$ .

- Choisir  $(y, 1)$ , c'est aussi choisir la possibilité de disposer de  $\frac{y}{1+r}$  aujourd'hui grâce à la possibilité d'emprunter au taux  $r$ . Si  $\frac{y}{1+r} \geq x$ , alors  $(y, 1) \succcurlyeq (x, 0)$ . La seconde solution est certainement la meilleure puisqu'elle permet, grâce au marché, de disposer indifféremment de  $(\frac{y}{1+r}, 0)$  ou  $(y, 1)$ .

- 3 situations peuvent alors se produire :

.  $x(1+i) \geq y$  alors  $(x, 0) \succcurlyeq (y, 1)$  ;

.  $x(1+r) \leq y$  alors  $(y, 1) \succcurlyeq (x, 0)$  ;

.  $x(1+r) > y > x(1+i)$  alors la préférence entre  $(x, 0)$  et  $(y, 1)$

est une affaire de circonstances personnelles (besoins de dépenses immédiats ou différés).

La quatrième situation qui serait :

$$x(1+i) > y > x(1+r)$$

est à éliminer car elle supposerait  $i > r$  et une possibilité de s'enrichir à l'infini sur ce marché.

Pour légitimer l'actualisation, on suppose un marché des capitaux parfait où les deux taux  $i$  et  $r$  sont égaux.

Les 3 situations deviennent :

$$x(1+r) > y \implies (x, 0) \succ (y, 1)$$

$$x(1+r) < y \implies (y, 1) \succ (x, 0)$$

$$x(1+r) = y \implies (x, 0) \sim (y, 1).$$

En appliquant le raisonnement pour une date  $t$ , on en déduit :

- Dans un marché parfait au taux  $r$  :

$$(x, 0) \sim (y, t) \iff x = \frac{y}{(1+r)^t}$$

$x$  est la valeur actuelle de  $y$ .

- On en déduit également pour des flux monétaires que dans un marché parfait au taux  $r$  :

$$\underline{x} = (x_0, x_1, \dots) \succ \underline{y} = (y_0, y_1, \dots)$$

si et seulement si :

$$\sum_{k=0}^{\infty} \frac{x_k}{(1+r)^k} > \sum_{k=0}^{\infty} \frac{y_k}{(1+r)^k}.$$

L'approche classique autorise l'actualisation de sommes monétaires en admettant l'hypothèse d'un marché parfait.

Les trois approches qui suivent refusent cette hypothèse et étudient des axiomes qui sont nécessaires pour autoriser l'actualisation de sommes monétaires ou d'utilités.

### 3. L'approche de K. LANCASTER (1963)

LANCASTER a proposé des axiomes portant sur la comparaison à l'instant  $t$  de  $(x, t_1)$  et  $(y, t_2)$  ( $t \leq \min(t_1, t_2)$ ).

Outre les axiomes classiques sur les relations de préférence statique (portant sur  $(x, t) \succ^t (y, t)$ ) - la transitivité, la monotonicité, la continuité - Lancaster pose les axiomes suivants :

#### L1 - Transitivité dans le temps

$$(x, t_1) \succ^t (y, t_2) \text{ et } (y, t_2) \succ^t (z, t_3) \implies (x, t_1) \succ^t (z, t_3).$$

#### L2 - Monotonicité des préférences dans le temps (impatience)

$$(x, t_1) \succ^t (x, t_2) \text{ si } t_2 > t_1 \text{ et } x > 0.$$

#### L3 - Continuité du temps

$$(x, t_1) \succ^t (y, t_2) \succ^t (x, t_3) \implies \exists t' \in (t_1, t_3) \text{ tel que } (x, t') \sim^t (y, t_2).$$

#### L4 - Indépendance de la date de comparaison

$(x, t_1) \succ^{t'} (y, t_2) \implies (x, t_2) \succ^{t''} (y, t_2)$ . Cet axiome permet de laisser tomber l'indice dans la comparaison.

#### L5 - Transférabilité des sommes dans le temps

$$(x, t_1) \sim^t (y, t_2) \implies (x, t_1 + t') \sim^t (y, t_2 + t'), \forall t' \leq -\min(t_1, t_2).$$

L4 et L5 sont certainement les axiomes les plus difficiles à admettre.

LANCASTER montre les théorèmes suivants :

Th. 1 : Si l'on admet ces 5 axiomes en plus des axiomes classiques, alors :

$\forall (t_1, t_2)$  tel que  $t_2 \geq t_1$ ,  $\exists k$  tel que :

- (i)  $(kx, t_1) \sim (x, t_2)$  ;
- (ii)  $k \leq 1$  est une fonction monotone décroissante de  $t_2 - t_1$  ;
- (iii)  $k$  est tel que  $k(mx) = k(x)$  ;
- (iv)  $k$  est de la forme  $k = \exp(-r(x)(t_2 - t_1))$  avec  $r(mx) = r(x)$ .

Si on ajoute aux axiomes précédents l'axiome suivant :

L6 - Axiome d'homogénéité sur les préférences statiques

$x \sim y \implies mx \sim my$ , le théorème 1 devient :

Th. 2 : Si les axiomes L1 à L6 sont vérifiés en plus des axiomes classiques, alors :

$\forall (t_1, t_2)$  tel que  $t_2 \geq t_1$ ,  $\exists k$  tel que :

- (i)  $(kx, t_1) \sim (x, t_2)$  ;
- (ii)  $k \leq 1$  est une fonction monotone décroissante de  $t_2 - t_1$  ;
- (iii)  $k$  est indépendant de  $x$  ;
- (iv)  $k$  est de la forme  $k = \exp(-r(t_2 - t_1))$ .

Comme cas particulier de ce résultat, on peut poser :  $t_1 = 0, t_2 = t$  :

$(kx, 0) \sim (x, t)$  avec  $k = e^{-rt}$ .

En définissant  $i$  par  $1 + i = e^{rt}$  ( $\geq 1$ ), on obtient :

$$\boxed{\left(\frac{x}{(1+i)^t}, 0\right) \sim (x, t)}$$

ce qui est le résultat classique de l'actualisation des sommes monétaires.

Ce résultat très fort de LANCASTER nous montre que l'adoption d'une série d'axiomes sur les préférences nous autorise à procéder à l'actualisation de sommes monétaires.

#### 4. L'approche de T.C. KOOPMANS (1960)

Ce dernier raisonne sur les utilités associées aux sommes monétaires et non pas sur les sommes directes.

Il propose un certain nombre d'axiomes qui justifient l'actualisation des utilités.

Soit un flux de recettes et dépenses :

$$\underline{x} = (x_0, x_1, \dots) = (x_0, \underline{y}) \quad \text{où} \quad y_0 = x_1, \dots, y_k = x_{k+1}$$

et  $U(\underline{x})$  l'utilité associée à ce flux.

#### K1 - Existence d'une fonction d'utilité continue (continuité forte)

Il existe une fonction d'utilité  $U(\underline{x})$  telle que  $\forall U', U''$  et  $\underline{x}$  tels que  $U' < U(\underline{x}) < U''$ ,  $\exists \delta$  tel que :  $\forall \underline{x}'$ , avec  $d(\underline{x}', \underline{x}) < \delta \implies U' < U(\underline{x}') < U''$ .

La distance entre deux flux  $d(\underline{x}', \underline{x})$  est définie par :

$$d(\underline{x}', \underline{x}) = \sup_k (x'_k - x_k).$$

#### K2 - Sensibilité à des variations locales

$$\exists (x'_0, x''_0) \text{ tel que } u(x'_0, \underline{y}) > u(x''_0, \underline{y}).$$

#### K3 - Indépendance des revenus des différentes périodes

$$\forall x'_0, x''_0, \underline{y}', \underline{y}'' :$$

$$u(x'_0, \underline{y}') \geq u(x''_0, \underline{y}') \implies u(x'_0, \underline{y}'') \geq u(x''_0, \underline{y}'')$$

$$u(x'_0, \underline{y}') \geq u(x'_0, \underline{y}'') \implies u(x''_0, \underline{y}') \geq u(x''_0, \underline{y}'')$$

Cet axiome correspond à une indépendance mutuelle au sens des préférences entre  $x'_0$  et  $\underline{y}'$  :  $x'_0$  est indépendant de  $\underline{y}'$  (1ère condition) et  $\underline{y}'$  est indépendant de  $x'_0$  (seconde condition).

Les préférences sur une période ne sont pas affectées par les revenus des périodes précédentes ou à venir.

"Stationarité" :

K4 - Pour  $x_0$  et pour tout  $y'$  et  $y''$ ,

$$u(x_0, y') \geq u(x_0, y'') \iff u(y') \geq u(y'')$$

K4 et K3 entraînant la "stationarité".

KOOPMANS montre que de ces deux axiomes, on peut en déduire la forme suivante pour  $u(\underline{x})$  :

$$u(\underline{x}) = \sum_{i=1}^{\infty} k^{i-1} u(x_i)$$

c'est-à-dire que l'on peut établir  $u(\underline{x})$  en actualisant les utilités de chaque période.

5. L'approche de R.F. MEYER (1968)

MEYER considère des flux de recettes et dépenses dans un horizon fini.

Soient  $\underline{x} = (x_1, \dots, x_N) = (\underline{x}^m, \underline{x}^m)$  avec :

$\underline{x}^m = (x_1, \dots, x_{m-1})$  et  $\underline{x}^m = (x_m, x_{m+1}, \dots, x_N)$ .

Les axiomes de MEYER sont alors :

M1 -  $\underline{x}^m$  est indépendant au sens de l'utilité de  $\underline{x}^m$  pour tout  $m$ .

M2 -  $\underline{x}^m$  est indépendant au sens de l'utilité de  $\underline{x}^m$  pour tout  $m$ .

M1 indique que le passé n'intervient pas dans la comparaison de flux relatifs à l'avenir. A l'inverse, M2 indique que, pour un futur donné à partir de l'année  $m$ , la connaissance de ce futur n'intervient pas dans la comparaison des flux jusqu'à ce futur  $m$ .

Si M1 semble raisonnable, M2 est plus difficile à admettre.

Théorème : Si M1 et M2 sont admis, alors  $U(\underline{x})$  a une forme additive ou multiplicative :

$$U(\underline{x}) = \sum_{n=1}^N u_n(x_n) \quad \text{ou} \quad U(\underline{x}) = \prod_{i=1}^n u_n(x_n).$$

M3 - Les préférences sur les revenus de chaque période sont indépendantes de la période considérée.

Autrement dit,  $u_n(x_n)$  est indépendant de  $n$  à une transformation linéaire près :

$$u_n(x_n) = a_n + b_n u(x_n) \implies \begin{cases} U(\underline{x}) = \sum_{n=1}^N b_n u(x_n) \quad \text{ou} \\ U(\underline{x}) = \prod_{n=1}^N (1 + k_n u(x_n)). \end{cases}$$

M4 - "Stationarité"

$u(\underline{x})$  est alors de la forme :

$$u(\underline{x}) = \sum_{n=1}^N b^{n-1} u(x_n) \text{ ou}$$

$$u(\underline{x}) = \prod_{n=1}^N (1 + k u(x_n)).$$

On obtient une forme additive ou log additive qui reviennent à actualiser des utilités.

6. L'approche de D.E. BELL (1972)

Les approches précédentes se ramènent toutes en pratique à l'actualisation soit de sommes monétaires (LANCASTER), soit d'utilités (KOOPMANS, MEYER).

BELL procède différemment ; il suppose également l'existence d'une fonction d'utilité, donne également des conditions mais dans le but de se ramener à une forme simplifiée devant permettre l'établissement d'une fonction d'utilité sans avoir nécessairement recourt à de l'actualisation.

On doit pouvoir espérer ainsi des axiomes moins forts. Nous exposerons ses travaux dans le cas de la comparaison du revenu unique : il s'agit de déterminer  $u(x, t)$  à l'aide de fonctions plus simples telles que l'utilité statique  $u^*(x)$ .

B1 - Impatience ("monotonicité" des préférences dans le temps)

$$t_2 > t_1 \geq 0 \implies (x, t_1) \succ (x, t_2) \text{ si } x > 0$$

$$(x, t_1) \prec (x, t_2) \text{ si } x < 0.$$

B1 est équivalent à L2.

Si on ajoute à cet axiome l'axiome classique des préférences, alors :

Th. 1 : Il existe un équivalent actuel  $(y, 0)$  pour tout revenu futur  $(x, t)$

$$\forall (x, t) \exists y \text{ tel que } (x, t) \sim (y, 0) \text{ ou encore}$$

$$\exists y, u(x, t) = u(y, 0) = u^*(y).$$

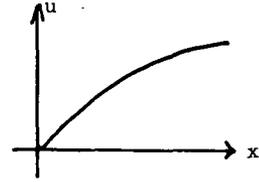
Pour restreindre la forme de  $u(t)$ , BELL considère les trois fonctions suivantes :

(i) fonction d'utilité statique

$u = u(x, t_0), t_0$  constant

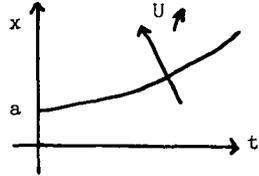
Cas particulier :

$u(x, 0) = u^*(x)$



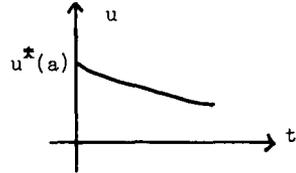
(ii) iso-préférence

$u(x, t) = c^{te} \iff x = f(t)$



(iii) fonction d'utilité à x constant

$x = a, u(a, t) = g(t)$



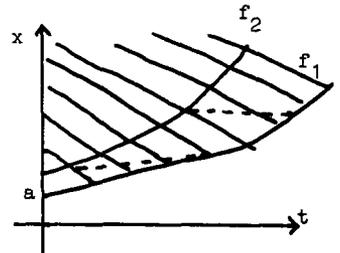
BELL propose des axiomes qui lui permettent d'établir  $u(x, t)$  à partir des courbes ci-dessus, plus simple à établir.

B2 - Transférabilité dans le temps (identique à L5)

Th. 2 : Si l'on retient les axiomes B1 et B2, la fonction d'utilité  $u(x, t)$  est "presque" complètement définie par  $u^*(x)$  et deux courbes d'iso-préférence  $x = f_1(t)$  et  $x = f_2(t)$

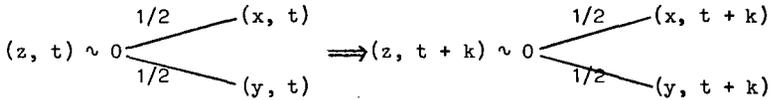


$u(x, t)$  complètement déterminée



B3 - "Stationarité" faible

Les sommes monétaires sont indépendantes au sens de l'utilité du temps :



(les dates sont les mêmes pour les lots de la loterie et de son équivalent certain).

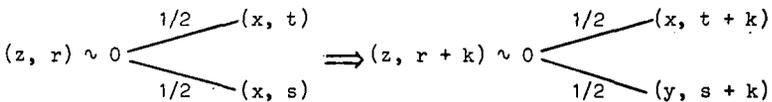
Th. 3 : La "stationarité" faible autorise l'actualisation :

$u(x, t) = g(t) u^*(x)$  avec  $g$  monotone décroissant.

BELL montre que  $g(t)$  peut alors être déterminée soit à partir d'une courbe (iii) (à  $x$  constant), soit à partir d'une iso-préférence (ii).

B4 - "Stationarité" forte (B2 + B3 équivalent à B4)

Les sommes monétaires sont indépendantes au sens de l'utilité du temps (avec des dates différentes) :



Th. 4 : La "stationarité" forte implique que l'actualisation de l'utilité à un taux constant est une procédure légitime

$$u(x, t) = \frac{u^*(x)}{(1+r)^t}$$

Ces théorèmes constituent les résultats essentiels de BELL. Ce dernier cependant développe une procédure pour des flux de recettes et dépenses qui se contenterait de la connaissance de  $u(x, t)$  pour chaque période  $t$ .

## 7. Conclusion partielle

L'actualisation, procédure pratique, commode, est universellement utilisée, y compris dans le domaine des études relatives aux problèmes d'aide à la décision et à la planification en matière de transport.

S'engager sur d'autres voies semble, en l'état actuel des recherches, difficile, bien que l'approche de BELL constitue une voie intéressante.

En ce qui concerne cette recherche, il peut être intéressant de constater qu'il existe d'autres voies que l'actualisation de sommes monétaires. L'actualisation d'utilité semble déjà une procédure plus souple. Et ces travaux ont le mérite de nous faire réfléchir sur les conditions qui légitiment de telles procédures.

**Annexe B**

**LES PROBLEMES SUPPORTS**

Cette deuxième annexe fait partie de la première phase d'un travail confié par la DGRST et le SAEI à la SEMA dans le cadre de l'ATP Socio-Economie des Transports (marché n° 740020002257501).

Elle a été réalisée par une équipe faisant coopérer des chercheurs de la SEMA, de l'IRT et de l'université Paris-IX Dauphine, sous la responsabilité scientifique de B. ROY.

L'équipe a en outre bénéficié de l'appui ou de concours ponctuels multiples, notamment de la part de Messieurs :

BAILLY	FICHELET
BANAZUCK	FOUCAUD
BARJANSKY	GENTHON
BAUCHOT	GIRAULT
BERDUCOU	GUEYSSE
BIEBER	KOENIG
BOURGIN	LAPLACE
BOURGOIN	LOS
de CHANGY	MORIN
CONSTANTINI	PEJU
COUILLAUD	PIGE
DERAFFIN-DOURNY	QUINET
DUPUY	

Qu'ils trouvent ici l'expression de nos très vifs remerciements pour leur contribution.

La seconde phase de la recherche aura pour objet de rendre ce travail opérationnel.

## 0. Introduction

L'annexe B contient une analyse des problèmes supports retenus dans le cadre de la première phase de cette recherche (cf. Rapport II). Les problèmes supports ont été regroupés ici en quatre sections.

- La première aborde les problèmes de localisation d'aéroports. Les études de localisation reposent la plupart du temps sur l'utilisation de méthodes coûts-avantages : c'est le cas du 3e aéroport de Londres, de l'aéroport pour le Yorkshire, de l'aéroport de Porto, de l'aéroport du Var, ... L'étude de l'aéroport de Mexico est intéressante puisqu'elle montre une autre voie : la théorie de l'utilité multidimensionnelle (multiattribut). L'approche préconisée dans cette recherche (cf. Rapport III) est illustrée sur le cas de l'aéroport du Var.

- La seconde étudie des problèmes d'aménagement routier en rase campagne et des problèmes d'exploitation (opérations de délestages). Dans ce domaine, toutes les études d'aide à la décision sont actuellement basées sur des études de rentabilité que nous jugeons pourtant peu adaptées parce que entraînant des biais qui peuvent être considérables.

- La troisième section présente le début d'une étude que des étudiants de Paris IX Dauphine ont effectuée sous notre direction et celle de la SNCF selon la méthodologie présentée dans le rapport (III).

- Enfin la quatrième section regroupe nos réflexions en matière de confort en vue de leur intégration dans l'aide à la décision selon la méthodologie proposée.

## I - CHOIX DE LA LOCALISATION D'UN AEROPORT (\*)

### 0. Introduction

La plupart des études d'implantation d'aéroport utilisent le calcul économique sous la forme de la méthode coûts-avantages. La première section présente l'application de cette méthode aux localisations du 3e aéroport de Londres, de l'aéroport du Yorkshire et de celui de Porto ainsi qu'une analyse critique de cette approche.

D'autres voies sont possibles. L'objet de la 2e section (étude de l'extension de l'aéroport de Mexico) est de montrer l'une d'elles. Cette seconde voie se rapproche déjà beaucoup plus du cadre méthodologique présenté dans le rapport (III).

La 3e section pose le problème de la localisation d'un aéroport dans les termes de l'approche méthodologique que nous préconisons.

---

(\*) La rédaction de cette section est due principalement à P. LEROY.

## 1. Les méthodes coûts-avantages

L'objet de cette première section est de présenter l'application des méthodes coûts-avantages aux problèmes de la localisation d'un aéroport. Elle est centrée sur les biens intangibles, temps et bruit, dont la prise en compte présente de nombreux points communs.

Elle comporte une première partie descriptive, s'appuyant sur deux études de localisations d'aéroports (Londres et Yorkshire) fondées sur des méthodes coûts-avantages.

Ces exemples permettront, dans une deuxième partie, de dégager les éléments positifs et les points faibles de telles méthodes.

## 1.1 Etude descriptive des différentes méthodes

### 1.1.1 Introduction aux méthodes coûts-avantages

Que faut-il entendre par méthodes "coûts-avantages" ?

La méthode coûts-avantages est à l'origine une extension de la méthode du bénéfice (ou du cash-flow) actualisé servant à la prise de décision dans le domaine privé. Pour la comparaison de deux ou plusieurs projets, on évalue, pour chaque année à venir, le bilan des dépenses et recettes occasionnées par chaque projet puis on en fait la somme actualisée. Le projet retenu est celui dont le bénéfice actualisé est le plus élevé.

Ce même principe appliqué aux décisions relevant du domaine public fournit une méthode simple permettant de rationaliser les choix de projets ou d'investissement par recensement des coûts et avantages monétaires..

La méthode ne prend pas en compte d'autres effets : effets non-monétaires ou intangibles. "Faute de quantification, ces effets ne sont pas pris en compte dans l'analyse coûts-avantages" (X. GODARD (1975), p. 4)

Cette lacune est en partie comblée dans les méthodes coûts-avantages évoluées, auxquelles nous allons nous intéresser (\*).

Nous verrons sur deux exemples de localisations d'aéroports le principe de ces méthodes et en particulier la façon de prendre en compte les effets intangibles.

### 1.1.2 Le cas du troisième aéroport de Londres (\*\*)

#### 1.1.2.1 Présentation générale

L'étude de la commission Roskill en 1970 avait pour but de déterminer le meilleur emplacement pour un 3e aéroport à Londres. Il y avait choix

(\*) M.J. FROST (1970) p. 20 : "The aim is to derive a method which will cover all the factors of a decision".

(\*\*) Nous utiliserons l'abréviation TLA (Third London Airport).

entre 4 sites, retenus à la suite d'une étude préliminaire, parmi tous les emplacements possibles.

La méthode utilisée (\*) est une méthode coûts-avantages. Son principe consiste à chiffrer les coûts relatifs aux emplacements et à retenir celui qui a le coût total le plus faible.

- Les facteurs pris en compte

Ils peuvent être regroupés en 4 catégories principales :

- . coûts de construction, y compris coût des voies d'accès, coût de défense nationale et coûts divers ;
- . : coûts d'accès pour les passagers ;
- . : coûts d'accès pour les avions ;
- . : coût social du bruit.

- Evaluation des différents sites suivant les critères précédents.

Dans tous les cas, l'évaluation se fait en termes monétaires, ce qui est naturel dans le cas des coûts proprement dits (construction, ...). Le cas des autres coûts (accès, bruit) est examiné dans les paragraphes qui suivent.

- Tableau résumé de l'analyse coûts-avantages

Millions £ (1968-actualisé à 1972)	CUBLINGTON	FOULNESS	NUTHAMPSTEAD	THURLEIGH
Coût accès aérien	1685-1899	1690-1906	1716-1934	1711-1929
Coût accès au sol	1743-2883	1910-3090	1778-2924	1765-2922
Autres coûts	614-638	612-625	626-639	641-653
Bruit	23	10	72	16
TOTAL	4065-5433	4222-5631	4192-5569	4133-5520
Différences/Cublington	0	157-198	127-136	68-87

(\*) Références : M.J. FROST (1970) et A.K. DASGUPTA and D.W. PEARCE (1972).

(Le premier nombre correspond à une valeur du temps faible, le second à une valeur du temps élevée : 1,50 et 2,50 £ pour le temps de travail, 0,10 et 0,30 £ pour le temps de loisir).

#### 1.1.2.2 Coûts d'accès au sol

Le coût par usager est un "coût généralisé". Il faut entendre par là la somme du coût kilométrique (distinction entre modes de transport privés et publics) et du coût du temps (perte de temps multipliée par la valeur du temps de l'usager) (\*).

##### - Valeur du temps

. La valeur du temps de loisir est évaluée à 25 % du taux de salaire (environ 0,30 £/heure). Ce chiffre résulte de l'observation de comportements de voyageurs en situation de choix modal ou de choix d'itinéraires : on a supposé que les résultats d'études antérieures étaient applicables sans modification aux voyageurs aériens.

. Pour l'estimation de la valeur du temps de travail (voyage d'affaires), on considère que le temps de voyage est un temps purement et simplement perdu. La valeur du temps pour l'homme d'affaires est donc obtenue par addition de son salaire horaire et des coûts d'improduction occasionnés par son absence. Elle est évaluée à 2,30 £/h. environ.

. Une augmentation des revenus de 3 % est prévue (3,25 % pour temps d'affaires).

##### - Prévisions de trafic

Un modèle gravitaire est utilisé pour prévoir le trafic et sa répartition suivant l'accessibilité des sites :

---

(\*) Si  $P$  est le prix payé pour un voyage de durée  $t$  et si  $h'$  est la valeur horaire du temps, le coût généralisé est  $P + h't$ . M. GIROUX (1972) introduit un terme de confort sous la forme  $C = h''t$ . Le "coût généralisé" est alors  $P + ht$  avec  $h = h' + h''$ .

$$T_{ij} = \frac{P_j F_{ij} O_i}{\sum_j P_j F_{ij}}$$

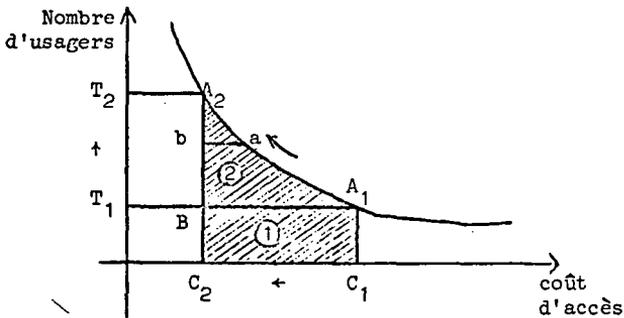
$T_{ij}$  = trafic entre zone  $i$  et aéroport  $j$   
 $O_i$  = trafic à partir de la zone  $i$   
 $P_j$  = attraction de l'aéroport  $j$   
 $F_{ij}$  = coût de déplacement  $i \rightarrow j$ .

### Résultats

(An 2000) Millions voyages	C	F	N	T
TOTAL passagers aériens	211	196	206	210
dont 3e aéroport	110-113	81-85	105-108	108-112

### - Gains de temps pour les usagers

Pour ne pas attribuer un coût excessif aux aéroports attirant le plus de passagers (ce serait le cas si on prenait en compte simplement la quantité : nombre de passagers x coûts/passager), on fait appel à la méthode du surplus.



L'aéroport de référence est Foulness ( $A_1$ ) (qui attire le trafic le plus faible  $T_1$ , le coût d'accès par usager étant  $C_1$ ).

On évalue alors les gains pour les usagers résultant du choix de l'aéroport  $A_2$  plutôt que Foulness (cela correspond donc à une baisse du coût d'accès de  $C_1$  à  $C_2$  et une augmentation de trafic de  $T_1$  à  $T_2$ ).

. Pour les  $T_1$  premiers usagers, le coût passe de  $C_1$  à  $C_2$ , soit un gain total de  $T_1(C_1 - C_2)$  (aire ① hachurée).

. Pour les  $T_2 - T_1$  nouveaux usagers, le surplus (écart entre le coût qu'accepterait de supporter l'utilisateur et le coût réel : segment ab sur la figure) varie de  $C_1 - C_2$  (segment  $A_1B$ ) à 0 (point  $A_2$ ). Le surplus des usagers est représenté par la surface ② hachurée assimilée à un triangle, soit :  $\frac{1}{2}(T_2 - T_1)(C_1 - C_2)$ .

- Gains pour les sociétés de transport terrestre

Si  $R_1$  et  $R_2$  sont les coûts d'exploitation pour l'accès à  $A_1$  et  $A_2$  respectivement, le bénéfice des sociétés de transport (chemin de fer, etc.) passe de  $T_1(C_1 - R_1)$  à  $T_2(C_2 - R_2)$ .

$$\text{Gain} : T_2(C_2 - R_2) - T_1(C_1 - R_1).$$

- Résultat

La différence globale de coût d'accès au sol entre  $A_1$  et  $A_2$  sera donc  $T_1(C_1 - C_2) + \frac{1}{2}(T_2 - T_1)(C_1 - C_2) + T_2(C_2 - R_2) - T_1(C_1 - R_1)$ , soit encore  $T_1 R_1 - T_2 R_2 + \frac{1}{2}(T_2 - T_1)(C_1 + C_2)$ .

(Millions £)	C	F	N	T
Coût d'accès au sol (différences/Foulness)	167-207	0	132-166	145-168

1.1.2.3 Coûts d'accès aérien

Ils sont estimés de façon analogue aux coûts précédents. Ils correspondent aux différences de bénéfice pour les compagnies aériennes suivant l'aéroport choisi, en fonction des différences de trafic et de sa répartition.

#### 1.1.2.4 Coût social du bruit

Le bruit est ici pris en compte sous forme monétaire par une méthode fondée sur la dépréciation des valeurs immobilières. On part en effet du principe que la valeur d'un terrain, d'un immeuble reflète non seulement le prix de la pierre, du sol, mais aussi des facteurs liés à l'environnement, et en particulier le bruit.

La population touchée par le bruit est classée en 4 catégories (cf. tableau ci-dessous). Les coûts qui interviennent sont :

- D : dépréciation du prix des maisons ;
- S : surplus du consommateur ;
- N : compensation monétaire de la gêne due au bruit ;
- R : coût de déménagement.

- Résidents nouveaux arrivants	Coût nul
- Résidents déménageant à cause de l'aéroport	S + R + D
- Résidents déménageant de toute façon	D
- Résidents restant sur place	N

Les nouveaux arrivants sont supposés savoir ce qui les attend. Aucun coût n'est donc pris en compte en ce qui les concerne.

Les habitations considérées sont celles de la zone de bruit supérieur à 35 NNI (Number and Noise Index : indice reflétant à la fois l'intensité du bruit et sa fréquence d'apparition).

R et D sont estimés à partir des prix du marché (appréciation de D par des experts se fondant sur le cas de l'aéroport de Gatwick).

Pour déterminer N, la commission a supposé que la valeur moyenne de N était égale à la dépréciation D des maisons (d'après la loi de l'offre et de la demande, le nombre de vendeurs qui estiment la gêne due au bruit à un niveau N supérieur au coût D <sup>(\*)</sup>, est égal au nombre d'acheteurs qui valorisent N à un niveau inférieur à D).

(\*) Le problème est en fait plus compliqué car s'ajoute à D le coût R + S.

Enfin S, qui représente la différence entre le prix du marché et la valeur subjective attachée à la maison, est déterminé par enquête auprès du public auquel on demande quelle somme compenserait pour lui le fait d'avoir à quitter sa maison.

Cette méthode peut être également adoptée pour déterminer la compensation monétaire N pour la population exposée au bruit. Elle avait été proposée par la British Airport Authority à la commission Roskill.

Cette méthode pose le problème des valorisations infinies, certaines personnes déclarant que pour rien au monde elles n'accepteraient de quitter leur habitation.

Dans le cas du TLA, il y eut 8 % de telles réponses pour S. La commission ramena de façon arbitraire ces valeurs "excessives" de S à un plafond de 200 % du prix des maisons. Globalement, cette prise en compte de l'infini fit passer S de 39 % à 52 % de la valeur des propriétés.

Pour R et D, les pourcentages obtenus sont respectivement de 16 % et 20 %.

Les résultats totaux sont les suivants :

	C	F	N	T
Nb d'habitations à l'intérieur du contour 35 NNI (année 2006)	29 400	20 300	94 800	25 600
Coût social du bruit (millions £)	22,7	10,2	72,2	15,6

A titre indicatif, le coût du bruit par habitation s'élève en moyenne à :

	£
> 55 NNI	530
45 - 55 NNI	400
35 - 45 NNI	220

1.1.3 L'étude d'un aéroport pour le Yorkshire - METRA CONSULTING GROUP  
(1972)

1.1.3.1 Présentation générale

Cette étude a été réalisée en 1972 en vue de définir la meilleure solution au problème du trafic aérien et des facilités aéroportuaires dans le Yorkshire.

La méthode utilisée est encore du type coûts-avantages mais, à la différence de celle utilisée dans le cas du TLA, la valorisation en termes monétaires n'est pas systématique (exemple du bruit).

Méthodologie

Les éléments pris en compte dans la détermination :

- (i) du besoin ou non d'un aéroport,
- (ii) du meilleur système aéroportuaire

peuvent être classés en 3 catégories :

- effets sur les biens intangibles (temps, bruit, sécurité, pollution...)
- effets économiques (rentabilité de l'aéroport, des entreprises de transport, effets sur la défense nationale...);
- effets individuels (gains de temps, coûts divers pour les particuliers...).

La liste initiale de 61 sites envisageables est ramenée à 4 sites (qui feront l'objet de l'étude coût-avantage proprement dite) par éliminations successives :

- des sites moins accessibles à la plus grande partie du Yorkshire que tout aéroport concurrentiel ;
- des sites inacceptables du point de vue de l'environnement ;
- des sites dominés (\*) par un autre site.

---

(\*) Définition : a domine b si a est préféré ou indifférent à b sur tous les critères et s'il y a préférence stricte sur un critère au moins.

Le choix entre les 4 derniers sites

La méthode fait le bilan des coûts :

- coûts de construction (bâtiments, voies d'accès, pertes pour l'agriculture...),
- coûts pour la défense nationale

et des avantages ("benefits") :

- gains de temps et d'argent pour les usagers ;
- profit pour l'aéroport ;
- créations d'emplois.

Tous ces éléments sont évalués sous forme monétaire et permettent un premier classement des 4 sites.

Un deuxième classement des sites, suivant l'influence sur l'environnement, est obtenu par dénombrement des habitations et édifices divers atteints par le bruit.

A ce stade, le choix du meilleur site pourrait être fait, au niveau du décideur, par évaluation de l'importance relative des 2 classements (analyse bi-critère coûts monétaires/environnement).

Pour permettre cette évaluation, le groupe d'étude a recours à la méthode de la commission Roskill et arrive, après transformation monétaire des effets sur l'environnement, à la conclusion que ces effets n'ont pas une importance déterminante quant au choix du meilleur site.

Tableau résumé de l'analyse - Coûts actualisés sur 25 ans (année 1975)

Millions £	Balne Moor	Church Fenton	Elvington	Winterset
Coûts construction	- 11,0	- 11,2	- 8,0	- 16,1
Coûts de défense	-	- 5,5	- 5,5	-
Gains usagers	+ 11,7	+ 12,6	+ 11,6	+ 12,5
Profit aéroport	+ 8,0	+ 7,5	+ 5,8	+ 9,2
Gains dus aux créations d'emplois	+ 9,5	+ 7,9	+ 6,7	+ 6,8
(a) TOTAL	+ 18,2	+ 11,3	+ 10,6	+ 12,4
1er classement	①	③	④	②
<u>L'environnement</u>				
Nombre de personnes dans les zones < 35 NNI (année 1990)	4 720	2 595	1 595	6 038
...				
2e classement	③	②	①	④
(b) Equivalent monétaire Millions £	- 2,2	- 1,4	- 0,8	- 3,3
TOTAL général des coûts (a) + (b)	+ 16,0	+ 9,9	+ 9,8	+ 9,1
Classement final	①	②	②	④

Une étude de sensibilité aux données de base a été effectuée, déterminant les seuils à partir desquels le classement est modifié.

Voyons plus en détail la façon dont sont pris en compte les termes a priori non monétaires.

#### 1.1.3.2 Les gains de temps pour les usagers

Comme dans le cas du TLA, la notion de base est le "coût généralisé", c'est-à-dire la somme du coût kilométrique du voyage et du coût du temps.

- Coût par usager

Le modèle distingue 8 catégories de passagers classés suivant le niveau de leurs revenus.

Pour les voyages d'affaires, la valeur du temps de travail est prise égale à 150 % du salaire horaire.

La valeur du temps de loisir adoptée est celle de 25 % du salaire horaire.

Tableau de valeurs utilisées

Groupe de revenus (£/an)	0-999	1000-9999	2000-2999	3000-3999	4000 et +
Valeur du temps travail 1971 1990 £/heure	1,74 1,96		1,85 3,51	2,59 4,91	3,33 6,31
Valeur du temps loisir 1971 1990 £/heure	0,06 0,11	0,17 0,32		0,28 0,53	

Ces valeurs permettent donc de déterminer le coût pour l'utilisateur de chaque mode de transport. On suppose que l'utilisateur choisit le mode le moins cher (coût généralisé).

- Bénéfice pour l'ensemble des usagers

Une fois effectuées les prévisions de trafic (par catégories d'utilisateurs et de lieux de départ et d'arrivée : matrices OD), le coût d'accès pour chaque site est obtenu par multiplication du nombre de passagers par le coût généralisé du mode d'accès choisi.

On effectue alors le même calcul dans l'hypothèse où aucun aéroport nouveau n'est construit. Le bénéfice résultant du choix d'un site donné

est, pour les usagers, représenté par le gain de coût entre la solution choisie et le statu quo.

### Résultats

Aéroport		BN	CF	E	W
Année 1990	Trafic millions de passagers	3,28	3,17	2,79	3,54
	Gains de coût généralisé (millions f)	2,60	2,79	2,58	2,76
TOTAL des gains pour les usagers (millions f)		11,73	12,59	11,63	12,48

#### 1.1.3.3 Les créations d'emplois

On tient compte des emplois créés par la construction de l'aéroport et ensuite par son fonctionnement ainsi que de l'effet multiplicateur.

Seuls sont introduits, dans l'analyse coûts-avantages, les salaires des employés qui auraient été au chômage sans la création du nouvel aéroport (les autres revenus correspondant à des transferts d'emplois ne constituant pas un gain pour l'ensemble de la société).

#### 1.1.3.4 La prise en compte du bruit

La première étape consiste à recenser le nombre d'habitations situées dans les zones sensibles au bruit (contour 35 NNI) ainsi que le nombre :

- d'établissements scolaires ;
- d'hôpitaux ;
- d'églises et chapelles ;
- de monuments historiques ;
- de lieux récréatifs.

Ce dénombrement permet de classer les sites sur ce domaine de l'environnement.

La deuxième étape est l'expression, en termes monétaires, de cette gêne due au bruit.

Le coût pour les maisons d'habitation est chiffré par la méthode de la commission Roskill (TLA).

On peut remarquer cependant que les prix utilisés sont supérieurs à ceux utilisés dans le cas du TLA.

Habitations situées dans les zones	Coût du bruit/habitation (£)	
	Année 1970	Année 1980
> 50 NNI	1 573	2 562
45 - 50 NNI	1 274	2 075
35 - 45 NNI	979	1 595

Pour les autres constructions (écoles, hôpitaux, églises...), le coût pris en compte est celui de l'isolation phonique.

#### 1.1.4 Etude de l'extension de l'aéroport de Porto - OTAM (1973)

##### 1.1.4.1 Présentation générale

L'étude consiste à comparer deux sites aéroportuaires : l'un (Pedras Rubras) près de Porto, l'autre près d'Espinho. Une solution mixte avec deux aéroports est également envisagée. Nous n'en parlerons pas ici, pour la clarté de l'exposé.

Trois approches du problème sont proposées :

- une approche coûts-avantages monétaires ;
- une approche coûts-avantages globale où sont intégrés les avantages qui peuvent être traduits en termes monétaires ;
- enfin une approche désagrégée multicritère (critères évalués dans leur unité propre).

### Les facteurs de choix

Ont été pris en compte :

- les coûts d'investissement ;
- les coûts d'exploitation des aéroports ;
- les coûts et temps de déplacements au sol ;
- l'incidence du bruit ;
- l'incidence sur les sites naturels ;
- la cohérence avec l'aménagement de l'espace et les effets sur le développement.

Deux autres facteurs (coûts d'escale des compagnies et qualités aéronautiques des sites) sont cités, sur lesquels les deux solutions sont équivalentes.

#### 1.1.4.2 Coût et temps d'accès au sol

Des prévisions de trafic sont établies. Elles sont supposées indépendantes de l'aéroport finalement retenu.

On évaluera donc le coût généralisé par usager (coût kilométrique + coût du temps). Le coût total sera obtenu par multiplication par le nombre d'usagers prévu.

De façon plus précise, la région d'attraction de l'aéroport est divisée en zones. On détermine la proportion de trafic (distinction touristes ou non) affectée à chaque zone ainsi que la distance moyenne de la zone à l'aéroport.

Le coût par kilomètre est estimé à :

- 0,6 escudos/km pour les transports en commun ;
- 2,0 escudos/km pour les transports individuels.

Les touristes sont supposés utiliser les transports en commun (0,6 esc./km par passager). Les autres passagers utilisent à 75 % les transports individuels et 25 % les transports en commun (moyenne : 1,6 esc./km par passager).

- Valeur du temps

Elle est supposée nulle pour les touristes. Pour les autres passagers, on prend 60 escudos/heure. Le temps d'accès est déterminé en supposant une vitesse de l'ordre de 50 km/h.

- Résultats

Millions d'escudos Coûts actualisés à 10 % jusqu'en 2000	Pedras Rubras	Espinho
Coût kilométrique total	1 206	1 917
Coûts liés à la perte de temps	581	1 013

1.1.4.3 Incidence du bruit

Comme dans l'étude de l'aéroport pour le Yorkshire, 2 phases sont envisagées :

- dénombrement de la population atteinte par le bruit (zones 35-45 NNI, 45-50 NNI et 50 NNI et plus) ;
- évaluation du coût social du bruit (méthode de la commission Roskill).

Niveau du bruit (NNI)	35 - 45	45 - 50	50 et +
Coût annuel du bruit par ménage (Escudos)	7 621	11 199	13 877

Résultat

	Pedras Rubras	Espinho
Coût social total du bruit actualisé à 10 % jusqu'en 2000 (millions d'escudos)	828	142

1.1.4.4 Evaluations finales- Bilan des avantages monétaires (millions d'escudos)

Termes différentiels du bilan	Pedras Rubras (A)	Espinho (B)	Différence (A) - (B)
Coûts d'investissement	852	893	- 59
Coûts d'opportunité	280	180	+ 100
Coûts de déplacement au sol	1 206	1 917	+ 711
(1) TOTAL			+ 752

- Bilan des avantages valorisables monétairement (millions d'escudos)

Aux coûts précédents s'ajoutent :

(2) Coût du bruit	828	142	- 686
(3) Coût du temps de déplacement au sol	581	1 013	+ 432
TOTAL général (1) + (2) + (3)			+ 498

- Approche multicritère

La comparaison se fait sous forme désagrégée.

On introduit l'atteinte aux sites naturels par le nombre d'hectares de forêts détruits et l'incidence sur l'urbanisme sur une échelle à 5 échelons (de - 2 à + 2).

Critère	Unité de mesure	Pedras Rubras	Espinho	Classement	
				P.R.	E
Coûts investissement et opportunité	Millions d'escudos	1 132	1 073	1e	1e
Bruit	Habitants zone 35 NNI en 1985	39 000	6 600	2e	1e
	Millions d'escudos	828	142		
- Coût km au sol - Coût du temps	Millions d'escudos	1 206	1 917	1e	2e
		581	1 013		
Atteinte aux sites naturels	ha	0	2 000	1e	2e
Urbanisme	Echelle qualitative	+ 2	- 2	1e	2e

## 1.2 Etude critique des méthodes coûts-avantages

### 1.2.1 Leurs atouts

Aux yeux de leurs partisans, l'intérêt des méthodes coûts-avantages réside dans la facilité de leur emploi. Le chiffre unique (taux de rentabilité ou bénéfice actualisé) permet de classer les variantes, de répondre aisément à la question faire ou ne pas faire, à condition bien sûr que le décideur approuve le bien-fondé méthodologique et sache éventuellement en discuter les quelques hypothèses fondamentales (valeurs de certains paramètres tels que valeur du temps ou coût du bruit notamment).

Ces méthodes, on l'a vu, visent en effet à prendre en compte tous les facteurs de décision et évitent au décideur de mettre en balance des termes économiques quantifiés et des termes non quantifiés, représentant par exemple les effets externes sur l'environnement, sans lui donner d'indications quant à la façon d'effectuer la comparaison finale (\*).

La comparaison de plusieurs actions possibles peut apparaître facile et "objective" (M.J. FROST (1970) p. 185). Aucun arbitraire n'est introduit par une quelconque pondération entre les différents biens économiques et non économiques.

Il convient cependant de noter ici que l'arbitraire, s'il est exclu de l'évaluation finale, est présent au niveau inférieur, celui de la quantification et de l'évaluation monétaire des conséquences partielles (voir § 1.2.2.2). Mais M.J. FROST remarque que les hypothèses de travail qui permettent la prise en compte de chacun des facteurs sont clairement identifiables et il est possible de discerner l'influence de ces hypothèses sur des résultats finals, par exemple à l'aide d'une étude de sensibilité.

De plus, ces méthodes coûts-avantages sont fondées sur des prix de marché qui traduisent de façon directe les préférences des différents groupes concernés par la décision. En ce qui concerne les biens intangibles,

---

(\*) M.J. FROST (1970) p. 20 : "One will try to avoid an end result in which a quantified analysis of, say, economic terms has to be weighed against environmental factors without being able to give the decision maker any guidance as to exactly how this should be done".

les méthodes fondées sur le comportement conduisent également, par la "révélation des préférences", à des prix fictifs qui constituent de bons indicateurs de l'importance accordée à ces biens par les consommateurs. Ceci suppose le principe de souveraineté du consommateur qui peut être remis en question (voir § 1.2.2.4).

### 1.2.2 Leurs faiblesses

Les points faibles des méthodes coûts-avantages se situent au niveau de l'évaluation de chaque action sur chaque dimension pertinente. Cette estimation, assortie d'une conversion en unité monétaire, soulève de nombreux problèmes.

#### 1.2.2.1 L'importance des prévisions

Ces méthodes étant fondées sur la quantification, la solidité des résultats dépend largement de la qualité des prévisions.

Dans le cas du TLA par exemple, il est clair que les prévisions de trafic ont un rôle déterminant dans l'évaluation des gains de temps pour les usagers. Tout repose sur le modèle gravitaire de distribution du trafic et il est difficile de dire si ce modèle donne des résultats réellement fiables (que penser d'une augmentation de trafic de 7 % liée à un gain de 5 mn sur 45 mn ?).

Ces prévisions se répercutent sur d'autres postes du bilan, tels que les profits de l'aéroport.

#### 1.2.2.2 L'évaluation des intangibles - Niveau individuel

Pour ces biens non marchands pour lesquels, a priori, aucun prix n'existe, le problème de l'évaluation monétaire est double : il se pose d'abord au niveau individuel puis au niveau collectif de l'agrégation.

Au niveau individuel, les méthodes auxquelles on a recours pour chiffrer les avantages non monnayables sont multiples et de ce fait un problème se pose : pourquoi choisir telle méthode plutôt que telle autre ?

- Prenons l'exemple du bruit dans la localisation des aéroports. On peut prendre pour valeur du bruit la somme monétaire qui compenserait le fait d'accepter de vivre dans une zone soumise à un certain niveau de bruit. C'est l'idée qui est à la base des exemples que nous avons vu dans la partie 1.1. Les évaluations se font par enquête auprès du public et peuvent poser, on l'a vu, le problème de valorisations infinies. Ces valorisations sont en outre fonction du plus ou moins grand niveau de revenus et, d'autre part, de la plus ou moins grande gêne ressentie. Par ailleurs, des gênes non ressenties (effet sur la santé) ne sont pas prises en compte. Cette méthode présente donc un aspect arbitraire certain.

Une méthode concurrente serait d'évaluer le bruit par le coût d'isolation phonique des habitations. Elle est employée dans le cas du Yorkshire pour les édifices publics. Mais là encore, des difficultés d'évaluation sont à affronter.

Enfin, pour les personnes quittant la zone de bruit, le recours à la dépréciation des habitations pour chiffrer le coût du bruit est aussi une méthode peu sûre puisqu'elle pose le problème de définir la relation de dépréciation prix/bruit (A. ALEXANDRE, J.P. BARDE (1973)). La différence entre les coûts du bruit obtenus dans les études de Londres et du Yorkshire est inquiétante : 220 £ pour l'aéroport de Londres et 979 £ pour celui du Yorkshire (coût par habitation dans la zone 35-45 NNI, année 1970).

- En ce qui concerne le temps, les méthodes utilisées pour déterminer une valeur du temps de loisir sont, de façon quasi-générale, celles fondées sur le comportement. Elles supposent toutefois, pour leur validité (CEMT (1969)), que l'utilisateur en situation de choix a une information parfaite des choix possibles et que l'on peut de façon précise distinguer les causes et effets (il faut s'assurer que d'autres motifs de décision n'interfèrent pas avec celui du gain de temps (N.W. MANSFIELD (1969))).

Le résultat obtenu est bien entendu lié au revenu. On peut de plus se demander s'il est justifié de généraliser les valeurs obtenues pour un type donné d'utilisateurs à d'autres catégories d'utilisateurs (application de valeur du temps tirée de choix routier, aux utilisateurs d'aéroports).

Pour le temps de travail, une autre méthode est employée, à partir de l'hypothèse fondamentale que, pour l'homme d'affaires, la durée du voyage est un temps perdu, ce qui est très critiquable (A. ALEXANDRE et J.P. BARDE (1973)). L'hypothèse formulée revient en fait à négliger l'aspect confort, lié au temps (possibilité de travailler pendant le transport, possibilité de se reposer) et la valeur retenue, de l'ordre de 150 % du salaire horaire, apparaît dès lors très arbitraire.

La distinction affaires/loisir (avec les valeurs du temps correspondantes de 25 et 150 % du revenu) fait par ailleurs ressortir l'importance des prévisions de trafic qui devront distinguer avec une précision suffisante les proportions de voyageurs d'affaires et de touristes.

- D'une manière générale, la prise en compte des intangibles sous forme monétaire apparaît donc comme entachée d'arbitraire, ceci résultant du fait que bien des méthodes sont justifiables - et aucune ne s'impose plus qu'une autre - pour évaluer ces biens naturellement non quantifiés (\*).

Néanmoins, l'idée essentielle de ces méthodes est la création d'un marché fictif qui permet d'établir des pseudo-prix traduisant l'attachement des individus aux biens en question. A supposer que l'on admette ce principe (discuté par A. ALEXANDRE et J.P. BARDE (1973)) p. 406 : peut-on "transformer systématiquement la qualité en quantité" ?), deux problèmes se trouvent soulevés : celui de (re)distribution des revenus et celui de la souveraineté du consommateur.

### 1.2.2.3 Le problème de la répartition des revenus

Les résultats obtenus par révélation des préférences individuelles sont directement liés aux revenus. Il suffit, pour s'en convaincre, d'observer, sur le tableau suivant cité par M.E. PAUL (1971), l'augmentation avec la valeur des maisons (et donc avec le degré d'aisance des résidents) du rapport dépréciation mesurant le coût du bruit (la valeur du silence) sur la valeur de la maison :

---

(\*) Le problème est énoncé par A.K. DASGUPTA et D.W. PEARCE (1972) dans les termes suivants : "Valuing that which cannot be valued" (p. 15).

Niveau NNI	Dépréciation (%)		
	Maisons à prix modéré	Maisons à prix moyen	Maisons à prix élevé
32	2	4	6
40	4	9	15
49	10	15	26
55	13	20	35
60	15	22	38

La situation est tout à fait analogue dans le cas du temps de loisir. Il résulte de l'observation des comportements que les individus agissent comme s'ils attribuaient à leur temps une valeur d'autant plus élevée que le revenu est élevé (on admet généralement une proportionnalité de 20 à 30 %).

Ceci peut paraître surprenant, voire choquant. Est-il normal d'accorder aux gains de temps de l'ouvrier une valeur 10 fois plus faible qu'à ceux de l'homme d'affaires ? Ne serait-il pas plus juste, en se fondant sur des considérations politico-sociales d'égalité riches-pauvres, de prendre une valeur unique pour le temps de loisir pour toutes les catégories sociales ? (★).

L'utilisation de valeurs différenciées repose sur l'hypothèse de répartition optimale des revenus. L'idée est que la société n'attache pas la même importance à chacun de ses membres. Ceci se traduit par l'allocation d'un revenu d'autant plus élevé que les services rendus à la collectivité sont grands.

Il faut cependant être conscient que l'on risque par ce biais d'accroître les disparités entre revenus et les inégalités sociales.

---

(★) L'intérêt de l'unicité du temps de loisir est discutée par A.J. HARRISON (1969).

La localisation d'aéroports constitue un bon exemple de cette situation où sera favorisé, par les gains de temps de transport, un petit nombre d'hommes d'affaires au détriment des catégories de population sans doute moins aisée qui résideront aux abords de l'aéroport et seront atteintes par le bruit.

L'analyse coûts-avantages est alors justifiée par la possibilité des compensations qui viendraient atténuer (ou supprimer) cet effet néfaste de redistribution de revenus. Compensations possibles certes dans la théorie ; mais dans la réalité ?

Nous conclurons avec A. ALEXANDRE et J.P. BARDE (1973) que "l'analyse coûts-avantages peut être véritablement un instrument tendancieux et dangereux sous une apparence de rationalité et d'équité", du fait que l'insuffisance des compensations, du risque d'augmentation des privilèges des riches par rapport aux pauvres et, qui plus est, du risque de les étendre à des domaines tels que la qualité de la vie devant lesquels, jusqu'à présent, chacun était égal.

#### 1.2.2.4 Le principe de souveraineté du consommateur

Ce principe est sous-jacent à l'utilisation des prix fictifs traduisant les préférences individuelles. Il suppose que chaque individu est le meilleur juge de ses propres intérêts ; cette affirmation n'est pas nécessairement exacte (A. CODDINGTON, H. OPSCHOOR, D. PEARCE (1972)). Les préférences individuelles reflètent l'idée que se fait le consommateur des relations entre ses actions et son bien-être futur. Mais il est clair que le bien-être futur est soumis à certains effets indiscernables immédiatement : le domaine de l'environnement en fournit de nombreux exemples. Le résident interrogé sur la somme qui, pour lui, compenserait le fait de vivre dans une zone de fort bruit, n'a pas toute l'information nécessaire pour donner une réponse réellement significative. Il ne sait pas vraiment quelles perturbations le bruit introduira dans sa vie et ne peut pas en appréhender tous les effets (effets sur sa santé, effets à long terme). C'est aussi vrai pour le temps ; les gains de temps constituent, en l'état actuel de notre société, une sorte de bien suprême que chacun cherche à atteindre. Il n'est pas dit que, dans un avenir plus ou moins rapproché, la tendance ne se renverse pas et que, las d'une société de plus en plus pressée, de plus en plus fatigante, les gens demandent à enfin prendre le temps de vivre.

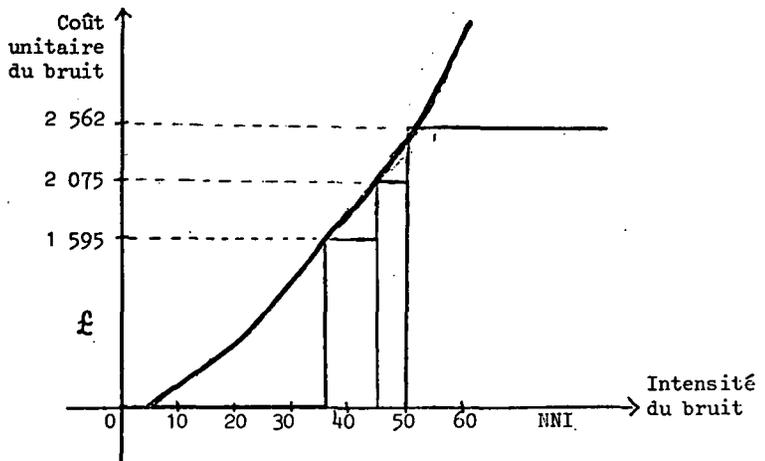
### 1.2.2.5 L'utilisation d'une échelle monétaire

La conversion dans une unité unique, l'unité monétaire, de tous les critères appelle donc des réserves.

Du fait de l'incertitude des variations des valeurs humaines, l'actualisation de ces valeurs pose un problème particulier qui ne peut être résolu par le recours à un taux d'actualisation unique (dont le choix ainsi que celui de la période d'actualisation influe d'ailleurs sur le bilan de l'analyse coûts-avantages (\*)).

En outre, tant au niveau individuel que collectif, tous "les bénéfices et les coûts ne sont pas nécessairement additifs ni comparables" (M.HILL : "A goals-achievement matrix for evaluating alternative plans").

La sommation en termes monétaires pose un problème d'agrégation de phénomènes non homogènes. Si l'on compare, dans les exemples précédents, les prises en compte du bruit et du temps, on s'aperçoit que l'on a accordé au bruit un coût croissant rapidement avec le degré du bruit.



Aéroport pour le Yorkshire

(\*) Le problème de l'actualisation est en fait un problème de comparaison des distributions dans le temps des coûts et avantages. Choisir un taux d'actualisation revient à effectuer une moyenne pondérée des résultats de chaque année. D'autres critères de comparaison (désagrégée) pourraient être envisagés. On a déjà soulevé ce problème dans l'annexe A, § IV.

En revanche, on suppose, pour les gains de temps, un coût unitaire constant, indépendant de la durée de ces gains. En adoptant, comme pour le bruit, une valorisation monétaire croissante avec la taille des gains de temps, on aurait pu obtenir des résultats très différents quant au coût d'accès au sol (dans le cas du TLA, par exemple, les différences de temps d'accès sont faibles).

Enfin, dans le cas du bruit se pose le problème des valorisations infinies, ramenées à un niveau fini, de façon arbitraire. Il semble clair, dans ce cas précis, qu'une prise en compte autre que monétaire serait préférable (cf. M.E. PAUL (1971) p. 319).

#### 1.2.2.6 L'évaluation des intangibles - Niveau collectif

Le passage au niveau collectif fait resurgir le problème de l'arbitraire inhérent à la valorisation monétaire. De faibles différences de valeur au niveau individuel pourront, de façon globale, avoir un influence déterminante sur les résultats de l'étude alors même que ces faibles différences sont entachées d'arbitraire et d'incertitude.

Un exemple construit sur l'étude du Yorkshire va nous permettre d'illustrer cette situation. Les coûts monétaires du bruit utilisés dans l'étude (voir tableau ci-après) placent globalement Balne Moor devant Winterset pour le critère bruit. L'emploi d'autres valeurs (4 000 £, 3 000 £, 1 000 £ pour les zones > 50, 50-45, 45-35 NNI) auxquelles on aurait très bien pu aboutir par d'autres évaluations, conduit à placer, pour le même critère, Winterset devant Balne Moor (voir graphique ci-après).

Sans doute une étude de sensibilité permet-elle de définir les seuils de valeurs à partir desquels l'ordre de classement des solutions est modifié. Il faut toutefois être conscient de ce que des tests de sensibilité effectués de façon séparée pour chaque critère peuvent donner des seuils tout à fait acceptables (c'est le cas pour l'étude du Yorkshire) mais n'ayant pas de signification globale au niveau de l'ensemble de critères. Une étude de sensibilité aux variations simultanées des différents

critères donnerait en effet des seuils d'indifférence beaucoup plus réduits (\*).

L'exemple numérique fait également ressortir l'arbitraire lié au découpage par niveau de bruit auquel on attribue un coût uniforme (en particulier le niveau inférieur à 35 NNI correspondant à un coût nul).

---

(\*) On se rapproche ici de l'analyse multicritère. Pour une étude concrète, voir Revue METRA, Vol. XIII, n° 1, 1974 - P. BERTIER, J. de MONTGOLFIER - "On Multicriteria Analysis : An application to a forest management problem".

Coût du bruit - Aéroport pour le Yorkshire

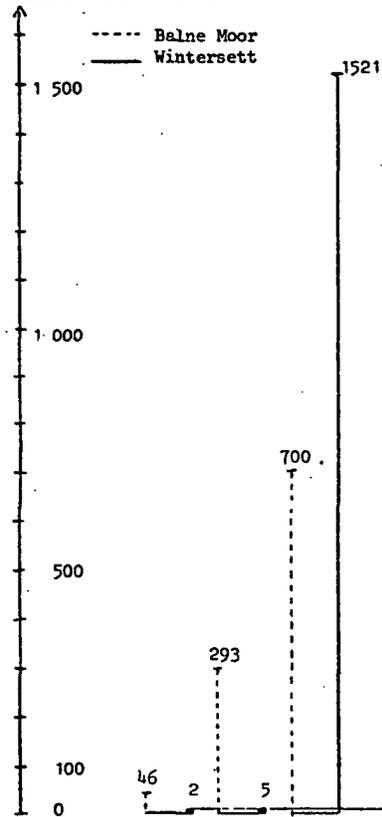
Comparaison Balne Moor - Winterset

Zone de bruit		*	Balne Moor		Winterset		**	Balne Moor		Winterset	
> 50 NNI	(1) Coût/habitation (£)	2 562					4 000				
	(2) Nombre d'habitations		46		2			46		2	
	(3) = (1) x (2) Coût total (millions £)		0,11		0,00			0,18		0,008	
45-50 NNI	(1)	2 075					3 000				
	(2)		293		5			293		5	
	(3)		0,61		0,01			0,88		0,015	
35-45 NNI	(1)	1 595					1 000				
	(2)		700		1 521			700		1 521	
	(3)		1,12		2,43			0,70		1,59	
TOTAL	Nombre d'habitations		1 039		1 528			1 039		1 528	
	Coût total (millions £)		1,84		2,44			1,78		1,61	
	Classement des sites		①		②			②		①	

\* Coûts utilisés dans l'étude du Yorkshire (année 1970) - METRA CONSULTING GROUP (1972).

\*\* Autres coûts utilisés à titre d'exemple.

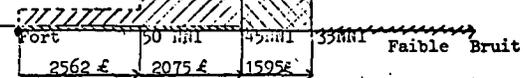
Nombre d'habitations



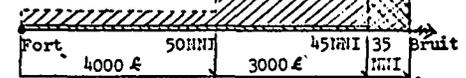
Zone >50 dBA  
Zone 45-50 dBA  
Zone 45-35 dBA

Evaluation de la population atteinte par le bruit.

Importance et danger de la valorisation monétaire du bruit



Valorisation monétaire (utilisée dans l'étude)  
Le coût social est représenté par l'aire hachurée.  
Balne Moor l'emporte sur Wintersett.



Autre valorisation monétaire  
Wintersett l'emporte sur Balne Moor.

### 1.2.2.7 Le choix de la méthode

Le passage par agrégation au niveau collectif introduit lui aussi un certain arbitraire dans la mesure où on a, comme pour l'évaluation individuelle, le choix entre plusieurs méthodes.

Prenons le cas du temps dans la localisation des aéroports. Les études de Londres (TLA) et du Yorkshire utilisent, on l'a vu, 2 méthodes différentes : la première fondée sur la théorie économique du "surplus du consommateur" appliquée à l'utilisation d'un site plutôt qu'un autre ; la seconde, plus simple, comparant le coût total d'accès pour 1 site et le coût pour les mêmes passagers dans le cas du statu quo.

Ces deux méthodes sont a priori justifiables et il est difficile de dire si l'une est meilleure que l'autre bien que donnant, pour une même étude, des résultats différents.

Soulignons encore l'importance des prévisions de trafic. Dans une étude où le trafic serait le même pour les sites concurrents, on pourrait employer d'autres méthodes, telles que la comparaison directe des sites sur le temps moyen d'accès.

### 1.2.2.8 La prise en compte des groupes-cibles

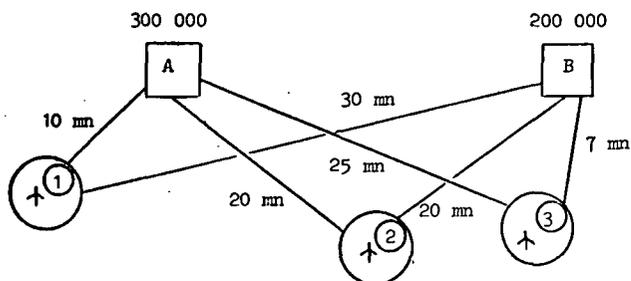
Un défaut majeur de l'ensemble de ces méthodes est qu'elles masquent, par agrégation, la répartition des effets entre les groupes concernés par les projets et leurs conséquences.

Ces effets sont en partie pris en compte (c'est l'un des buts et des intérêts des méthodes coûts-avantages que d'appréhender dans les facteurs de décisions tous les effets, internes et externes, sur toutes les parties atteintes par la décision), mais "on ne s'intéresse qu'aux effets sans se préoccuper de savoir quels agents vont bénéficier des avantages ou supporter les coûts" (X. GODARD (1973)).

Prenons un exemple qui illustre la difficulté de la comparaison de solutions, ne serait-ce que sur une seule dimension. Supposons qu'on veuille choisir parmi 3 sites un aéroport devant desservir essentiellement 2 villes :

A générant un trafic de 300 000 passagers et  
B un trafic de 200 000 passagers, quel que soit le site retenu.

Les temps d'accès sont indiqués ci-dessous :



	Site <u>1</u>		Site <u>2</u>		Site <u>3</u>	
	Temps d'accès par usager (mn)	Coût total d'accès (millions mn)	Temps d'accès par usager (mn)	Coût total d'accès (millions mn)	Temps d'accès par usager (mn)	Coût total d'accès (millions mn)
Ville A (300 000 usagers)	10	3	20	6	25	7,5
Ville B (200 000 usagers)	30	6	20	4	7	1,4
TOTAL		9		10		8,9
Temps moyen d'accès (Coût total/nb. usagers)		18 mn		20 mn		17,8 mn

Du point de vue économique (minimisation des coûts d'accès), le classement des sites est donc, dans l'ordre : 3, 1, 2.

L'analyse coûts-avantages (supposant les sites égaux sur tous les autres critères) ferait donc opter pour le site 3, ayant un léger avantage sur 1.

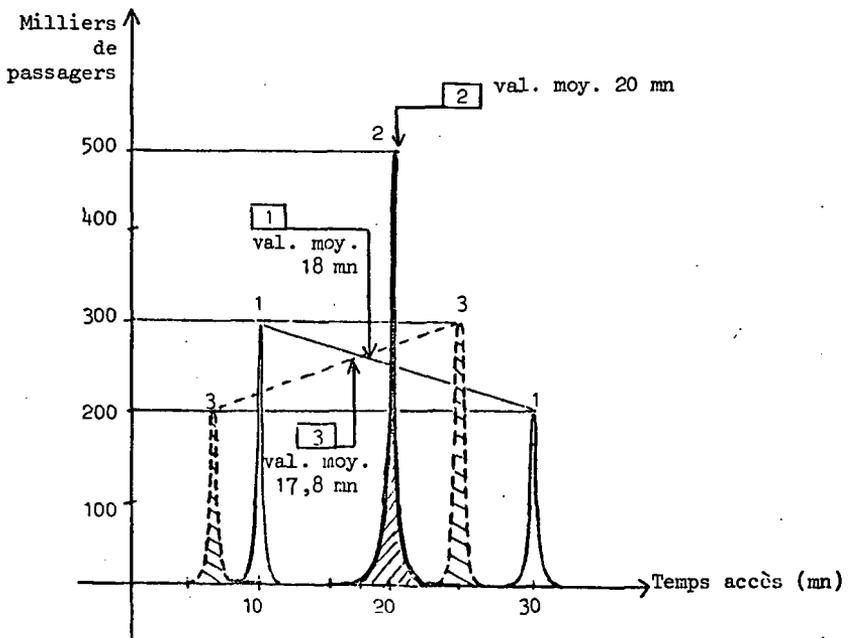
Si l'on se place maintenant du point de vue de chaque ville concernée, l'ordre de préférence sera :

	1er site	2e site	3e site
Ville A	1	2	3
Ville B	3	2	1

Les 2 ordres obtenus sont inverses l'un de l'autre.

Il va donc y avoir conflit entre les 2 villes si **3** ou éventuellement **1** est choisi. En revanche, le choix de **2** réaliserait un compromis qui serait sans doute la meilleure solution du point de vue du conflit.

Le problème se ramène, en termes mathématiques, à la comparaison de distributions.



L'agrégation revient à prendre comme indicateur de comparaison la valeur moyenne du temps d'accès. La solution [2] est alors nettement la moins bonne.

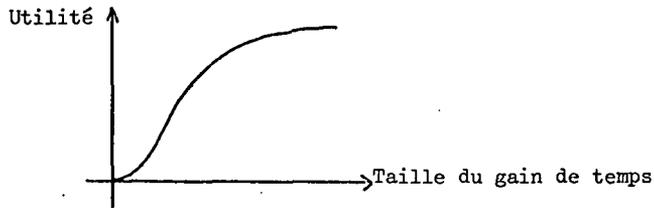
Si, au contraire, on choisit un indicateur qui tient compte de l'allure générale de la distribution (l'écart entre la valeur maximum et la valeur moyenne, la proportion de passagers dont le temps d'accès est supérieur à la moyenne, où à un seuil supérieur de  $x$  % par rapport à la moyenne), [2] l'emporte.

L'agrégation inhérente aux méthodes coûts-avantages masque donc cette répartition des effets et ceci est d'autant plus grave que, comme on l'a remarqué, aucune compensation n'est réalisée en pratique entre groupes défavorisés et groupes favorisés par la décision finale.

### 1.3 Conclusion

Les exemples de problème de localisation d'aéroport nous ont montré qu'existaient, non pas une méthode coûts-avantages, mais bien des méthodes coûts-avantages.

C'est ainsi que le temps a pu être pris en compte de deux façons différentes qui sont cependant toutes deux fondées sur une relation linéaire coût/temps. Poursuivant l'analogie bruit-temps, ce dernier aurait pu également être introduit dans l'analyse à partir d'une relation non linéaire (voir § 1.2.2.5) fondée sur une utilité marginale des gains de temps non constante (cf. figure ci-dessous et annexe A, II), ou encore pris sous forme brute dans son unité propre comme cela est fait pour le bruit dans l'étude du Yorkshire (nombre de personnes dans chaque zone de bruit : de même nombre de personnes ayant pour origine ou destination une zone donnée, donc ayant un certain temps de trajet). On se rapproche alors de l'analyse multi-critères.



En résumé, on peut dire que les méthodes coûts-avantages souffrent d'une quantification monétaire arbitraire qui déforme la réalité en masquant les différents effets des actions étudiées. Ceci est particulièrement vrai pour les intangibles, tels que temps et bruit (\*). Mais, une fois cette base monétaire établie, la décision peut sembler claire ; le critère unique supprime tout problème de pondération entre critères où pourrait se réintroduire de l'arbitraire (\*\*). Ce dernier est en fait ramené à un niveau central (technocratique) par les "recommandations" faites pour choisir, dans les études, une valeur du temps, le coût du bruit, la valeur d'un mort, un taux d'actualisation, etc.

(\*) "The non quantifiable benefits must be identified and expressed in the units appropriate to the situation". M.V. RAMA-SASTRY (1973) p. 45.

(\*\*) La pondération est effectuée implicitement par recours à une échelle unique de mesure pour tous les critères, ce qui revient à admettre que tout coût sur une dimension donnée est compensable par un gain sur une autre dimension.

Par ailleurs, ces méthodes présentent une lourdeur évidente ; la procédure d'agrégation monétaire implique des calculs longs et coûteux dont la validité repose sur la base doublement fragile d'une évaluation monétaire et des prévisions de trafic supposées justes et précises.

Si l'on admet avec M.J. FROST (1970) que le but de l'analyse est d'aider le décideur dans son choix et non de lui apporter une méthode de choix (★), une analyse de type multicritères, avec sa vision désagrégée et par là même plus objective des facteurs de décision, semble mieux adaptée.

---

(★) "This should not be regarded as a machine for decisions, but rather as an aid to judgement" (1970) p. 20.

## 2. A propos de la construction d'une fonction d'utilité : le cas de l'aéroport de Mexico

Nous présentons ici une méthode d'analyse de type multi-critères ("Multiattribute Preference Analysis") utilisée dans l'étude de la localisation de l'aéroport de Mexico, méthode faisant appel à une fonction d'utilité pour l'agrégation finale des critères en un critère unique.

Cette méthode est très différente des méthodes coûts-avantages. Le critère agrégé est entre autres exprimé en "unité" abstraite et non pas en unité monétaire et les "pondérations" utilisées sont particulières au décideur et au problème étudié.

### 2.1 Le problème de l'aéroport de Mexico - Présentation de la méthode "multiattribute"

Les installations aéroportuaires de Mexico devenant insuffisantes par suite d'une croissance rapide du trafic, une étude a été entreprise en 1971 pour déterminer la politique de développement optimale pour ces installations.

R. de NEUFVILLE et R.L. KEENEY ont participé à cette étude ; la présentation que nous allons en faire s'appuie sur les textes qu'ils ont publiés (1972), (1973).

#### 2.1.1 Méthodologie

Les phases successives de l'analyse sont les suivantes :

- recensement des actions possibles ;
- détermination des objectifs et choix des critères correspondants ;
- évaluation (non ponctuelle) de chaque action sur chaque critère réalisée à l'aide d'une distribution de probabilité ;
- vérification d'hypothèses d'indépendance des utilités et des préférences nécessaires à la décomposition d'une utilité globale en fonction des utilités partielles (relatives à chaque critère) ;
- construction de la fonction d'utilité globale qui permet de classer les actions possibles suivant leur utilité décroissante. Cette utilité globale est une agrégation des utilités partielles.

### 2.1.2 L'ensemble des actions possibles

Chaque action a est définie par le choix d'un site (site actuel de Texcoco, à proximité de la ville de Mexico, ou Zumpango, situé à 20 miles de la ville), l'affectation de 4 catégories de vols différents (intérieurs, internationaux, ...) à chacun de ces sites, et ceci pour chacune des 3 années 1975, 1985 et 1995.

Parmi les actions que l'on peut ainsi construire, certaines d'entre elles sont irréalisables et seules 3 000 environ ont été retenues pour l'évaluation.

### 2.1.3 Les objectifs

Les auteurs ont distingué ici les 6 objectifs suivants :

- (1) minimisation des coûts d'investissement ;
- (2) maximisation de la capacité de l'aéroport ;
- (3) minimisation des temps d'accès au sol ;
- (4) maximisation de la sécurité ;
- (5) minimisation des nuisances sociales (expropriations, ...) ;
- (6) minimisation de la pollution par le bruit.

On constate que sont ici pris en compte les différents groupes d'intérêts : les objectifs (1) et (2) concernent le gouvernement en tant qu'opérateur, l'objectif (3) les usagers de l'aéroport, et les objectifs (4), (5), (6) la population qui, sans utiliser l'aéroport, en subit les conséquences.

Les critères correspondant à ces objectifs sont :

- $\gamma_1$  : coût total (millions de pesos) ;
- $\gamma_2$  : capacité horaire (nombre d'atterrissages/décollages par heure) ;
- $\gamma_3$  : temps d'accès (mn) ;
- $\gamma_4$  : nombre de morts ou de blessés graves par accident aérien ;
- $\gamma_5$  : nombre de résidents expropriés pour permettre la construction et l'extension de l'aéroport ;
- $\gamma_6$  : nombre de résidents soumis à un fort niveau de bruit.

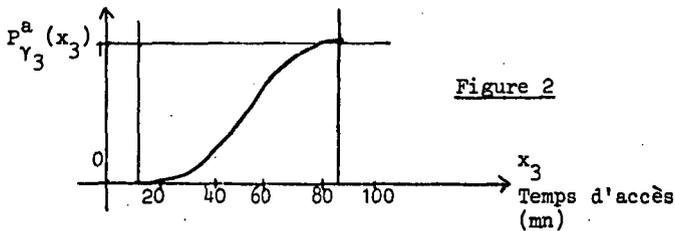
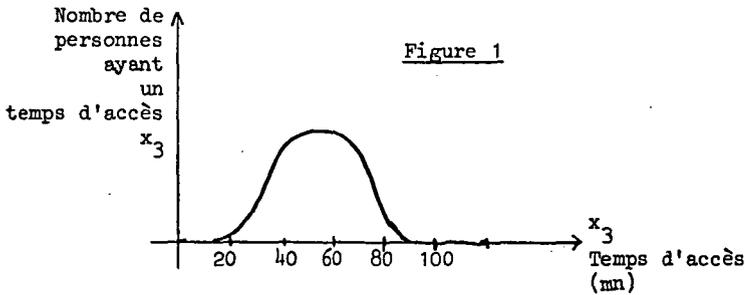
#### 2.1.4 Evaluation des actions

L'évaluation d'une action  $a$  selon le critère  $i$  est non ponctuelle. Elle se fait en établissant une distribution de probabilité  $P_{\gamma_i}^a$  telle que  $P_{\gamma_i}^a(x_i)$  représente la probabilité que  $\gamma_i(a)$  prenne la valeur  $x_i$ .

On supposera par la suite que les  $P_{\gamma_i}^a$  sont indépendants au sens des probabilités, de telle sorte que :

$$P^a(x_1, \dots, x_6) = P_{\gamma_1}^a(x_1) \dots P_{\gamma_6}^a(x_6).$$

Dans le cas du temps d'accès au sol ( $\gamma_3$ ), la probabilité  $P_{\gamma_3}$  représente en fait la distribution des temps d'accès parmi les usagers, établie par découpage de la ville en zones ayant des caractéristiques homogènes. Par cumul de cette distribution (Figure 1), on obtient  $P_{\gamma_3}^a$  tel que  $P_{\gamma_3}^a(x_3)$  représente la probabilité que le temps d'accès soit inférieur à  $x_3$  (Figure 2).



### 2.1.5 Etablissement d'une fonction d'utilité

- Le but de cette phase est d'établir une fonction  $u(x_1, x_2, \dots, x_G)$  définie pour tout point de l'espace des critères.

- Manipuler simultanément six dimensions pour déterminer une telle fonction est impossible en pratique. Des hypothèses d'indépendance permettent d'établir cette fonction à partir de fonctions d'utilité définies de façon séparée sur chaque critère :  $u_i(x_i)$ .

#### 2.1.5.1 Hypothèses d'indépendance

Deux hypothèses d'indépendance peuvent être formulées (\*) :

##### - Indépendance des utilités (ii)

Si  $x_i$  représente une valeur possible sur un critère,  $x_i^-$  un jeu de valeurs sur les autres critères, on dira que  $x_i$  est indépendant de  $x_i^-$  au sens des utilités, si les préférences du décideur dans une loterie (distribution de probabilité) sur  $x_i$  ne dépendent pas de  $x_i^-$ .

Si cette hypothèse est vérifiée ( $\forall i$ ), il existe une fonction d'utilité  $u(x_1, \dots, x_n) = f(u_1(x_1), \dots, u_n(x_n))$  ayant la forme :

. additive  $u(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(x_i)$  (alors  $\sum k_i = 1$ ) ou  
 . multiplicative  $1 + k u(x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n [1 + k k_i u_i(x_i)]$  (alors  $\sum k_i \neq 1$ ).

##### - Indépendance des préférences (i)

Elle diffère de la précédente par le fait qu'elle porte sur des évaluations ponctuelles sur un critère et non une loterie (distribution de probabilité). Un couple  $(i, j)$  de critères est indépendant au sens des préférences de l'ensemble des autres critères  $(i, j)$  si :

$$(x_i, x_j, x_{i,j}^0) \succ (x_i^1, x_j^1, x_{i,j}^0) \implies (x_i, x_j, x_{i,j}^1) \succ (x_i^1, x_j^1, x_{i,j}^1), (\forall x_{i,j}^1).$$

Si cette hypothèse est vérifiée ( $\forall i, j$ ) et si l'hypothèse d'indépendance des utilités est vraie pour un  $i$  au moins, alors la fonction d'utilité a la forme additive ou multiplicative ci-dessus.

(\*) De façon formelle, ces hypothèses sont définies par KEENEY (1973) en ces termes :

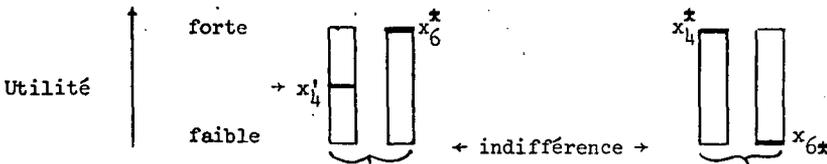
- (i) hypothèse d'indépendance des préférences ;
- (ii) hypothèse d'indépendance des utilités.

La première concerne l'établissement de fonctions de valeur qui nécessitent une évaluation ponctuelle des actions (non probabiliste par exemple

La seconde permet l'établissement de fonctions d'utilité (cas d'évaluations non ponctuelles avec distribution de probabilité).

Ces hypothèses sont vérifiées de la façon suivante :

- (i) Pour chaque couple de critères, par exemple  $\gamma_4$  et  $\gamma_6$  (sécurité et bruit), on recherche (par questions posées au décideur) le niveau  $x$  de  $\gamma_4$  tel que le couple  $(x'_4, x^*_6)$  soit indifférent au couple  $(x^*_4, x_{6*})$



L'hypothèse d'indépendance des préférences est vérifiée si  $x'_4$  ne dépend pas des valeurs prises sur les autres critères  $(x_1, x_2, x_3, x_5)$ .

- (ii) Pour chaque critère, on établit une courbe d'utilité  $u_i(x_i)$ . L'hypothèse d'indépendance des utilités est vérifiée si  $u_i(x_i)$  ne dépend pas des valeurs des autres critères  $(\dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots)$ .

Ces hypothèses étant admises, l'existence d'une fonction d'utilité additive  $u(x_1, \dots, x_6) = \sum_{i=1}^6 k_i u_i(x_i)$  ou multiplicative

$$u(x_1, \dots, x_6) = \frac{1}{k} \left[ \prod_{i=1}^6 (1 + k_i u_i(x_i)) - 1 \right] \text{ est assurée.}$$

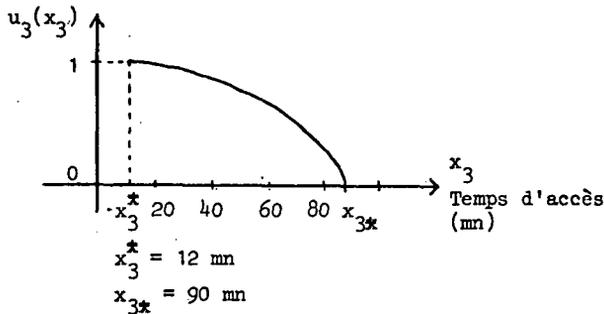
Il suffit, dès lors, d'estimer les 6 fonctions d'utilité  $u_i(x_i)$  et les pondérations entre critères  $k_i$ . C'est ce qui a été fait dans cette étude.

### 2.1.5.2 Etablissement des fonctions $u_i(x_i)$

Elles sont établies par une méthode de comparaison entre une loterie et un équivalent certain; les valeurs extrémales de  $\gamma_i(a)$  étant  $x_i^*$  et  $x_{i*}$  ( $x_i^*$  correspondant à l'utilité maximum et  $x_{i*}$  à l'utilité minimum), l'utilité attachée par le décideur à une valeur  $x_i$  de  $\gamma_i(a)$  est égale à la probabilité  $p$  telle qu'il soit indifférent à l'alternative :

- (i) disposer de  $x_i$  de façon certaine ;
- (ii) disposer de façon aléatoire de  $x_i^*$  (probabilité  $p$ ) ou de  $x_{i*}$  (probabilité  $(1 - p)$ ).

On obtient, pour chaque dimension  $i$ , une courbe du type ci-dessous. La concavité de la courbe traduit l'aversion pour le risque.



### 2.1.5.3 Etablissement des pondérations $k_i$

La détermination des coefficients de pondération  $k_i$  entre critères est également faite par une méthode de type "loterie" :  $k_i$  est la probabilité telle que le décideur soit indifférent à l'alternative suivante :

- (i) avoir  $(x_{1*}, x_{2*}, \dots, x_i^*, \dots, x_{6*})$  de façon certaine ;
- (ii) avoir  $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_i^*, \dots, x_6^*)$  avec la probabilité  $k_i$  ou  $(x_{1*}, x_{2*}, \dots, x_{i*}, \dots, x_{6*})$  avec la probabilité  $(1 - k_i)$ .

La somme  $\sum k_i$  obtenue étant supérieure à 1, c'est la forme multiplicative qui s'impose :

$$u(x_1, \dots, x_6) = \frac{1}{k} \left[ \prod_{i=1}^6 (k_i k_i u_i(x_i) + 1) - 1 \right]$$

### 2.1.6 Classement des actions

Cette phase est la synthèse de la phase d'évaluation (§ 1.4) et de la phase d'établissement de la fonction d'utilité définie dans l'espace des critères (§ 1.5).

Elle permet d'associer à toute action  $a$  une utilité globale calculée comme espérance mathématique :

$$U(a) = \sum_{(x_1, \dots, x_6) \in \gamma(a)} P^a(x_1, \dots, x_6) \cdot u(x_1, \dots, x_6).$$

Les actions peuvent alors être classées selon les valeurs décroissantes de  $U$ .

Dans le cas de Mexico, ce sont des solutions correspondant au développement de l'aéroport sur le site de Zumpango qui présentaient les utilités ainsi construites les plus élevées.

## 2.2 Etude critique de l'approche "multiattribut"

### 2.2.1 Les points forts

#### 2.2.1.1 L'agrégation finale en un critère unique

Comme dans le cas des méthodes coûts-avantages, l'évaluation finale ne pose pas de problèmes pour le décideur : l'agrégation des critères en une fonction d'utilité unique permet un classement complet des actions possibles, d'où la simplicité dans l'utilisation des résultats. Il faut noter cependant que, contrairement aux méthodes coûts-avantages, la décision n'est pas prise en une seule fois au terme de l'étude, mais intervient au contraire de façon progressive puisque les préférences du décideur jouent un rôle important au cours de l'analyse.

### 2.2.1.2 Les pondérations propres au problème étudié

Bien que le critère de décision final soit unique, la nature de ce critère est par essence très différente de celle du critère cash-flow actualisé utilisé dans la méthode coûts-avantages.

Les compensations qui se trouvent établies entre critères sont ici propres au problème étudié et ne sont pas définies par des normes a priori, de type "valorisation monétaire", qui peuvent poser des problèmes d'évaluation arbitraire ou supposent une possibilité de compensation entre critères définie dans un cadre très général dépassant celui du problème.

Chaque critère est ici évalué dans son unité propre et les pondérations, même si elles peuvent apparaître arbitraires, sont en fait beaucoup plus justifiées du fait qu'elles sont établies par le décideur au cours de l'analyse en référence directe au problème étudié.

La détermination des pondérations  $k_i$  dépend en effet explicitement des valeurs rencontrées sur les échelles (valeurs extrémales  $x_i^*$ ,  $x_{i*}$ ).

Par exemple, le poids  $k_3$  relatif au critère temps d'accès ne serait pas le même dans les situations suivantes :

a) temps d'accès compris entre 12 mn et 90 mn

$$(x_{1*}, x_{2*}, 12, \dots, x_{6*}) \sim \begin{cases} k_3 & (x_1^*, x_2^*, 12, \dots, x_6^*) \\ 1-k_3 & (x_{1*}, x_{2*}, 90, \dots, x_{6*}) \end{cases}$$

b) temps d'accès compris entre 12 mn et 20 mn

$$(x_{1*}, x_{2*}, 12, \dots, x_{6*}) \sim \begin{cases} k_3 & (x_1^*, x_2^*, 12, \dots, x_6^*) \\ 1-k_3 & (x_{1*}, x_{2*}, 20, \dots, x_{6*}) \end{cases}$$

A la limite, il est clair que  $k_3$  serait nul si on avait :

$$x_3^* = x_{3*} = 12 \text{ mn.}$$

### 2.2.1.3 Prise en compte des groupes-cibles

Etant au départ multicritères, la méthode offre la possibilité de prendre en compte les différents groupes d'intérêts concernés par la décision finale. Il est même possible, en théorie, de modéliser les préférences de chacun de ces groupes. En pratique, ces préférences sont exprimées par le décideur qui effectue également l'arbitrage entre groupes opposés. En ce sens, la méthode, bien que donnant l'impression, par agrégation, de masquer la répartition des effets sur les groupes-cibles (c'est le cas des méthodes coûts-avantages), doit permettre d'atteindre un compromis acceptable et faciliter la négociation en cas de conflit.

### 2.2.1.4 Souplesse de modélisation

Par l'introduction systématique d'une fonction  $u_i(x_i)$  traduisant les préférences du décideur sur chaque critère, la méthode traduit de façon fidèle la non-homogénéité de l'importance subjective accordée aux valeurs prises sur un critère. L'exemple des temps d'accès montre bien l'intérêt de l'approche qui tient compte d'une utilité marginale du temps non constante.

La méthode permet par ailleurs d'intégrer aisément des évaluations non ponctuelles (cas incertains, distributions de probabilités).

## 2.2.2 Les points faibles

### 2.2.2.1 Fonction d'utilité : problèmes d'existence

- L'analyse coûts-avantages repose sur l'existence d'une fonction d'utilité collective.

- L'approche "multiattribut", beaucoup plus souple, cherche à déterminer une fonction d'utilité qui soit un modèle de la préférence d'un décideur (un agent impliqué dans le processus de décision). Elle est plus souple car elle permet en théorie de définir non pas une fonction d'utilité mais plusieurs, chacune d'elles correspondant à un "décideur" ou groupe d'agents dont on cherche à modéliser la préférence.

- Néanmoins, le fait même de supposer l'existence d'une fonction d'utilité suppose une complète comparabilité qui peut très bien ne pas être évidente. Certaines compensations entre niveaux très différents sur des critères peuvent être refusées par un décideur, au moins au niveau de l'analyse. Reconnaître, dans la phase d'analyse qu'est l'étude, cette possibilité d'incomparabilité pourrait faire évoluer le problème : le décideur pourrait par exemple, à la lumière de cette incomparabilité, exiger qu'on étudie de nouvelles solutions, compromis entre les solutions incomparables.

#### 2.2.2.2 Fonction d'utilité : problèmes d'élaboration pratique

L'établissement de la fonction d'utilité repose sur :

- la vérification des hypothèses d'indépendance ;
- l'établissement des fonctions d'utilité marginale  $u_i(x_i)$  ;
- l'établissement des pondérations entre critères  $k_i$ .

Ces trois phases nécessitent la recherche d'équivalents entre loteries et valeurs certaines ; les difficultés pratiques liées à leur manipulation :

- peuvent poser des problèmes de fiabilité des résultats dans certains cas ;
- engendrent de toute évidence une lourdeur considérable de la méthode dès que le nombre de critères devient important ;
- limitent par là-même, et le nombre de critères pouvant être pris en compte, et la souplesse théorique de modéliser plusieurs points de vue (de "décideurs" distincts).

### 2.3 Conclusion

Cette démarche possède déjà de nombreux avantages sur le calcul économique traditionnel (méthodes coûts et avantages). Cependant, elle demeure à notre avis beaucoup trop lourde, ce qui en limite la portée opérationnelle.

D'autres méthodes d'évaluation et de comparaison en présence de critères multiples ont pour objet de contourner certaines des difficultés mentionnées

ci-dessus. Néanmoins, ces approches ne sont pas contradictoires et, notamment, la méthode "multiattribut" permet d'agrèger en un critère unique un sous-ensemble de critères sur lequel on pourrait aisément vérifier les hypothèses d'indépendance.

### 3. Critères liés au temps d'accès dans le cas de l'aéroport du Var

Les sections ci-dessus (I.1 et I.2) ont pour objet de présenter des méthodes utilisées dans l'aide à la décision d'implantation d'aéroports.

Cette dernière section a pour objet d'illustrer notre approche méthodologique présentée dans le rapport (III).

L'analyse des conséquences et la recherche des dimensions qui suivent est principalement axée sur l'appréhension des aspects liés au temps.

Les problèmes supports sur lesquels notre réflexion s'est appuyée sont :

- localisation du troisième aéroport de Londres ;
- implantation d'un aéroport dans le Yorkshire ;
- étude de l'extension de l'aéroport de Mexico ;
- étude de l'extension de l'aéroport de Porto ;
- desserte aéronautique de la Côte d'Azur (Var).

Les exemples de dimensions sont essentiellement présentés en s'appuyant sur le dernier de ces problèmes.

### 3.1 Les actions candidates

Deux problèmes, souvent mêlés dans les études économiques, sont à distinguer dans notre approche :

1er problème : Faire ou ne pas faire un aéroport dans une région.

2e problème : Sous l'hypothèse de la réalisation d'un aéroport, comment le réaliser, autrement dit quelle variante ou quelle action choisir parmi toutes celles envisageables ?

Ces deux niveaux du problème peuvent être envisagés soit pour la création d'un aéroport nouveau, soit pour l'extension d'installations existantes.

Tandis que, dans le calcul économique, les mêmes calculs permettent de répondre aux deux problèmes, du moins en théorie, la comparaison en présence de critères multiples doit être conduite en ayant à l'esprit soit l'un soit l'autre.

Certains critères seront en effet significatifs sur le plan de la comparaison des deux actions : ne pas réaliser l'investissement, réaliser l'investissement, mais n'auront aucun pouvoir discriminatoire relativement au second problème. Il ne sert alors à rien d'utiliser de tels critères si le véritable problème se pose dans les termes suivants : sachant qu'on a par ailleurs décidé de réaliser cet investissement, quelle est l'action la meilleure parmi toutes les variantes possibles ? Evaluer les actions sur de tels critères non discriminants n'apporterait rien et serait une perte de temps.

Inversement, certains critères n'auront aucune signification relative au problème 1 (faire ou ne pas faire) mais pourront être très utiles dans la discrimination des actions candidates dans le problème 2.

Dans bon nombre d'études, l'ensemble des actions candidates est extrêmement faible, à l'exception des deux premières citées (Londres et Yorkshire) pour lesquelles un ensemble important de sites ont été envisagés puis éliminés ; le nombre des solutions étudiées est généralement

de 3 à 5 (8 pour l'étude du Yorkshire en seconde phase). Dans l'étude de Mexico, le nombre des solutions est beaucoup plus important mais l'approche méthodologique est différente.

Trop souvent également une action s'identifie avec un site. Néanmoins, citons l'étude du Yorkshire où les 8 actions candidates sont constituées par 4 sites et, pour chaque site, deux actions candidates sont construites suivant que l'on conserve le 5e site de l'aéroport actuel de façon permanente ou de façon provisoire. Dans l'étude de Porto, trois solutions sont comparées à partir de deux sites seulement.

Si la combinaison de sites est un moyen effectivement utilisé dans quelques études pour élaborer l'ensemble des actions candidates, nous n'avons jamais rencontré de problème pour lequel une façon de déterminer plusieurs actions à partir d'un site (ou d'une combinaison de sites) serait de considérer plusieurs investissements dans l'accès à ce site.

Exemples :

$a_1$  : site X avec raccordement routier au réseau existant ;

$a_2$  : site X avec cet aménagement routier plus un raccordement ferroviaire.

Indépendamment de questions de trafic ou même de temps ou coûts d'accès pour les usagers, ces deux actions n'ont aucune raison d'être jugées équivalentes.

Il nous semble que la collectivité gagnerait à ce qu'un plus grand nombre de variantes soient définies pour étude et évaluations.

Une action candidate peut par exemple préciser :

- le site (ou la combinaison de plusieurs sites) et les investissements à réaliser sur ce(s) site(s) ;
- les investissements concernant les voies d'accès ;
- les dates de réalisation des différents investissements ainsi que leurs dates de mise en service ;
- les catégories de vols et des hypothèses sur l'importance du trafic prévu sur ces derniers (hypothèse d'exploitation).

Simplement en jouant sur les degrés de liberté relatifs à ces quatre éléments (sites, accès, dates de mise en service et catégories de vols), un ensemble d'actions candidates, a priori intéressantes, peut être établi ; un tel ensemble pourrait comprendre dans certains problèmes un grand nombre d'actions.

### 3.2 Conséquences et dimensions au niveau de l'utilisateur

Les conséquences étudiées ci-dessous ne concernent que le problème 2 ; pour le problème 1, les conséquences ne portent que sur les niveaux collectifs et structurels.

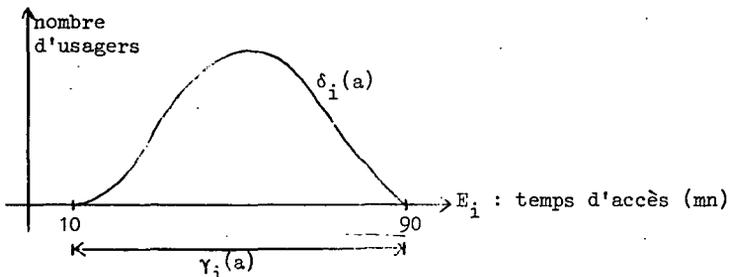
Au niveau de l'utilisateur, on étudie en quoi les actions diffèrent, en se plaçant dans la situation : l'utilisateur a décidé de se rendre à l'aéroport, soit pour prendre l'avion (c'est également un usager du service aérien), soit pour y travailler. A ce niveau, tous les usagers sont identiques, qu'ils soient touristes, élus locaux, hommes d'affaires ou personnel travaillant à l'aéroport. Il s'agit de déceler les conséquences directes pour l'utilisateur.

#### 3.2.1 Temps d'accès

C'est certainement un élément important ; on peut lui attacher la dimension temps d'accès exprimé en mn. L'évaluation d'une action  $a$  sur cette dimension ne sera pratiquement jamais ponctuelle :  $\gamma_i(a) \in E_i$ . Le plus souvent, on aura une distribution, c'est-à-dire que l'on connaîtra un indicateur de modulation  $\delta_i(a)$  (voir notations, rapport III).

#### Exemples :

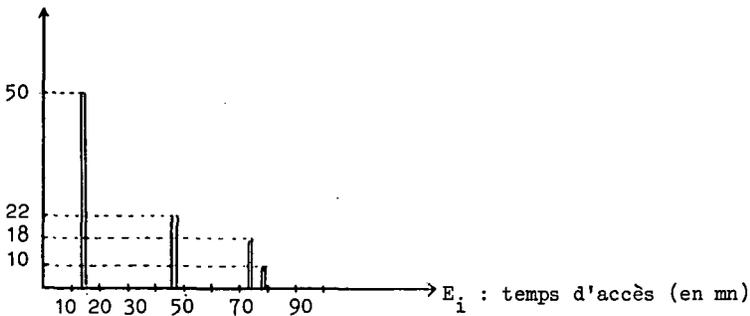
- Dans l'étude de Mexico, l'évaluation d'une action est une distribution des temps d'accès des différents usagers :



- Dans l'étude de la Côte d'Azur, une approche plus légère encore permet de déterminer la distribution suivante (temps exprimés en mn) (\*):

Zone d'origine	TOULON	ST TROPEZ	FREJUS	INTERIEUR
Poids de la zone en % d'usagers	50	22	18	10
Actions :				
$a_1$ : HIERES	15	48	73	75
$a_2$ : FREJUS	64	49	-	31
$a_3$ : LE CALTELLET	24	91	92	90
$a_4$ : LE LUC	44	51	32	33
$a_5$ : BRIGNOLES	57	83	54	56

Pour le site d'Hyères par exemple, la distribution peut se présenter sous la forme :



$$\gamma(a_1) = \{15, 48, 73, 75\}$$

$$\delta(a_1) = \{.50, .22, .18, .10\}.$$

- Toujours sur la dimension temps d'accès, il y a lieu de réfléchir sur des seuils, différences de valeurs sur l'échelle au-delà desquelles on est sûr qu'il y ait préférence stricte, toutes choses étant égales par ailleurs.

(\*) La distribution ci-après ne comprend pas les usagers se rendant à l'aéroport pour y travailler.

En reprenant l'exemple du Var, compte-tenu et de l'imprécision des estimations dans les temps d'accès et des différences de temps significativement différentes pour les usagers, il faudrait déterminer de tels seuils qui pourraient se situer autour de 5 mn par exemple.

### 3.2.2 Commodité de l'accès à l'aéroport

Compte-tenu des sites envisagés, différentes infrastructures d'accès existent ou peuvent être envisagées. Indépendamment des temps d'accès, la variété des modes ou l'importance des infrastructures peut être un élément discriminant les actions candidates au niveau de l'usager.

Exemples de dimensions :

- fréquence de bus et trains prévus par jour ;  
fréquence des départs ou arrivées d'avions ;
- temps (en mn) probable entre l'arrivée (le départ) d'un avion et le départ (l'arrivée) d'un bus ou d'un train à l'aéroport ; sur cette dimension, un indicateur d'état  $\gamma_i$  pourrait être, par exemple pour un aéroport de taille importante :
  - . distribution de ces temps sur une journée moyenne,
  - . distribution de ces temps après 20 heures,
  - . etc. ;
- nombre probable de terminaux desservis par les transports en commun ;
- nombre de voies routières d'accès à l'aéroport/le nombre d'usagers.

### 3.2.3 Confort, agrément du site et de l'accès (éventuellement)

Une échelle d'appréciation qualitative pourrait, dans certains cas, être établie afin de tenir compte des éléments suivants :

- confort du trajet routier (type de la route, virages, côtes, ...) ;
- agrément (touristique) du site et des voies d'accès.

D'autres dimensions seraient à prendre en compte au niveau de l'usager mais elles ne sont plus liées au temps. Citons néanmoins le coût direct d'accès pour l'usager, la dimension serait Franc/accès.

L'indicateur d'état  $\gamma_i$  pourrait être : une estimation du coût moyen par usager, compte-tenu de la répartition prévisible entre différents modes (trains, voitures particulières, ...). Cependant, d'autres indicateurs susceptibles d'être moins erronés nous semblent meilleurs, tels que :

- prix du trajet simple en taxi à l'année  $t$  ;
- prix du trajet en bus, en train à l'année  $t$ .

### 3.3 Conséquences et dimensions au niveau de la collectivité

Il s'agit à ce niveau d'appréhender les conséquences à un niveau collectif mais direct, sans tenir compte d'effets structurants ou destructurants se faisant ressentir à plus long terme.

Il y a lieu de distinguer trois catégories d'usagers :

- les usagers qui se rendent à l'aéroport pour y travailler ; ce sont des personnes de la région d'implantation ;
- les usagers relatifs au trafic émis par l'aéroport (dans le cas de l'aéroport du Var, ce sont les usagers qui habitent et travaillent d'ordinaire dans le Var (cadres, élus locaux, ...)) ;
- les usagers relatifs au trafic reçu par l'aéroport (dans la même étude, ce sont principalement les touristes arrivant sur la Côte d'Azur).

Il nous a semblé que des indicateurs d'accessibilité étaient les plus aptes pour aider à différencier les sites au niveau collectif. Certains indicateurs sont pertinents pour répondre au problème 1 (faire ou ne pas faire l'aéroport). Voici un certain nombre d'indicateurs suggérés par l'étude du Var.

#### 3.3.1 Accessibilité à l'aéroport pour le personnel travaillant sur celui-ci

C'est une dimension semblable à celle présentée en 2.1 (temps d'accès) mais la distribution ne concerne que le personnel.

### 3.3.2 Accessibilité au réseau aérien pour les cadres du Var (trafic émis)

La dimension est le temps d'accès mais la distribution ne tient compte que de la distribution géographique des lieux de résidence des cadres, actuelle ou prévisible dans la région, sans référence à une prévision de trafic. Cet indicateur peut être utilisé pour les problèmes 1 et 2.

### 3.3.3 Accessibilité à Paris

Temps nécessaire pour se rendre à Toulon (centre), à Paris (centre). Cette dimension n'a de sens que pour le problème 1.

### 3.3.4 Accessibilité à des zones touristiques (trafic reçu)

- Echelle en mn.

- Distribution :

- . du nombre de lits (hôtels et pensions) ;
- . du nombre de villas et de places dans les ports de plaisance ;
- . du nombre total de lits (estimation à partir des hôtels, pensions, résidences secondaires, places dans les ports de plaisance).

### 3.3.5 Accessibilité à des zones de travail (trafic reçu)

A travers cet indicateur, il s'agit de cerner la plus ou moins bonne accessibilité des zones de travail pour les cadres se rendant à Toulon pour y travailler une journée avec des cadres de la région toulonnaise.

Dimension temps d'accès en mn.

Indicateur de modulation : distribution des temps d'accès que mettraient les cadres de la région pour se rendre à l'aéroport. Cette distribution se détermine à partir de la répartition locale des emplois au niveau cadre et assimilé (actuelle ou prévue).

### 3.3.6 Temps bien économique

Dans l'approche classique, des valeurs du temps distinctes sont utilisées suivant les différents types d'usagers. Un des arguments donnés pour valoriser plus fortement le temps des hommes d'affaires, ou celui d'élus locaux, de cadres des administrations, etc., est le suivant :

Lorsque Monsieur X gagne une minute (ou une heure), il gagne du temps pour lui mais aussi pour la collectivité compte-tenu des affaires importantes qu'il traite pour cette même collectivité. Autrement dit, le poids économique de l'homme d'affaires en voyage d'affaires et du touriste n'est pas le même. Un autre argument est que le temps de trajet (en avion ou en trajets terminaux) est un temps perdu pour la production de cette homme d'affaires. Or nous doutons avec A. ALEXANDRE et J.P. BARDE du bien-fondé d'une telle hypothèse : "pour un homme d'affaires, le voyage fait partie intégrante de son travail et si le temps ainsi employé était réellement improductif, gageons que les firmes réduiraient considérablement leurs frais de voyage". Ce ne sont pas les quelques minutes, ou même l'heure, "gagnées" qui sont à prendre en compte à un niveau collectif et économique (on a vu qu'on prenait en compte des gains de temps mais au niveau de l'usager).

A un niveau économique, plus importante semble être la possibilité de gagner une demi-journée au minimum. S'il est possible de faire un aller et retour Paris-Toulon en une demi-journée au lieu de prendre la journée entière, alors on peut considérer la demi-journée passée en plus à Paris ou à Toulon comme gagnée pour la production. Pour appréhender cette notion de temps bien économique, il nous semble donc plus réaliste de construire des échelles du type suivant :

1ère échelle : Le réseau aérien et/ou ferré permet :

- a) 1/2 journée de travail à Paris avec 6 heures d'absence de Toulon ;
  - b) 1/2 journée de travail à Paris avec 12 heures d'absence de Toulon ;
  - c) 1/2 journée de travail à Paris avec 24 heures d'absence de Toulon
- où 1/2 journée de travail équivaut à 4 heures.

L'échelon a) permet de libérer 1/2 journée de travail supplémentaire par rapport à b).

2e échelle : Le réseau aérien et/ou ferré permet :

- a) 1 journée de travail à Paris avec 12 heures d'absence ;
- b) 1 journée de travail à Paris avec 24 heures d'absence ;
- c) 1 journée de travail à Paris avec 36 heures d'absence.

D'autres voies peuvent être envisagées :

- Si l'on a établi des prévisions de trafic pour les voyages professionnels, on peut adopter comme dimension et échelle : nombre de 1/2 journées gagnées. Cependant cette dimension n'est valable que pour appréhender un transfert des voyageurs SNCF ou routiers vers ceux des services aériens.

- Si l'on veut tenir compte d'un gain potentiel de trafic aérien, un indicateur d'accessibilité bâti sur une dimension temps d'accès dont l'échelle serait exprimée en demi-journée semble préférable. Exemple : accessibilité à des zones de travail en France pour les cadres de la région toulonnaise ; échelle : nombre de sièges sociaux de grosses entreprises ( $\geq 500$  salariés) et de services administratifs ( $\geq 50$  personnes) pouvant être visités en 1/2 journée, en 1 journée, en 1,5 journées.

### 3.3.7 Autres dimensions

- On pourrait songer à utiliser le trafic pour établir une dimension puis un critère. Il nous semble cependant que les variations de trafic à estimer entre les différentes actions découlent en partie des conséquences élémentaires présentées ci-dessus (indicateurs d'accessibilité). Or, les prévisions de trafic (différenciées selon les diverses actions candidates) sont certainement beaucoup plus entachées d'imprécision que les indicateurs d'accessibilité ; c'est pourquoi une comparaison des actions à partir de tels indicateurs semble préférable à l'utilisation des estimations de trafics. Par contre, les prévisions de trafic faites éventuellement suivant plusieurs scénarios sur le futur, sont nécessaires pour juger de la bonne adéquation de l'investissement (capacité) aux prévisions de trafic (adéquation d'une offre à une demande).

- Une autre conséquence liée au temps de voyage rencontrée dans certaines études est l'influence du site sur le taux probable de déroutement des avions. Les conditions climatiques peuvent varier d'un site à l'autre (vallée plus ou moins encaissée où les nappes de brouillard sont plus fréquentes). L'étude du Var semble montrer que l'on peut estimer sans trop de difficulté des taux de déroutement, c'est-à-dire une probabilité de déroutement (dans une tranche horaire donnée), compte-tenu d'observations météorologiques locales et du type d'équipement existant dans l'aide à l'atterrissage. Si les statistiques météorologiques n'existent pas, il conviendrait, pour certains problèmes, de relever les jours (heures) de brouillard durant une année, s'il y a lieu de penser que cette dimension puisse être très discriminante selon les sites envisagés.

- D'autres conséquences, notamment celles liées au bruit, doivent naturellement être prises en compte.

#### 3.4 Conséquences et dimensions à un niveau structurel

Il s'agit à ce niveau d'apprécier en quoi les actions peuvent avoir des conséquences différentes à un niveau structurel et dont les effets se feront le plus souvent sentir à plus long terme.

En ce qui concerne l'implantation d'un aéroport régional en France, il nous a semblé utile de retenir la dimension suivante :

##### 3.4.1 Renforcement de la centralisation

Cette dimension concerne essentiellement le problème 1 (faire ou ne pas faire l'aéroport).

Compte-tenu des différentes localisations des centres de décisions en France (principalement Paris), l'implantation régionale d'un aéroport a pour conséquence un renforcement des liaisons entre Paris et la province. Tel industriel Toulonnais se rendra à Paris lorsqu'auparavant il traitait certaines affaires à Marseille ou à Lyon. Cette plus grande accessibilité à Paris a pour conséquence un renforcement de la centralisation.

En s'appuyant toujours sur l'exemple du Var, un indicateur pourrait être : temps d'accès à Paris / temps d'accès à Marseille.

Au lieu de prendre dans l'expression ci-dessus le temps d'accès à Marseille, on peut prendre le temps moyen d'accès à quelques centres du midi (exemple : Marseille, Nice, Montpellier, Bordeaux, Toulouse, Lyon, Grenoble, ...).

### 3.4.2 Activités induites - Conséquences sur l'aménagement local

La présence d'un aéroport (même régional) a pour conséquence la création d'une activité économique induite. Pour le Var, on peut penser à la création proche de l'aéroport d'hôtels, de sociétés de locations de voitures, etc., compte-tenu de la vocation touristique d'un tel aéroport. Cette dimension concerne tant le problème 1 que le problème 2.

Une telle appréciation pourrait être faite en utilisant une échelle qualitative. Une telle dimension n'est plus cependant directement liée au temps d'accès au réseau aérien.

Par contre, dans l'exemple du Var, un certain renforcement de la différence d'activité économique et touristique entre le littoral et l'arrière-pays est une conséquence liée au temps d'accès au réseau aérien et elle dépend de la localisation de l'aéroport.

## II - OPERATIONS D'AMENAGEMENT ET MODES D'EXPLOITATION POUR UN RESEAU ROUTIER

### 0. Introduction

Que ce soit à l'occasion d'opérations d'aménagement (investissements) ou d'opérations d'exploitation (délestage), la plupart des études d'aide à la décision reposent sur des calculs de rentabilité. Certaines cependant, telle l'étude de régulation du complexe A6H6, s'appuient sur des techniques d'optimisation issues de la Recherche Opérationnelle. Ces deux approches utilisent un critère unique, exprimé en unité monétaire dans la première, exprimé en gain de temps dans la dernière. De plus, les avantages sont en pratique réduits dans les calculs à une prise en compte de gains de temps uniquement, souvent sans distinction dans la nature même de ces gains de temps (temps de trajet sur route dégagée, temps passé dans un bouchon avec incertitude sur ce temps, etc.).

### 1. Le processus de décision en matière d'investissements routiers de catégorie 1

#### 1.1 Schéma du processus

Nous proposons de schématiser le processus de décision en matière d'investissements routiers de catégorie 1 en présentant quelques phases qui nous paraissent être des "point-clefs" de ce processus. Les 5 phases ci-dessous ne veulent décrire ni l'ordre chronologique ni le schéma exhaustif du processus.

#### a) Génération des projets

Les projets sont générés par la D.D.E. qui se charge de les mettre en forme tous les 5 ans pour les intégrer dans le cadre d'un plan. Ils résultent du déroulement des actions de nombreux agents (D.D.E., préfet, municipalités, chambres de commerce, ...) durant les années précédant ce plan.

#### b) Elaboration des dossiers d'inscription

Le directeur départemental, en application de la circulaire de janvier 70 (voir § 1.2), fait établir, projet par projet, des calculs de rentabilité par la D.D.E., les C.E.T.E. ou des bureaux d'études.

Un dossier d'inscription comprend généralement : un plan détaillé, un plan de situation, des profils en travers, en long, une estimation détaillée des coûts poste par poste et un calcul de rentabilité (\*).

L'I.G.S. donne un avis d'opportunité et son point de vue à la fois sur la cohérence à long terme des projets et sur la valeur des estimations faites dans les dossiers.

Les C.E.T.E. jugent de la faisabilité des projets. La région joue un rôle de concertation.

Le Directeur départemental propose ses dossiers d'inscription à la région en tenant compte de l'idée qu'il a de l'ordre de grandeur du taux de rentabilité minimum acceptable.

Notons que chaque dossier représente, dans le cadre de notre méthodologie, une des "actions candidates".

#### c) Classement des dossiers d'inscription

Le S.R.E. établit un ordre d'urgence régional en prenant en compte :

- les taux de rentabilité ;
- la cohérence régionale ;
- l'équilibre du développement régional ;
- des aspects politiques.

Le Préfet de région envoie à la Direction des Routes tous les dossiers d'inscription classés par lui, d'après les conseils de l'Inspecteur en chef du S.R.E. et d'après son appréciation personnelle, selon un ordre d'utilité régionale.

---

(\*) Très récemment (Le Monde du 13 août 1975 - "Les ingénieurs et la nature"), nous avons appris que les dossiers d'inscription devront en outre comprendre des études d'environnement et de paysage (études d'impact).

Cet ordre d'utilité régionale sert de guide à la Direction des Routes en lui révélant les préoccupations locales.

Le Préfet de région n'a aucun droit de refus mais peut avoir un rôle dissuasif important.

d) Inscription au nième plan

La Direction des Routes vérifie les dossiers d'inscription puis, pour chaque dossier, décide de l'inscrire ou non au nième plan essentiellement en fonction d'une doctrine générale et de l'enveloppe disponible.

La procédure d'inscription n'est tenue de respecter, ni l'ordre d'utilité régionale, ni le classement des variantes.

e) Programmation au nième plan

Les dossiers inscrits font l'objet de démarches de complément de dossier (exemple : études techniques complémentaires, etc.). Ce n'est qu'après un examen approfondi des C.E.T.E. puis de l'I.G.S. qu'ils peuvent être programmés au nième plan sous la forme d'avant-projets sommaires.

Les A.P.S. peuvent être reportés ou annulés.

Avant leur réalisation, les A.P.S. programmés doivent encore être étudiés à un niveau plus fin de façon à devenir des avant-projets détaillés. Normalement, les A.P.D., entraînant la procédure d'utilité publique, sont effectivement réalisés dans le plan où ils sont programmés.

1.2 Objet de la circulaire

Il s'agit de calculer de façon rapide et sans problèmes le taux de rentabilité des projets routiers. Plus le taux de rentabilité est grand, c'est-à-dire plus les avantages rapportés aux coûts sont grands, meilleur est le projet.

La circulaire a donc pour objet de montrer comment doivent être menés les calculs du taux de rentabilité.

### 1.2.2 Définitions

Opération : travaux aboutissant à la mise en service d'un aménagement.

Séquence : succession dans un cadre donné d'opérations aboutissant à un aménagement final.

Taux d'actualisation  $i$  : valeur actuelle de 1 F disponible à l'année  $t$  :  

$$\frac{1}{(1+i)^t}$$
. Pour le VIe plan,  $i = 10\%$ .

Coût économique  $E$  : dépenses (construction, entretien, ...) actualisées.

Taux de rentabilité immédiate (à l'année 1975) : avantages 1975 divisés par coût économique :  $r = A(75)/E$ .

Bénéfice actualisé : somme actualisée des bénéfices de chaque année considérée.

Coefficient de restriction des crédits  $k$  ( $k = 1, 2$ ) : un investissement sera réalisé si  $r \geq k.i$ .

### 1.2.3 Calcul des avantages

Les avantages se calculent en considérant les gains pour les usagers et la collectivité lorsque l'on passe d'une situation (solution 0) : ne rien faire à une situation (solution 1) : l'aménagement (l'opération ou la séquence) est réalisé.

Trois cas sont considérés :

### 1.2.3.1 Aménagement sur place (sur route existante)

	<u>Trafic</u>	<u>Coût individuel/voiture</u>	<u>Coût collectif/voiture</u>
Avant : 0	$n_0$	$C_0$	$C'_0$
Après : 1	$n_1$	$C_1$	$C'_1$

$n_1 - n_0 =$  trafic induit

$$A = n_0 C'_0 - n_1 C'_1 + (n_1 - n_0) \frac{C_0 + C_1}{2}$$

avec  $C' = C - t + s - p$

$t =$  taxes sur les carburants

$s =$  coût collectif des accidents

$p =$  montants des péages

### 1.2.3.2 Création d'une voie nouvelle doublant un ou plusieurs itinéraires anciens

	<u>Trafic</u>	<u>Coût individuel/voiture</u>	<u>Coût collectif/voiture</u>
Avant : 0 route ancienne	$n_0$	$C_0$	$C'_0$
Après : 1 route ancienne	$n_1$	$C_1$	$C'_1$
route nouvelle	$N_1$	$\Gamma_1$	$\Gamma'_1$

La formule donnant les avantages est plus compliquée et est fonction de ces paramètres.

### 1.2.3.3 Desserte d'une zone nouvelle non desservie par l'infrastructure existante

Plusieurs variantes doivent être envisagées, l'une d'entre elles étant appelée la variante de référence 0.

Pour toute solution 1, on calcule les avantages par rapport à 0 sous la forme directe du bénéfice actualisé de 1 par rapport à 0.

$N(t)$  trafic à l'année  $t$   
 $t_0$  année de mise en service  
 $E_0, E_1$  coûts économiques des variantes 0 et 1  
 $\gamma_0, \gamma_1$  coûts collectifs de circulation par véhicule des variantes 0 et 1

$$B(1/0) = \sum_{t \geq t_0} \frac{(\gamma_0 - \gamma_1) \cdot N(t)}{(1+i)^t} - \frac{E_1}{(1+i)^{t_0-1}} + \frac{E_0}{(1+i)^{t_0-1}}$$

1.2.4 Calcul des coûts/voiture intervenant dans les formules de calcul des avantages

Les coûts par véhicule se calculent pour chaque km de route compte tenu d'un certain nombre de paramètres liés à chaque km de route.

Les coûts sont basés sur les valeurs unitaires du tableau 1.

TABLEAU N° 1  
VALEURS UNITAIRES EN FRANCS

	Unité de référence	Valeur individuelle	Valeur collective
Usure, entretien du véhicule, huile			
VL	véh.-km	0,05	0,05
PL	"	0,20	0,20
Carburant			
- essence	litre	1,10	0,37
- gas oil	litre	0,70	0,30
- huile	kg	4,50	4,50
Temps			
- VL	heure de véhicule	12	12
- PL		23	23
Accident corporel			
- 1 tué	-	0	230.000
- 1 blessé	-	0	10.000
- dégâts matériels	accident		4.000
Bonus pour V.L. sur autoroute	véh.-km	0,05	0,05
Bonus pour V.L. sur route ordinaire	véh.-km		
- dont les chaussées sont séparées	-	0,015	0,015
- interdite aux riverains	-	0,015	0,015
- dont les carefours sont dénivelés	-	0,015	0,015
Péage éventuel	véh.-km	voir remarques	

Des tableaux, des abaques ou des programmes disponibles au SETRA permettent de calculer les coûts kilométriques en fonction des paramètres suivants :

- l - largeur (type) de la route
- $\lambda$  - coefficient de visibilité
- q - coefficient de rampe fictive (moyen)
- z - pourcentage de poids lourds
- H - débit horaire fictif (moyen).

Les formules reliant ces paramètres sont empiriques. Elles sont également explicitées sous forme d'abaques.

Exemples : Si T est le temps de parcours de 1 km,  $T_0$  le temps de parcours en absence de trafic,

$$T = T_0 + nH + mH^3$$

$$H = \frac{J}{15} \quad (J \text{ débit journalier, } H \text{ débit horaire})$$

$$n = \alpha + (\beta + \beta'q) z$$

$$m = 2 \left[ T_s - T_i - \alpha S \left( \frac{n}{\alpha S} \right)^3 \right], \quad m = 0 \text{ pour autoroutes}$$

$\alpha, \beta, \beta', S, T_s, T_i$  fonctions du type de route (de l)

$T_0$  fonction de  $\lambda$  et q.

Ces formules et les abaques correspondants permettent alors de calculer le temps de parcours kilométrique moyen en fonction des 5 paramètres présentés ci-dessus.

De plus, un certain nombre de cas particuliers sont étudiés afin de pouvoir estimer des gains de temps suivant chaque type de création de travaux (passages de dénivelés, feux rouges, contournement d'agglomérations). Des annexes prévoient chacune de ces améliorations et permettent le calcul des gains de temps.

Le confort de la conduite est pris en compte par les bonus présentés au tableau 1.

### 1.2.5 Calculs pratiques

L'annexe méthodologique contient des fiches correspondant à chaque type de travaux. Il suffit d'estimer (mesurer) les paramètres demandés dans ces fiches, faire les calculs à l'aide des abaques et des tableaux, ou envoyer les fiches au SETRA pour les calculs.

Les fiches calculant les avantages A sont :

- A1 - création d'une route neuve
- A2 - déviation d'agglomération
- A3 - aménagement sur place (élargissement, ...)
- A4 - aménagement d'un passage à niveau
- A5 - opération de sécurité en section courante
- A5 bis - avantage de sécurité résultant de la déviation en rase campagne d'une section dangereuse en agglomération
- A6 - opération de sécurité en un point singulier
- A7 - dénivellation d'un carrefour.

A titre d'exemple, on trouvera ci-après la fiche A3.

## FICHE A3

AVANTAGE ANNUEL RESULTANT D'UN ELARGISSEMENT,  
D'UNE RECTIFICATION OU D'UN CALIBRAGE

## 1. — DONNEES GENERALES

## — Caractéristiques géométriques :

	Longueur en km	Largeur en m	Coefficient visibilité (annexe 9)	Coefficient Rampe (annexe 11)	Rampe fictive (annexe 12)	Autres caracté- ristiques
Avant aménagement						
Après aménagement						

## — Trafics

Année	1965	1968	1975 (1)
Trafic J en véh./j.			
Pourcentage z de poids lourds			

— Coefficient de passage du débit journalier moyen au débit horaire fictif à prendre en compte pour le calcul des temps de parcours : ce coefficient sera calculé comme l'indique l'annexe 10.

$$\alpha = \dots\dots$$

(Si on estime que le trafic routier est "normalement" réparti au long de l'année, on prendra  $\alpha = 15$ ).

(1) Le trafic de 1975 sera obtenu en appliquant au dernier trafic connu le taux de croissance du trafic donné en annexe 5.

## 2. — CALCUL DES AVANTAGES DE L'ANNEE 1975

### 2.1. — Coûts de circulation par véhicule avant et après aménagement

Ces coûts seront déterminés conformément à l'annexe 18, dans le cas de sections :

- dont la sécurité est normale,
- où il n'y a pas d'arrêts dus à des feux rouges ou à des signaux stop situés hors agglomération,
- où il n'y a pas de passages à niveaux,
- où il n'y a pas de pertes de temps dues à des situations de congestion.

Au cas où la sécurité sur la route ancienne serait anormale, on en tiendra compte en substituant au poste sécurité qui se déduirait de l'annexe 18 un coût kilométrique de sécurité égal à celui qui résulte des calculs de la fiche A 5, que l'on joindra.

Au cas où, hors agglomération, il y aurait des arrêts dus à des feux rouges ou à des signaux stop, on tiendra compte des pertes de temps supplémentaires et des coûts supplémentaires correspondants, par l'intermédiaire des annexes 15 et 15 bis.

Au cas où, hors-agglomération, il y aurait des passages à niveau, on tiendra compte des temps d'attente correspondant, calculés à partir des méthodes de la fiche A 4 que l'on joindra.

Les pertes de temps éventuelles dues à la congestion pourront être calculées conformément à l'annexe 16 ; les mesures correspondantes seront jointes.

**Coût de circulation du véhicule moyen  
valeur collective (1) (2) (voir annexe 18)**

	Coût au kilomètre	Coût pour l'ensemble de la section
<b>Avant aménagement</b>		
— usure et entretien	-----	
— consommation	-----	
— bonus	-----	
— sécurité	-----	
— temps passé en section courante	-----	
— perte de temps diverses	-----	-----
<b>Total</b>		<b>C<sub>0</sub>' = .....</b>
<b>Après aménagement</b>		
— usure et entretien	-----	
— consommation	-----	
— bonus	-----	
— sécurité	-----	
— temps passé en section courante	-----	
— pertes de temps diverses	-----	-----
<b>Total</b>		<b>C<sub>1</sub>' = .....</b>

**2.2. — Avantages de l'année 1975**

L'avantage de l'année 75 sera alors :

$$A(75) = 365 J_{75} (C_0' - C_1')$$

(1) Si la section n'est pas homogène du point de vue de ces coûts on la décomposera en sous-sections homogènes pour lesquelles on calculera les coûts correspondants, dont on fera ensuite la somme.

(2) Si la section est à sécurité normale, on pourra utiliser les tableaux de coûts kilométriques de l'annexe 18.

### 1.3 Commentaires

#### 1.3.1 Sur le processus

Tel que le processus nous a été décrit, il vise, sauf cas exceptionnels, à inclure dans l'ensemble des actions candidates (voir niveau I, Rapport général III) une variante unique (action candidate) pour chaque opération. Ceci est justifié par le fait que c'est la meilleure action (variante) qui est proposée par la DDE. Cependant, on nous a cité des cas où le choix était délicat et où plusieurs variantes ont été proposées (le long de l'Allier, deux tracés, dont l'un était moins coûteux que l'autre, mais risquait davantage d'être inondé).

L'ensemble A qui parvient ainsi au décideur (niveau région) est de type fragmenté. Dans ces conditions, le raisonnement qui consiste à ne proposer que le "meilleur fragment" paraît discutable dans la mesure où rien de systématique n'est prévu pour prendre en compte ensuite les interrelations entre les fragments (complémentarité, cohérence globale avec un schéma général). Exemples :

- jonction entre deux départements, problèmes de cohérence locale et de cohérence générale avec un réseau ;
- une série de petits investissements tous très rentables constituent-ils globalement une bonne solution ? ;
- une série de petits investissements isolés sans beaucoup d'intérêts (peu rentables) ne peuvent-ils pas constituer une bonne solution si on les considère globalement ?

Ces exemples ne plaident pas nécessairement pour une formalisation globalisée qui risque d'être compliquée. Ils plaident beaucoup plus pour une élaboration de plusieurs variantes pour une même opération et pour une saisie des interrelations importantes de façon à ce qu'elles puissent être prises en compte effectivement dans le processus d'aide à la décision. Il est alors souhaitable de se diriger vers une approche fragmentée et évolutive.

Nous préciserons en 3 ce que pourrait être une telle approche.

### 1.3.2 Sur les calculs de rentabilité

Quant aux calculs de rentabilité eux-mêmes et le rôle de la circulaire, ils appellent un certain nombre de commentaires.

La procédure de calcul est satisfaisante aux yeux des utilisateurs parce qu'on peut l'utiliser sans problèmes trop délicats d'arbitrages (c'est une procédure de calcul automatique) pour un grand nombre d'opérations d'aménagements ; elle paraît cependant insuffisante sur un certain nombre de points.

Certains d'entre eux pourraient être améliorés :

- Le coefficient pente est limité à 7 %, ce qui pose des problèmes pour certaines routes de montagne.

- En pratique, des calculs sont faits en référence à un avenir certain. Dans certains cas, des études de sensibilité sont faites pour tenir compte de l'imprécision des données mais des situations contrastées concernant le futur ne sont pas explicitées, ce qui conduit à des erreurs importantes et à des désillusions. On nous a cité l'exemple de l'autoroute Bourgoin-Chambéry dont le trafic est nettement inférieur au trafic prévu dans les études préalables faisant ainsi baisser la rentabilité de l'aménagement pour la société exploitante. Plus frappant est l'exemple qu'on nous a également cité de l'autoroute Paris-Orléans dont le trafic et donc la rentabilité n'ont pas été ce qu'on attendait parce que, parallèlement à la construction de l'autoroute, on a amélioré la route nationale rendant celle-ci plus attractive pour un certain nombre d'usagers. En effet, à propos de cet exemple, on constate l'insuffisance des études. Deux solutions auraient pu être envisagées pour mener à bien une telle étude.

1) Considérer que l'on a un décideur unique (la Direction des Routes par exemple) et avoir une approche globalisée prenant en compte le réseau constitué par la RN 20 et la future autoroute. Dans cette approche, plusieurs actions étaient alors à considérer et donc à évaluer (par un calcul de rentabilité ou par une comparaison multicritère) :

	Réalisation des aménagement sur la RN 20	Réalisation de l'autoroute
a <sub>1</sub>	non	non
a <sub>2</sub>	oui	non
a <sub>3</sub>	non	oui
a <sub>4</sub>	oui	oui

Or les études ne concernant que les comparaisons de a<sub>1</sub> et a<sub>3</sub> d'une part et a<sub>1</sub> et a<sub>2</sub> d'autre part, la rentabilité de l'action a<sub>4</sub> qui représente la réalité n'a jamais été étudiée.

2) Considérer que l'on a plusieurs décideurs, la Direction des Routes d'une part et la société concessionnaire de l'autoroute d'autre part par exemple et s'orienter vers une approche fragmentée. Si on se place du point de vue de la société concessionnaire, cette dernière ne maîtrise pas la décision de réalisation ou non réalisation des aménagements sur la RN 20. Une étude de rentabilité de l'autoroute menée pour son compte aurait pu alors être effectuée suivant 2 scénarios concernant l'avenir.

1er scénario : la RN 20 ne sera pas aménagée.

2e scénario : la RN 20 sera aménagée.

Cette société aurait ainsi pu mieux évaluer le risque qu'elle prenait compte tenu des degrés de crédibilité de réalisation de chacun de ces deux scénarios, degrés dépendant en partie du pouvoir de pression qu'aurait cette société sur la Direction des Routes.

- Une difficulté rencontrée est le choix de la solution de référence (0) prise dans les calculs. Cette solution n'est pas en pratique parfaitement définie. En jouant sur ce choix de la solution (0) (trafic journalier constaté plus ou moins important, ...), il est possible de modifier la rentabilité d'un projet dans des proportions qui, pour certains d'entre eux, permet de le faire passer ou au contraire de l'éliminer avec un degré de certitude relativement important. Ceci est dû à l'importance des prévisions de trafic dans le calcul des avantages puisqu'en pratique les avantages, ramenés à des gains de temps unitaires, sont multipliés par les trafics. Une erreur volontaire ou involontaire de 10 à 20 % sur le trafic se traduit donc

mathématiquement (voir l'exemple de la formule de calcul des avantages § 1.2.3.1) par une "erreur" de 10 à 20 % dans l'estimation de l'avantage et donc par une "erreur" de 10 à 20 % dans l'estimation d'un taux de rentabilité qui peut ainsi varier entre les valeurs 10 % et 14 % par exemple.

- Mais la circulaire nous semble critiquable également en raison du principe même de l'étude de rentabilité qui nécessite un calcul des avantages en termes monétaires. Tous les avantages sont pratiquement pris en compte dans un premier temps à l'aide d'estimations de gains de temps généralisés. Que signifie par exemple la prise en compte du confort de l'autoroute par un bonus de 0,05 F/véh.-km ou d'un bonus de 0,015 F/véh.-km pour une route à chaussée séparée ? S'agit-il là de résultats d'enquêtes sur les préférences révélées d'usagers de la route ou s'agit-il d'une préférence étatique traduisant les arbitrages que l'état est prêt à faire entre routes ordinaires et autoroutes ? On retrouve le débat et l'ambiguïté qui existe pour la valeur du temps. Qui fait les arbitrages, qui est décideur, l'usager ou l'état ? Et les collectivités locales, chambre de commerce, etc., n'ont-elles pas la possibilité d'exprimer leurs préférences sur de tels arbitrages ?

- La présence de poids lourds sur une route, le coefficient de visibilité sont des facteurs pris en compte uniquement quant à l'influence qu'ils ont sur les temps de parcours kilométriques. Cela semble extrêmement artificiel et inadapté compte tenu des conséquences réelles et des souhaits de prise en compte des différents agents économiques concernés.

- Dès qu'une opération d'aménagement sort un peu de l'ordinaire, on constate combien la circulaire de janvier 70 est inadaptée à la prise en compte des conséquences réellement importantes aux yeux de ces divers agents. Un article très récent (\*) illustre parfaitement à nos yeux ce caractère inadapté de la circulaire. A propos des bouchons de Nogent-le-Rotrou (\*) et de la déviation demandée permettant de contourner la ville, à côté des gains de temps des usagers (temps d'attente dans les encombrements pénible parce qu'incertain), on retrouve des arguments en faveur de

---

(\*) Le Monde du 13 août 1975 - Nogent-le-Rotrou - "La rue ne veut plus être prise pour une route".

la déviation tels que le bruit ("45 à 65 dB en permanence dans les maisons") avec ses "coups de freins brusques", la "pollution qui noircit les maisons peu à peu abandonnées", la perte de valeur des maisons ("25 000 F au lieu de 60 000 F pour l'une d'entre elles"), l'absence de sécurité ("7 Nogentais tués ces dernières années, vitrines défoncées"), l'absence de confort pour les piétons ("trottoirs larges de 22 centimètres et même absents pour permettre aux "12 tonnes de se croiser"). On trouve aussi des arguments contre la déviation ("crainte de certains commerçants et hôteliers de voir s'évanouir une clientèle de passage"). Pour savoir s'il est préférable de se contenter de l'autoroute prévue ou s'il vaut mieux réaliser en outre une déviation, est-ce vraiment une étude de rentabilité principalement basée sur des prévisions de trafic et des estimations de gains de temps qui permettent d'aider les responsables à prendre une décision ? Si non, faut-il alors se contenter d'arguments journalistiques ou politisés ? Nous verrons en 3 comment on peut, dans notre esprit, sans renoncer à une approche scientifique, prendre en compte des arguments qualitatifs ou quantitatifs de cette nature sans pour autant les traduire en termes monétaires.

## 2. Opérations de délestage

"Les opérations de délestage ont pour but de faire gagner du temps à la collectivité". C'est en effet l'argument principal et le seul pratiquement pris en compte dans les études de rentabilité. D'autres éléments pourtant tels que la sécurité, les temps d'attente, le confort, la souplesse d'exploitation du réseau en cas de perturbation sont signalés comme importants. Mais là encore, on peut se demander si l'usage du calcul de taux de rentabilité et plus généralement du critère unique est le meilleur moyen d'intégrer ces aspects dans l'aide à la décision.

### 2.1 Les études de rentabilité appliquées aux opérations de délestage

Elles comprennent deux termes.

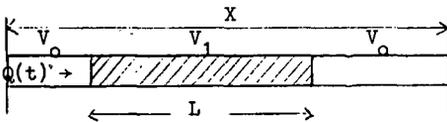
Le premier est le coût direct de l'opération (dépenses en signalisation, en capteurs, etc.). Il faudrait également tenir compte du temps passé par les effectifs de gendarmerie, de CRS et également par ceux du CETE. Pour certains, ces éléments peuvent toutefois ne pas être pris en compte si l'on

considère qu'il s'agit là de leur tâche normale. Mais cette attitude peut être contestée car si les opérations d'exploitation prennent de l'importance, il faudra un personnel supplémentaire pour les gérer ; cette demande sera d'ailleurs justifiée par le nombre d'heures ou d'homme-jours employés pour de telles opérations.

Le second terme représente les avantages de l'opération. Ces avantages sont réduits dans la pratique à une estimation de gains de temps.

#### Estimation des gains de temps

. Tronçon longueur  $X$  sans délestage



- $L(t)$  longueur du bouchon à l'instant  $t$
- $v_0$  vitesse en-dehors du bouchon
- $v_1(t)$  vitesse dans le bouchon
- $Q(t)$  débit en amont du bouchon.

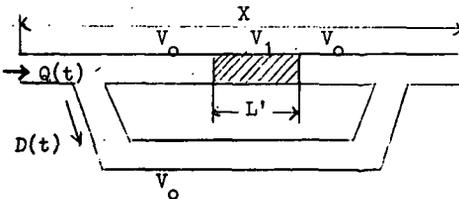
Le temps que met un véhicule arrivant à l'instant  $t$  dans le bouchon pour parcourir le tronçon est :

$$\frac{X - L(t)}{v_0} + \frac{L(t)}{v_1(t)} \text{ soit } \frac{X}{v_0} + L(t) \left( \frac{1}{v_1(t)} - \frac{1}{v_0} \right).$$

Entre l'instant  $t$  et  $t + 1$ , le temps total "perdu" est :

$$Q(t) \left[ \frac{X}{v_0} + L(t) \left( \frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_0} \right) \right].$$

. Tronçon longueur  $X$  avec délestage



- $L'(t)$  longueur du bouchon avec délestage
- $D(t)$  débit dans l'itinéraire de délestage
- $X_D$  longueur du tronçon avec l'itinéraire de délestage.
- Temps que met un véhicule pour parcourir le tronçon principal :

$$\frac{X - L'(t)}{V_0} + \frac{L'(t)}{V_1(t)} = \frac{X}{V_0} + L'(t) \left( \frac{1}{V_1(t)} - \frac{1}{V_0} \right).$$

- Entre le temps  $t$  et  $t + 1$ , le temps "perdu" sur l'itinéraire principal est :

$$[Q(t) - D(t)] \left[ \frac{X}{V_0} + L'(t) \left( \frac{1}{V_1(t)} - \frac{1}{V_0} \right) \right].$$

- Temps que met un véhicule pour parcourir l'itinéraire de délestage :

$$\frac{X_D}{V_0}.$$

- Entre  $t$  et  $t + 1$ , le temps "perdu" sur l'itinéraire de délestage est :

$$D(t) \frac{X_D}{V_0}.$$

En comparant les temps perdus avec et sans délestage, l'opération permet un gain de temps entre  $t$  et  $t + 1$  :

$$\begin{aligned} Q(t) \left[ \frac{X}{V_0} + L(t) \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_0} \right) \right] - [Q(t) - D(t)] \left[ \frac{X}{V_0} + \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_0} \right) L'(t) \right] - D(t) \frac{X_D}{V_0} \\ = Q(t) \left[ \frac{1}{V_1(t)} - \frac{1}{V_0} \right] [L(t) - L'(t)] + D(t) \left[ \frac{X}{V_0} + \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_0} \right) L'(t) - \frac{X_D}{V_0} \right]. \end{aligned}$$

Cette expression donne à chaque instant les gains de temps en fonction des débits  $Q$ ,  $N$ , des longueurs de bouchons  $L$ ,  $L'$  et des vitesses  $V_0$ ,  $V_1$ .

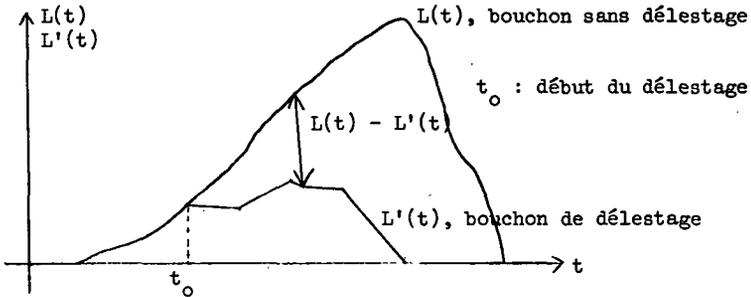
Dans la méthode pratique d'estimation, on suppose que, dans une opération de délestage, on réalise l'égalité des temps de parcours" sur deux itinéraires concurrents.

Avec cette hypothèse,  $\frac{X_D}{V_0} = \frac{X}{V_0} + \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_0} \right) L'(t)$  et le second terme est nul.

Les gains de temps à l'instant  $t$  sont alors :

$$\sigma(t) = Q(t) \left( \frac{1}{V_1(t)} - \frac{1}{V_0} \right) (L(t) - L'(t))$$

Pour chaque opération, on estime les deux courbes  $L'(t)$  (longueur du bouchon observé) et  $L(t)$  longueur théorique sans délestage.



En pratique, on décompose la journée en tranches horaires  $i$  et, si on pose  $l(t) = L(t) - L'(t)$ , on estime  $\sigma$  par :

$$\sigma = \sum_{i=1}^n Q_i \left( \frac{1}{V_i} - \frac{1}{V_0} \right) \frac{l_{i-1} + l_i}{2}$$

On estime des pertes de temps moyennes évitées par heure de fonctionnement, ce qui permet ensuite d'estimer les pertes de temps évitées compte tenu du nombre d'heures de fonctionnement du délestage dans l'année.

## 2.2 L'étude de régulation du complexe A6H6

Cette étude est particulièrement intéressante tant par la complexité du système étudié, et donc par l'effort de modélisation de l'ensemble des actions candidates, que par la réflexion sur la difficulté et le côté irréaliste et non opérationnel de l'utilisation d'un critère d'optimisation unique.

L'étude concerne la régulation automatique en temps réel d'un système routier qui comprend les autoroutes A6, H6, B6 et C6, les nationales 7, 20 et 186 et une partie du boulevard périphérique de Paris. L'étude en elle-même ne comporte qu'un modèle de simulation et des recommandations pour la mise en place d'un système réel.

### 2.2.1 L'ensemble A des actions candidates

Dans cette étude, une action est un ensemble cohérent de moyens utilisés pour réguler le système des autoroutes et routes énoncées ci-dessus. Cet ensemble de moyens permet :

- d'agir sur l'accès des véhicules dans le système grâce à des feux tricolores aux carrefours des nationales et aux différentes entrées autoroutières ;
- d'affecter le trafic sur plusieurs itinéraires concurrents grâce à des fléchages d'itinéraires à indication variable aux différents points de choix dans le système ;
- d'affecter le trafic sur des voies particulières à l'aide de dispositifs spéciaux afin de faciliter les convergences et divergences de trafic ;
- de réguler la vitesse et de renseigner les conducteurs (danger, obligation de quitter une voie, etc.) grâce à des panneaux à indications variables répartis tout au long des chaussées autoroutières.

### 2.2.2 Les critères d'optimisation envisagés

Les auteurs de l'étude envisagent les critères suivants :

- (a) minimisation d'une fonction économique ;
- (b) minimisation du temps de parcours global (ou moyen) ;
- (c) égalisation des temps de parcours ou minimisation du temps de parcours individuel ;
- (d) minimisation du "bruit d'accélération" ;
- (e) amélioration de la Qualité de Service ;
- (f) diminution du nombre d'arrêts ;
- (g) diminution de la durée des arrêts ;
- (h) protéger l'autoroute, soit minimisation des temps de parcours sur l'autoroute à demande fixée ;
- (i) minimisation du temps d'attente à l'insertion (gap acceptance).

Ils éliminent les critères (i), (f) et (g) parce que non suffisamment globaux, (a) parce que non aisément mesurable, (e) parce qu'imprécis, (h) parce qu'inclus dans (b) (pondération par des débits). Parmi les trois restants (b), (c), (d), les auteurs retiennent finalement le critère (b) : minimisation du temps de parcours global.

En faisant de plus les hypothèses de non congestion des autoroutes (hypothèse peu réaliste mais marquant une attitude volontariste), de non perturbation du système après la mise en place du système de régulation (entrées non modifiées), les auteurs montrent que minimiser le temps de parcours global pendant un intervalle de temps est équivalent à maximiser le débit moyen de sortie ou le débit moyen d'entrée pendant ce même intervalle.

### 2.2.3 Le modèle d'optimisation retenu

C'est un programme linéaire paramétré.

Les variables sont les débits dans les différents tronçons, la fonction économique est le débit d'entrée, les contraintes concernent essentiellement les capacités des tronçons et les paramètres concernent diverses solutions de commande du système (restriction des accès, indications d'itinéraires, etc.).

Une action candidate est un jeu de paramètres définissant un plan de commande.

Chaque action candidate est évaluée sur le critère unique, temps global ou débit d'entrée en résolvant le programme linéaire (maximisation du débit), le jeu de paramètres étant fixé.

Les entrées du programme linéaire sont alors :

- les capacités des tronçons (32) ;
- les demandes en véhicules/heure (10 origines) ;
- la matrice origine-destination en % (10 x 10) ;
- les plans de commande (les jeux de paramètres définissant une action candidate).

Les sorties du modèle sont :

- le numéro du plan de commande et les paramètres associés (restriction d'accès, ...)
- le débit total en véh.-km (la valeur du critère unique à optimiser) ;
- les débits dans les différents tronçons.

### 2.3 Commentaires

Au niveau de la modélisation de l'ensemble des actions possibles, l'étude de régulation A6H6 est exemplaire. Une action ou un plan de commande est déterminé par un grand nombre de paramètres qui modélisent des moyens d'actions réellement offerts à la disposition du décideur (ici autorités responsables de la gestion du réseau). Ceci est cependant presque naturel en raison de la complexité du problème et du recours indispensable à la recherche opérationnelle, discipline qui en pratique fait appel à un ensemble A plus étendu que le calcul économique. Ainsi défini, l'ensemble A est figé globalisé et la problématique est celle de la recherche de l'optimum ( $\alpha$ ) (voir Rapport général III).

Les études de rentabilité appliquées aux opérations de délestage souffrent par contre, comme la plupart des études de rentabilité, d'une élaboration nettement insuffisante d'un ensemble d'actions candidates. La plupart du temps, une seule solution est définie et on étudie la rentabilité de cette solution unique pour justifier de l'intérêt de cette solution ; ce n'est plus de l'aide à la décision, ce n'est plus qu'une pièce administrative nécessaire à la réalisation d'une opération. Or, même dans les opérations de délestage simples, avec un itinéraire de délestage unique, un certain nombre d'options sont à prendre (et sont prises dans les études sans justifications) afin de définir plus complètement le système (l'action) dont on étudie par la suite la rentabilité (signalisation d'entrée, heures de fonctionnement, présence d'automatismes, information de l'usager, etc.).

Au niveau des critères utilisés et notamment la prise en compte du temps, les auteurs des études analysées sont mal à l'aise dans l'usage du critère unique. A propos de l'étude de rentabilité de l'opération de Vienne, les auteurs signalent :

"D'autres critères (que le temps gagné et le coût de l'opération) interviennent également. On peut, en effet, parler de l'amélioration apportée aux usagers du point de vue du confort. Il est, effectivement, plus intéressant pour l'usager de la route, partant en vacances ou non, de n'avoir que sept à huit kilomètres de bouchon à "digérer" au lieu de quinze à vingt kilomètres qu'il aurait dû supporter s'il n'y avait pas eu de délestage. Il s'agit là, cependant, d'un élément non quantifiable".

Le nombre d'accidents (blessés et tués), l'amélioration du confort apporté aux usagers, les conséquences sur l'aménagement du territoire et le développement économique national ou local étant difficiles à estimer et encore plus à traduire en termes monétaires, s'ils sont signalés, ne sont pas pris en compte dans l'étude de rentabilité. Il en est de même pour cette conséquence qui semble très importante et qui est citée en conclusion de l'étude de rentabilité de l'opération de Vienne :

"Cette opération de délestage a, par ailleurs, présenté un énorme intérêt, celui de mettre à la disposition des responsables de la circulation un outil leur permettant de réagir instantanément à des perturbations accidentelles dont les conséquences auraient pu être beaucoup plus graves".

Dès lors, quel usage faire d'une étude de rentabilité, si tant de facteurs jugés importants par les responsables et par les hommes d'étude ne peuvent être pris en compte dans les calculs ?

Dans l'étude de régulation du complexe A6H6, les auteurs reconnaissent la difficulté inhérente à l'utilisation d'un critère unique dans la comparaison des actions candidates et, à propos du critère retenu, ils soulignent en plusieurs endroits de l'étude les inconvénients suivants :

- "Le critère global ne permet pas de différencier les usagers concernés et d'avantager tel type de trajet ou telle catégorie d'usagers (PL, TC, VL, origine des déplacements, etc.).

- Ce même critère suppose l'égalité de la valeur du temps (temps d'attente, temps de parcours) et la même valeur pour tous les usagers et tous les motifs de déplacement.

- Au nom d'un critère collectif, on peut pénaliser fortement certains usagers par rapport à d'autres (ceux empruntant la N20 par rapport à ceux empruntant l'autoroute).

- Le critère temps de parcours global ne permet pas une analyse du fonctionnement du système élément par élément ; or cette analyse est nécessaire pour mettre en évidence des imperfections locales. En effet, l'utilisation directe du modèle d'optimisation tel qu'il a été défini conduit dans bien des cas à plusieurs solutions optimales ou à plusieurs solutions donnant des résultats très proches du résultat optimal. D'autre part, certaines solutions optimales sont inacceptables en raison de critères secondaires ou de choix politiques (certaines solutions optimales conduisent à fermer totalement une entrée telle que celle d'Orly ou de Rungis dans le sens Province-Paris par exemple)".

Là encore, que signifie le concept de solution optimale dès qu'il est extrait d'un modèle mathématique pour être utilisé dans l'aide à la décision ?

### 3. Suggestions

Le domaine routier comme d'autres d'ailleurs est profondément imprégné des notions de "bon", "mauvais" et même d'"optimum", notions dégagées à partir de seules considérations techniques et économiques. Ainsi, à propos d'une solution meilleure qu'une autre mais soulevant des difficultés politiques de mise en place, on peut se demander si cette solution est réellement meilleure que la seconde.

Pour juger de la pertinence d'une solution à un problème donné, ne faut-il pas prendre en compte deux types de facteurs, à savoir :

- a) la qualité technique du projet, c'est-à-dire la satisfaction par rapport aux critères énoncés dans le plan d'opération ;
- b) les conditions de réalisation du projet, c'est-à-dire l'adhésion des personnes devant mettre en oeuvre le projet et de la population pour laquelle il est élaboré.

De par leur fonction - et leur formation - les hommes d'étude ont tendance à ne s'intéresser qu'au premier aspect, considérant que la rationalité de leur solution doit s'imposer à tous, regardant comme des aberrations le comportement effectif des parties prenantes à la décision (décideurs, opérationnels, public, etc.) lorsqu'il ne s'inscrit pas dans leur rationalité.

Pourtant, ce n'est pas toujours par manque d'informations que ce comportement "aberrant" est adopté mais aussi parce que :

i) les individus ou les groupes concernés peuvent mettre en cause la manière dont a été effectué le passage de la situation réelle au modèle opérationnel qui a permis de dégager les solutions ;

ii) les individus ou les groupes concernés peuvent avoir des intérêts particuliers divergents des intérêts individuels ou collectifs maximisés par l'étude, lesquels sont en général ceux des prescripteurs de l'étude.

Certes, le plus souvent, on ne demande pas aux hommes d'étude de se préoccuper de la faisabilité des solutions qu'ils proposent mais doivent-ils l'accepter et voir nombre de leurs projets se transformer en échecs lors de la mise en place ; ce n'est effectivement pas de "leur faute" mais alors à quoi servent-ils ? Et même si les méthodes de prise en compte des motivations et comportements des groupes et individus concernés par une décision ne sont pas encore correctement établies et formalisées, est-ce une raison pour ignorer le problème ?

### 3.1 Pour une autre approche dans l'aide à la décision d'investissements routiers de catégorie 1

Sans remettre en cause le processus actuel de décision, suite aux remarques faites aux § 1.3.1 et 1.3.2, il nous semble préférable d'utiliser une approche fragmentée et évolutive. Par fragmentée, nous voulons dire qu'il est nécessaire de proposer plusieurs variantes (de qualité de coût) pour un même projet étant entendu que la décision finale portera sur la réalisation ou non réalisation d'une seule de ces variantes mais comparée à bien d'autres décisions concernant des projets de même nature, issus du même département ou de tout autre département. Par évolutive, nous voulons dire que l'ensemble A des actions candidates n'est pas fixé : il n'est

pas connu quand des décisions sont déjà prises puisque la Direction des Routes peut décider d'inscrire un projet sans connaître un autre projet en préparation. De plus, en modifiant légèrement le processus cette fois, il n'est pas impossible d'instaurer davantage une négociation entre les DDE et la Direction des Routes, négociation pouvant aboutir à une évolution de A (définition de nouvelles variantes, ...).

Compte tenu de ces remarques (A fragmenté et évolutif) dans l'approche que nous préconisons, une action candidate reste un projet s'il n'y a pas de variantes ou devient une variante d'un projet s'il y a plusieurs variantes.

- Une famille cohérente de critères devrait être établie en ayant à l'esprit toutefois l'ensemble des types d'aménagement qui peuvent se présenter.

. Au niveau individuel (usager), ils doivent traduire des avantages et inconvénients effectivement ressentis par les usagers de la route.

Ils doivent recouvrir des aspects liés au temps tels que les gains de temps mais peut-être devraient-ils être désagregés. Exemples :

- + gains (ou pertes) de temps pour le trafic local : évalués à l'aide d'une distribution de ces gains de temps sur une échelle de gain individuel de temps (nombre de véhicules gagnant 5 mn, 10 mn, etc.) ;
- + gain de temps pour le trafic interurbain sur routes nationales ;
- + gain de temps pour le trafic autoroutier.

Pour traduire le confort des usagers, on peut chercher à appréhender :

- + la congestion (gain de temps passé dans les bouchons et encombrements) ;
- + la fluidité (pourcentage de poids lourds, débit, ...) ;
- + les différences de vitesse (variation relative sur de courtes distances) ;
- + la visibilité (géométrie de la route mais aussi risque de brouillard) ;
- + la signalisation.

. Au niveau collectif, pour appréhender les aspects liés au temps, il conviendrait d'utiliser des indicateurs d'accessibilité. Des indicateurs d'impacts sur l'environnement devraient également être utilisés. Notamment des distributions de populations concernées sur des échelles de bruit ou encore pour être homogène avec les gains de temps et pour pouvoir établir une famille cohérente de critères, il serait certainement préférable d'appréhender des variations sur des échelles de bruits (diminution ou augmentation).

. Au niveau structurel, il conviendrait d'intégrer un certain nombre de facteurs jusqu'ici négligés dans les études, même si l'on est contraint d'adopter pour ceux-ci une appréciation subjective sur des échelles qualitatives.

- L'étude de rentabilité et la procédure d'aide à la décision basée sur le coefficient de restriction des crédits pourrait être remplacée par l'utilisation au niveau de la Direction des Routes d'une méthode multi-critère trichotomique. Cette méthode est en effet adaptée aux problèmes d'aide à la décision relevant de la problématique  $\beta$  (sélectionner toutes les "bonnes" actions candidates parmi celles étudiées). Plus précisément, cette approche se pose dans les termes suivants : accepter toutes les actions "suffisamment" bonnes, rejeter toutes celles "par trop" mauvaises et demander un complément d'examen pour les autres. On est alors conduit à utiliser une procédure réalisant une trichotomie de l'ensemble  $A$  :

$$A = A_1 \cup A_2 \cup A_3, A_h \cap A_k = \emptyset \text{ pour } h \neq k,$$

une action  $a_j \in A$  étant affectée :

- dans  $A_1$  si elle mérite d'être acceptée sans intervention du décideur à moins que plusieurs variantes d'un même projet soient affectées en  $A_1$ , auquel cas le décideur (Direction des Routes ou Direction des Routes et autorités locales) devra trancher en faveur de l'une d'elles ;

- dans  $A_3$  si elle mérite d'être rejetée sans intervention du décideur ;

- dans  $A_2$  si elle mérite un examen complémentaire faisant intervenir par exemple le décideur directement (et non plus seulement par le biais d'une modélisation des préférences). Cet examen complémentaire peut être une étude plus approfondie, peut-être une étude de rentabilité détaillée,

mais ce peut être aussi une prise de connaissance sur le terrain du projet (rencontre avec les ingénieurs suivant le projet, les élus locaux concernés, ...) aboutissant ainsi peut-être à une redéfinition du projet, à la création de nouvelles variantes. On retrouve ainsi le caractère évolutif de A.

Pour fonder une telle trichotomie, on peut par exemple chercher à caractériser des situations de références à partir de combinaisons de valeurs sur les critères  $g_j$  marquant les "limites combinées" du suffisamment bon et du suffisamment mauvais.

On peut toujours le faire en introduisant dans A deux sous-ensembles B et C formés d'actions (artificielles ou non) dont les évaluations sur la famille cohérente de critères correspondent à ces configurations limites d'acceptation et de rejet. B comme C peuvent dans certains cas être réduits à un seul élément. Par définition, il vient :

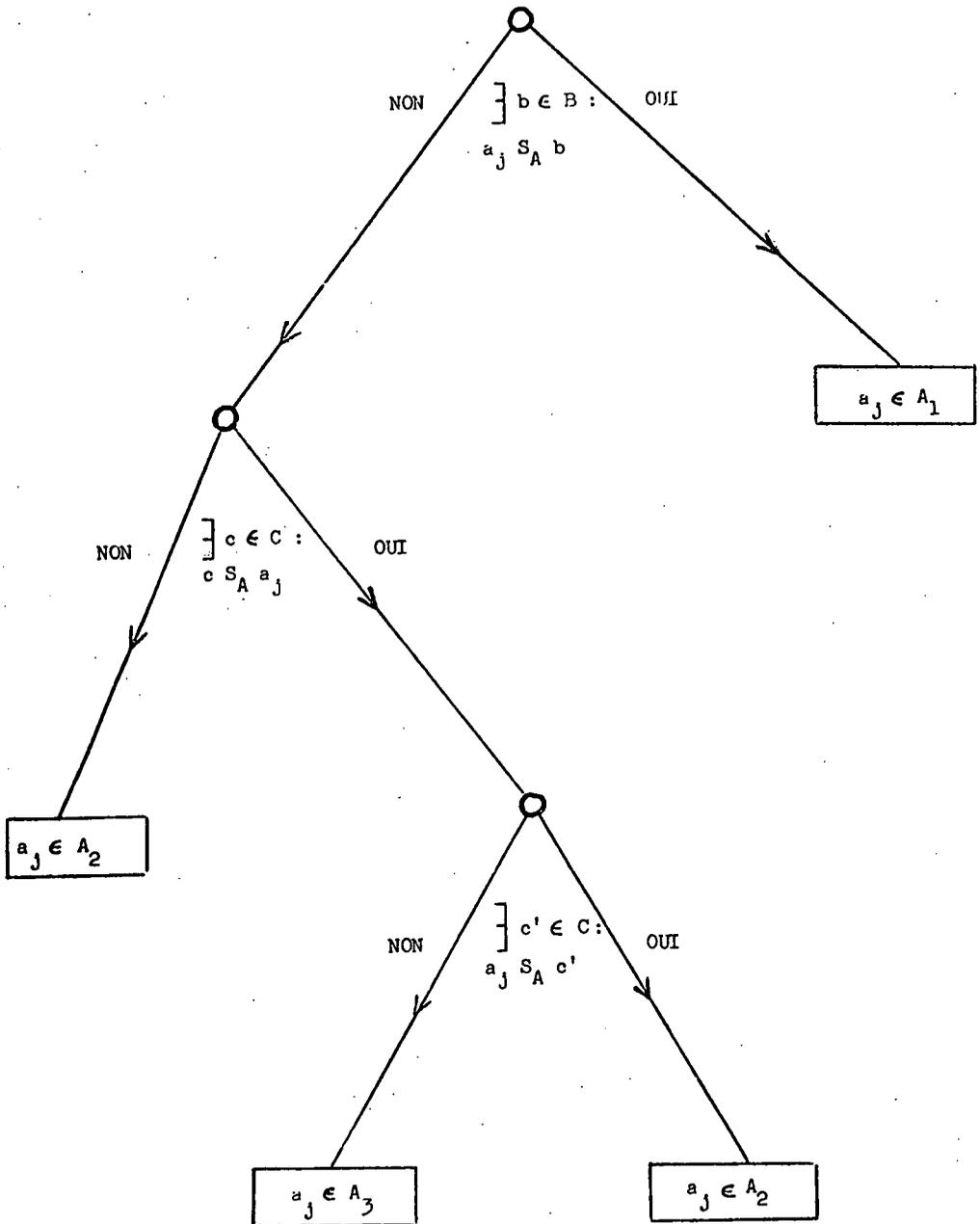
$$B \subset A_1 \text{ et } C \subset A_3.$$

Il s'agit donc, sur ces bases et en prenant appui sur une ou plusieurs relations de surclassement (voir Rapport général III § 3.2 ), de délimiter les sous-ensembles  $A_1$  et  $A_3$ .

Les règles permettant de décider de cette affectation dépendent, d'une certaine manière, de celles qui ont servi à bâtir le surclassement. Dans le cas d'une seule relation de surclassement  $S_A$ , on peut par exemple se conformer à un arbre de décision tel que celui de la figure ci-dessous. Il paraît alors souhaitable, dans ce cas, d'imposer à la relation de surclassement de vérifier :

$$\forall b \in B \text{ et } \forall c \in C : b S_A c \text{ et non } c S_A b \\ \text{et } \forall a_j \in A : a_j S_A b, b S_A c, c S_A a_j \text{ est impossible avec } b \in B, c \in C.$$

Une telle méthode a déjà été utilisée dans les domaines bancaires (octrois de crédits) et universitaires (décisions d'investissements de la part d'un rectorat).

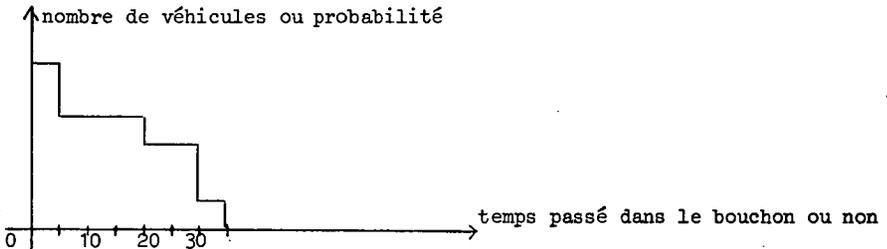


Si par contre on est sûr de réaliser l'opération de délestage (c'est une évidence pour tous compte tenu de conditions de trafic catastrophiques), l'approche devient globalisée, la problématique étant choix de l'action (variante) la meilleure pour le projet considéré.

Relativement à ces deux problèmes (faire ou ne pas faire une opération, la meilleure variante pour une opération), deux familles cohérentes de critères pourraient être bâties à partir des dimensions suivantes :

- gains de temps (voir § 3.1) ;
- temps passé par véhicule dans le bouchon (trafic congestionné).

Compte tenu des horaires où les trafics sont différents (absence de bouchons à certaines heures), l'évaluation d'une action est distributionnelle. Rapportée à une masse 1, cette distribution peut, dans ce cas, s'interpréter comme la probabilité pour qu'un automobiliste passe un temps  $t$  dans le bouchon.



En effet, ce qui compte pour l'utilisateur, c'est certes le temps qu'il passe en trajet (domicile-travail ou départ en vacances) mais surtout le temps qu'il passe immobile ou presque sans être réellement informé de ce temps (incertitude sur la durée).

Il y aurait lieu d'inclure également le temps passé dans un système de régulation d'accès (feux rouges, ...) lorsque ce dernier existe.

Une telle procédure garde l'avantage d'être systématique et de ne poser aucun problème d'arbitrages délicats pour une part importante de projets (ceux affectés dans  $A_1$  et  $A_3$ ). Par contre, les projets affectés en  $A_2$  devraient subir une procédure plus complexe (études plus approfondies, négociation), procédure rendue alors possible en raison du nombre beaucoup plus faible de projets concernés par cette seconde procédure.

Enfin, il y a lieu d'insister sur le fait que la relation de surclassement  $S_A$  est une agrégation partielle de critères quantitatifs ou qualitatifs, cette agrégation pouvant se faire à partir de poids sur les critères comme dans les méthodes ELECTRE I ou II ou bien en utilisant des valeurs unitaires (taux de substitution) pouvant être exprimés en unités monétaires ou même en une autre unité (voir la méthode de réduction progressive d'incertitude sur les taux de substitution utilisés dans la comparaison des tracés de l'autoroute A86-A87, BERTIER et autres (1972)).

### 3.2 A propos des opérations de délestages

Sans nécessairement reprendre une approche globalisée comme dans l'étude de régulation du complexe A6H6, nous retiendrons qu'il est nécessaire d'étudier (même rapidement) un plus grand nombre de variantes pour une même opération.

Une variante pourra être définie par les éléments suivants :

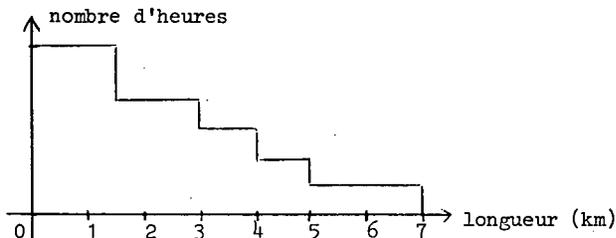
- itinéraire ;
- fléchage et signalisation plus ou moins automatisés ;
- régulation de l'accès ;
- importance des moyens humains nécessaires au fonctionnement de l'opération ;
- régulation des vitesses sur un ou plusieurs tronçons d'itinéraire ;
- etc.

Comme pour les opérations d'aménagements, l'approche est fragmentée si au niveau de l'étude préalable on n'est pas sûr que l'opération doit être réalisée. Elle devra alors être comparée à d'autres projets d'opérations de délestage concurrents.

- Qualité du temps passé dans le bouchon

Cette dimension est très importante (\*) et négligée dans les études actuelles ; elle doit intégrer essentiellement le niveau d'information qu'ont les usagers sur l'état du réseau routier : où se trouve le bouchon, quelle est sa longueur ou quel temps faut-il pour le traverser, existe-t-il des voies de délestages avant le bouchon, dans le bouchon ?, etc. (voir à ce propos l'importance pour l'utilisateur des problèmes de maîtrise du temps et de l'espace : Annexe A, § I.3).

- A un niveau collectif, un critère pourrait être bâti à partir de la longueur du (ou des bouchons) modulés par un nombre d'heures/24 heures.



- La souplesse d'exploitation du réseau permettant notamment une réaction rapide à des perturbations accidentelles devrait être appréhendée soit par une échelle exprimée en temps (temps nécessaire pour mettre en place le délestage), soit à l'aide d'une échelle qualitative.

- Il conviendrait également de prendre en compte des aspects tels que :

- . sous-exploitation de certains tronçons du réseau routier ;
- . économies dues à la suppression ou au retard d'opérations d'aménagement grâce aux opérations d'exploitation ;
- . ressources (temps) en hommes nécessaires pour le fonctionnement d'une opération de délestage ;
- . sécurité liée à la variante considérée ;
- . etc.

(\*) Une enquête portant sur un système de régulation de l'accès sur l'A6 à Lonjumeau révèle que 94 % des personnes qui ont répondu au questionnaire souhaitent être informés de l'état de la circulation sur l'autoroute avant les accès.

### III - ETABLISSEMENT D'UNE DESSERTE FERROVIAIRE DE BANLIEUE : LA LIAISON ERMONT-INVALIDES (\*)

#### 0. Introduction

Parmi les nombreux problèmes qui se posent à l'heure actuelle dans le domaine des transports urbains, un des plus important est sans doute celui de l'établissement des lignes nouvelles en Région Parisienne (R.P.).

La transformation continuelle de la structure de la Région Parisienne, tantôt accélérée, tantôt freinée mais toujours modifiée par les tracés de nouvelles voies de communication (route, autoroute, voies de chemin de fer, RER, ligne RATP, bus, aéroport) rend très complexe le choix du tracé des lignes. Les prévisions de trafic pour les années 85 montrant une croissance des déplacements en nombre en R.P. (trois types de déplacement cumulé) :

- de 20 à 70 % sur Paris Paris,
- de 70 à 90 % sur Banlieue Banlieue

soulignent davantage l'acuité du problème.

L'urgence et l'importance des lignes nouvelles apparaît également à travers les phénomènes tels que la crise de l'énergie qui freine la prolifération de l'automobile, l'urbanisation de banlieue entraînant la congestion des axes routiers (les projets de péages des autoroutes urbaines, la réduction du nombre de programmes autoroutiers).

Les solutions proposées par les pouvoirs publics pour améliorer la desserte de la Région Parisienne répondent au double objectif :

- assurer une meilleure distribution de la R.P. permettant aux usagers un meilleur accès aux différents pôles d'activité ainsi qu'aux différentes villes nouvelles ;
- tirer des infrastructures existantes un meilleur parti.

Ce projet d'étude est basé sur un cas pratique : amélioration de la desserte Banlieue nord.

---

(\*) La rédaction de cette section est due principalement à G. CABBILLAU et A. CLAVER.

La banlieue nord et en particulier la vallée de Montmorency a tendance à devenir résidentielle, ce qui provoque une augmentation des déplacements vers les pôles d'activité et en particulier vers Paris. La détermination des conditions de l'emploi dans la grande Banlieue Nord Ouest nécessite de mettre en service une ou deux liaisons nouvelles directes vers ces pôles d'emploi afin de ne pas dégrader l'accessibilité au travail des migrants de ces zones.

Dans l'état actuel, la gare du nord étant saturée, la création de nouvelles lignes évitant cette gare améliorerait l'écoulement du trafic de cette banlieue.

L'étude ne va pas porter sur le choix d'un tracé entre plusieurs possibles mais sur l'aménagement ou plutôt sur le dimensionnement d'une ligne Ermont-Invalides (nous reviendrons dans la suite de l'étude sur ces différents aspects).

Le point de départ de ce travail a été le dossier établi par le Syndicat des Transports Parisiens (STP) sur l'étude coûts-avantages de la liaison Ermont-Invalides.

Cette ligne répond aux objectifs fixés puisqu'elle utilise des infrastructures existantes (ligne des docks, ligne d'Auteuil), tout en permettant un meilleur accès de la banlieue vers Paris, accès que l'on peut améliorer en rallongeant cette ligne vers une ville nouvelle : Cergy-Pontoise. Ce faisant, ce projet est cohérent avec le schéma directeur de la R.P. ; de plus, le coût de réalisation est minimal car pas de travaux très longs, peu d'expropriations, peu de difficultés techniques.

L'analyse coûts-avantages consiste à traduire les effets d'un projet en termes monétaires de manière à exprimer coûts et avantages de ces effets.

Au contraire, l'analyse multicritère tient compte de l'ensemble des critères qui entrent en jeu dans le choix d'un projet, chaque critère gardant son identité propre. On peut ainsi sauvegarder l'intégrité de chaque critère ainsi que les opinions des différents groupes d'intérêt participant au processus de décision.

Démarche utilisée au cours de cette étude

L'approche théorique se résume à définir :

- l'ensemble des objectifs poursuivis par la SNCF ;
- les différents scénarios dans lesquels on se place (prise en compte de l'incertitude) ;
- l'ensemble des décisions possibles (ensemble des actions) ou variantes ;
- une liste de critères discriminants pour les différents projets établie à partir des objectifs et des variantes ;
- une échelle et un mode d'évaluation associés à chacun de ces différents critères dans chaque scénario.

Il convient ensuite d'appliquer différentes méthodologies d'analyse multicritère permettant de choisir quelles sont les meilleures variantes parmi les choix possibles.

Tout au long de cette étude, on envisagera tous les éléments et toutes les réflexions qui nous ont conduit à poser certaines variantes et certains critères et à adopter telle méthode plutôt que telle autre.

### 1. Les objectifs recherchés

Il est important de connaître les objectifs à suivre ; la SNCF, service à vocation publique, n'a pas seulement comme but de rentabiliser ses investissements mais aussi d'assurer un meilleur service public aux usagers.

Nous pouvons classer ces objectifs en plusieurs catégories :

#### Objectifs de coûts

- 1) Minimiser les coûts d'investissements et d'exploitation.

#### Objectifs/vocation service public

- 2) Minimiser le temps d'accès aux stations et les temps de transports réels.
- 3) Assurer une meilleure cohérence entre urbanisme, emplois et moyens de transports.
- 4) Maximiser le bien-être des usagers - augmentation de confort.
- 5) Eviter au maximum les nuisances sur l'environnement.

#### Autres objectifs

- 6) Minimiser au niveau global les coûts énergétiques par des gains d'énergie sur la voiture particulière.
- 7) Restructuration (effet global de la ligne sur le développement urbain) cohérente avec le schéma directeur.
- 8) Minimiser la durée des travaux.

Dans le cadre de notre étude de dimensionnement de la ligne Ermont-Invalides, nous ne garderons des objectifs généraux que nous venons d'énoncer seulement ceux qui sont discriminants, à savoir les critères 1), 2), 3), 4), 5).

Il est évident que le jeu d'objectifs retenu serait sensiblement différent si le problème posé consistait à choisir une ligne parmi plusieurs lignes possibles.

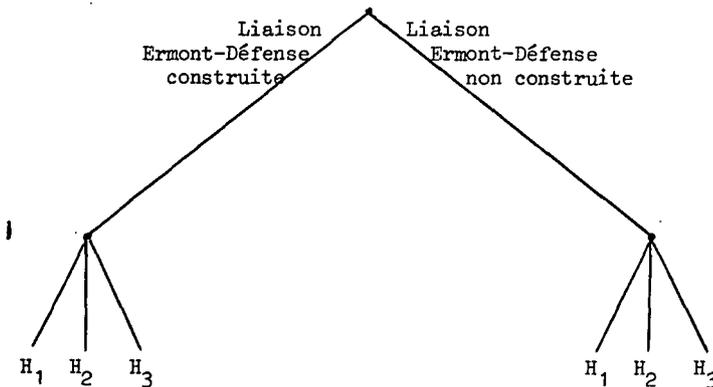
## 2. Les différents scénarios

Qu'est-ce qu'un scénario ? C'est un ensemble d'hypothèses, d'options qu'on ne maîtrise pas mais dans lequel on se place afin de construire une image d'un futur possible.

Nos scénarios seront essentiellement construits à partir des différentes hypothèses d'urbanisation à l'horizon 85.

Pour des raisons de simplification de l'étude, nous nous limiterons à des hypothèses provenant de l'IAURP. Elles tiennent compte du schéma d'ensemble de la Région Parisienne dans 3 scénarios :  $H_1$ ,  $H_5$ ,  $H_6$ .

Il aurait été intéressant de construire des scénarios à partir de ces hypothèses mais aussi à partir des réseaux de transports en commun et autoroutiers. En construisant des scénarios en faisant l'hypothèse de la réalisation de la ligne ferrée Ermont-Défense, on aurait pu établir 6 scénarios sur le futur :



Dans cet ordre d'idée, des hypothèses plus complexes pourraient être faites sur le réseau autoroutier et ferré afin de construire des scénarios sur le futur.

Nous aurions pu également, au lieu de voir les conséquences des hypothèses sur les projets, étudier la cohérence des projets avec les scénarios finis au départ et donc à l'aide de méthodes multicritères retenir le ou les projets les plus conformes aux objectifs urbanistiques.

L'inconvénient de cette approche est de laisser supposer que les hypothèses servant à construire les scénarios sont des variables de décisions effectives de l'Etat et même de la SNCF. Au niveau de l'étude d'un projet, il semble préférable de laisser ces hypothèses comme non maîtrisables, c'est-à-dire comme faisant partie de l'incertitude sur le futur.

Pour des raisons de faisabilité de cette étude (lourdeur de l'approche, complexité des évaluations), nous avons dû nous limiter aux trois scénarios concernant l'urbanisation ( $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_6$ ).

#### Caractéristiques des hypothèses

##### Caractéristiques de $H_1$

C'est une hypothèse "fil de l'eau" dans laquelle les éléments de politique volontariste sur les villes nouvelles se conjuguent avec une poursuite du laisser faire actuel en banlieue et à Paris.

Le processus de densification du tissu urbain existant n'est pas contrôlé. Le développement de l'emploi tertiaire à Paris et dans la banlieue ouest n'est pas ralenti.

La politique d'implantation d'infrastructures de transport ne donne pas la priorité aux villes nouvelles.

Hypothèse de population : elle prend en compte la poursuite de la densification de la banlieue au rythme actuel et un démarrage relativement lent des villes nouvelles.

Hypothèse d'emplois :  $H_1$  envisage la réalisation d'une grande partie de l'opération de la Défense et des opérations contiguës (soit environ 1 000 000 m<sup>2</sup> de bureaux).

Caractéristiques de H<sub>5</sub> (directives modifiées ou complémentaires)

- 1) Rythme annuel de croissance de l'emploi régional au VIIe plan inférieur à l'estimation de celui du VIe plan (48 000 E/an).
- 2) Abandon de l'hypothèse d'un fort renouvellement du parc des bureaux anciens.
- 3) Maintien du rythme actuel de désindustrialisation de Paris (= 2%/an).
- 4) Baisse de la population de Paris, poursuite du desserrement constaté dans l'enquête logement 1973 et limitation de constructions.
- 5) Révision en baisse des constructions de logements "très aidés".
- 6) Pour les villes nouvelles, conditions supplémentaires pour l'élaboration des hypothèses concernant leur développement :
  - emploi nouveau par actif nouveau ;
  - accélération du développement dès le VIIe plan.
- 7) Réévaluation de l'hypothèse de croissance des emplois du secteur secondaire :
  - B.T.P. + 5 000 E/an dans H<sub>3</sub> → - 1 000 E/an dans H<sub>5</sub> ;
  - industrie + 4 000 E/an dans H<sub>3</sub> → - 2 000 E/an dans H<sub>5</sub>.

Caractéristiques de H<sub>6</sub> (directives modifiées ou complémentaires)

- 1) Accélération de la décentralisation industrielle et tertiaire :
  - 120 000 emplois secondaires par rapport à H<sub>5</sub> ;
  - 100 000 emplois tertiaires par rapport à H<sub>5</sub>.
- 2) "Quasi-blocage" de la construction au centre de l'agglomération (bureaux, logements) → réévaluation en baisse des hypothèses de population de la zone centrale.

### 3. Ensemble des solutions possibles, construction des variantes

#### Introduction

Le but de cette étude est d'apporter au décideur les éléments de choix de la meilleure ou des meilleures solutions : type de ligne qui serait le plus conforme aux objectifs :

- besoin des usagers ;
- cohérence dans le temps avec l'urbanisme ;
- conformité au schéma directeur d'aménagement de la R.P. ;
- utilisation des infrastructures existantes.

Cette meilleure action doit avoir le plus d'avantages correspondant à ces objectifs pour qu'elle ne se heurte pas aux différents conflits pouvant opposer les différents acteurs.

Les actions ne sont pas forcément indépendantes mais toute action doit pouvoir être considérée isolément sans pour cela être dépourvue de sens.

#### Ensemble des éléments

Pour construire au mieux l'ensemble des actions possibles, il faut établir une liste exhaustive des paramètres (éléments) de définition d'une action.

En toute logique, il faut procéder à une combinaison de tous les paramètres possibles de chacun des groupes :

- tracé de ligne,
- stations,
- type de desserte (combinaison de fréquence de trains),
- utilisation ou non de la ligne d'Auteuil,

les autres paramètres non cités étant considérés comme non discriminants.

Ensemble des éléments possibles

- Construire une ligne ou une partie de ligne

Ermont-Invalides

Ermont-Maillot

Ermont-Maillot puis Maillot-Invalides - 2 phases dans le temps, ce qui supposerait de ne pas construire une gare terminus à Maillot dans un premier temps

Ermont-Porte Pouchet puis Pouchet-Invalides ou Maillot

Ermont-Pérelre

Ermont-Pont Cardinet

Ermont-Pérelre et raccordement de la ligne d'Auteuil à Invalides

Ermont-Garibaldi

toutes ces lignes pouvant partir de Pontoise ou Valmondois.

- Construire certaines stations par rapport aux prévisions de trafic et au raccordement avec la RATP

Stations à prendre en compte :

Ermont, St Gratien, Epinay, Gennevilliers, Les Grésillons

Porte de Clichy, Pérelre, Maillot

Quai Kennedy, Champ de Mars, Pont de l'Alma, Invalides

Avenue Foch, Henri Martin, Boullainvilliers.

Problème de choix : trop de stations + perte de temps pour la collectivité

pas assez de stations + desserte incorrecte.

Seules les 3 dernières stations n'avaient pas été retenues dans la première étude. Dans notre étude, on ne considèrera que ces dernières stations, seules susceptibles d'être choisies ou non.

Enfin, en amont d'Ermont : St Ouen  
 Pierrelaye  
 Franconville  
 Cernay  
 Cergy Pontoise.

Parmi toutes ces stations, certaines sont retenues a priori ; le choix est basé sur l'analyse coûts-avantages établie par le STP.

Autre élément : la desserte d'Auteuil

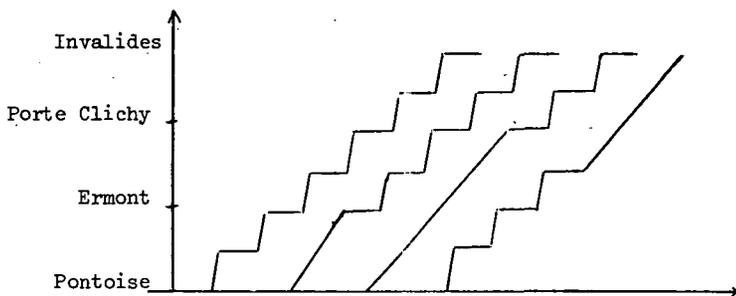
Deux alternatives sont possibles :

- garder Auteuil en ajoutant des voies pour y faire passer les trains en provenance d'Ermont, ce qui nécessite alors des investissements ;
- supprimer Auteuil : la voie serait directement utilisée par les trains (+ réduction des investissements) ; le seul problème proviendrait de la diminution de l'offre potentielle en des points précis auprès des usagers.

Autre élément retenu : le type de desserte offert

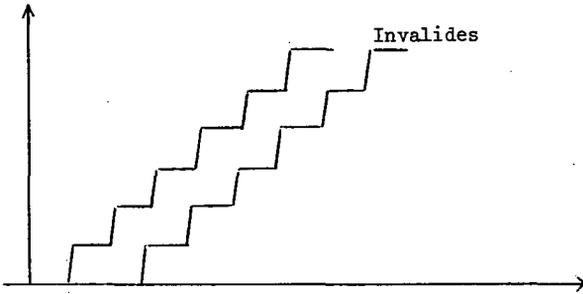
Le type de desserte correspond ici à une combinaison de 2 trains ou plus. Exemples : omnibus sur toute la ligne  
 rapide jusqu'à Porte Clichy puis omnibus.

En fait, il y a une infinité de possibilités de combinaison :

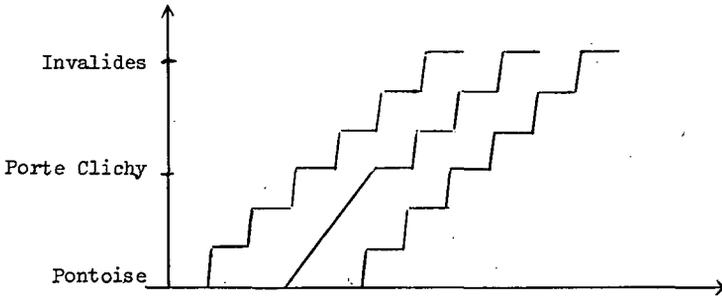


Nous en retiendrons deux :

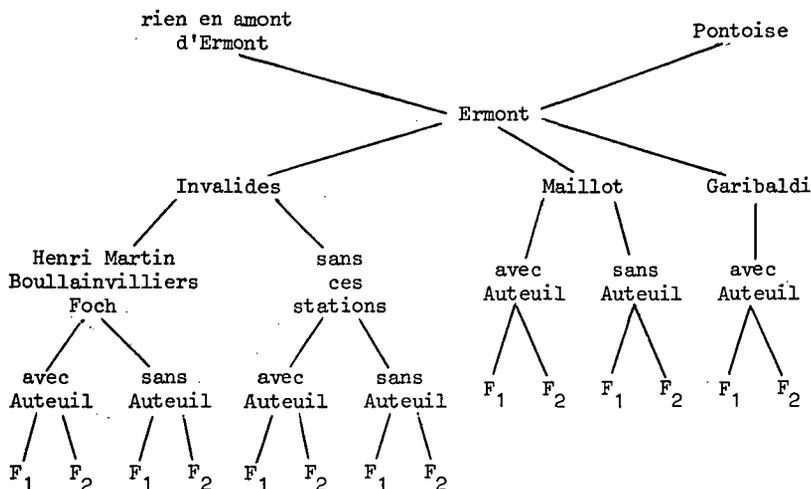
- $F_1$  composé uniquement d'omnibus :



- $F_2$  composé d'omnibus et de direct à Porte Clichy, omnibus par la suite :



Présentation des actions retenues sous forme d'arbre



Rappel

Il paraît fondamental d'essayer de couvrir au mieux, par notre ensemble d'actions, le domaine des possibles de manière à ne pas négliger les actions qui s'avèreraient avantageuses.

L'élaboration et surtout plus tard l'évaluation des variantes nécessitent des ressources d'études importantes qui ne peuvent être disponibles qu'en quantité limitée.

Ces contraintes à la fois de durée de l'étude et des données nous forcent à restreindre le nombre de variantes par élimination implicite. Pour passer du domaine des actions possibles à l'ensemble des variantes, on est obligé de faire un choix implicite, une pré-évaluation.

Il faut souligner le caractère préliminaire et partiel de ce choix qui doit être appliqué. Pour des raisons de simplifications, on retiendra 11 variantes parmi les 28 présentées ci-dessus. Ces variantes ont été de préférence retenues car elles étaient contrastées.

Variantes retenues

- |                    |        |                |                  |                  |
|--------------------|--------|----------------|------------------|------------------|
| 1) Pontoise        | Ermont | Invalides avec | Henri Martin     | desserte Auteuil |
| → F <sub>1</sub> . |        |                | Boulbainvilliers |                  |
|                    |        |                | Foch             |                  |
- 2) Identique avec la fréquence F<sub>2</sub>.
- 3) Pontoise Ermont Maillot avec Auteuil F<sub>1</sub>.
- 4) " " " " " F<sub>2</sub>.
- 5) Ermont Invalides avec Auteuil F<sub>1</sub>.
- 6) " " " " F<sub>2</sub>.
- 7) Ermont Invalides avec Boullainvilliers sans Auteuil F<sub>1</sub>.
- 8) " " " " " " F<sub>2</sub>.
- 9) Ermont Maillot sans Auteuil F<sub>1</sub>.
- 10) " " " " F<sub>2</sub>.
- 11) Ermont Garibaldi avec Auteuil F<sub>1</sub>.

4. Critères4.1 Critères liés au coût

C<sub>1</sub> : Coût d'investissement (expropriation, achat de terrain, relogement, travaux publics)

Evaluation ponctuelle - échelle choisie : le Franc. Ce critère ne varie pas selon les scénarios.

$C_2$  : Coûts d'exploitation

On ne tient pas compte des prévisions de trafic au niveau des variantes, ces fréquences étant fixes. Evaluation ponctuelle - échelle choisie : le Franc. Ce critère ne dépend pas des scénarios.

$C_3$  : Recette d'exploitation

On ne tiendra pas compte des recettes d'exploitation basées sur les prévisions de trafic, les prévisions n'étant pas faites au niveau des variantes choisies.

En général, les recettes d'exploitation tiennent compte du taux d'occupation des trains ; pour simplifier, on a considéré un taux normal moyen d'occupation.

Echelle choisie : le Franc (E en général ou F par train par km).

#### 4.2 Critères au niveau de l'utilisateur

Au niveau de l'utilisateur, on étudie en quoi les variantes diffèrent. On se place dans la situation : l'utilisateur utilise la ligne SNCF. On suppose que tous les utilisateurs sont identiques.

On étudie le temps passé en transports pour aller d'une zone à une autre et les ruptures de charges subites par l'utilisateur.

$C_4$  : Temps de trajet

On a choisi le temps réel de trajet pour que ce critère ne soit pas redondant avec le critère suivant.

Il était possible d'agrèger ces 2 critères en considérant alors le temps généralisé. Mais le critère alors obtenu ne saisit pas les préférences au niveau de l'individu.

Une personne préférera passer plus de temps dans un trajet que d'effectuer un changement. La pénibilité est difficilement appréhendable en termes de temps.

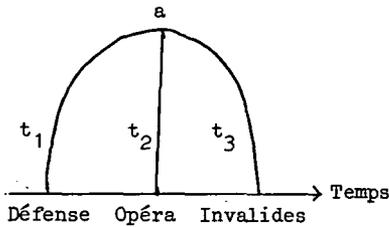


Figure 1

Pour une action  $a$ , on cherche le temps pour aller d'une zone  $i$  (on s'est fixé 1 zone Ermont pour simplifier) et des zones  $j$   $j = (1, \dots, 6)$ .

Le nombre de zones  $i$  et  $j$  fixées ne serait pas acceptable pour une étude exhaustive. Une telle distribution est indépendante des prévisions de trafic.

Une autre méthode consiste à utiliser des prévisions de trafic. On obtient alors 3 distributions associées aux 3 différents scénarios. L'indicateur de modulation  $\delta_i(a)$  tient compte des prévisions de trafic.

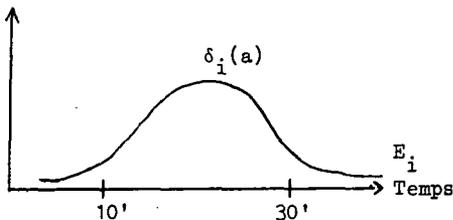


Figure 2

C5 : Le nombre de ruptures de charges

Comme précédemment, on retient une seule zone de départ Ermont et 6 zones de destinations.

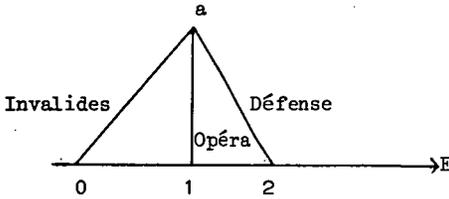


Figure 3

Pour une action  $a$ , un usager aura 2 changements pour aller à Défense.  
Echelle choisie : le nombre de ruptures de charges.

Pour ce critère également, une seconde méthode consiste à tenir compte des prévisions de trafic.

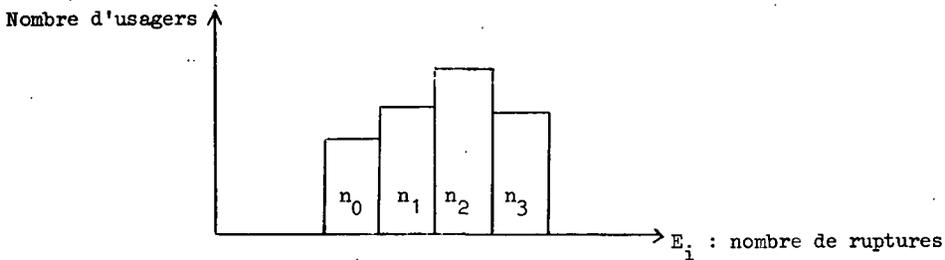


Figure 4

$n_0$  → 0 ruptures de charges

$n_1$  → 1 rupture de charges.

3 distributions suivant les 3 scénarios.

#### Remarques

Les secondes méthodes consistent à étudier le temps de trajet et le nombre de ruptures de charges en utilisant les prévisions de trafic (cas des figures 2 et 4).

Or, les prévisions de trafic ne sont pas assez fines en général et ne sont pas très bien connues au niveau des variantes retenues ; c'est pourquoi cette méthode nous semble peu fiable.

D'autre part, on aurait pu construire un critère composé par le temps de trajet pondéré par le nombre d'actifs ou d'emplois de zones. On a choisi de retenir ce mode de construction pour les critères d'accessibilité ; l'utiliser plusieurs fois donnerait des critères redondants.

Nous avons renoncé à l'utilisation du modèle de prévision car il nous semblait dans l'état actuel incapable de tenir compte de l'ouverture d'une gare ou bien des différentes variantes entraînés par le choix de tel tracé.

#### 4.3 Critères au niveau collectif

C6 : Critères d'accessibilité aux emplois à partir d'Ermont

Nous le mesurons à l'aide d'un indicateur calculé à partir d'isochrones concernant les emplois.

Les distributions vont être agrégées en un indicateur gravitaire  $\alpha_i$  :

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^n E_j e^{-\lambda t_{ij}}$$

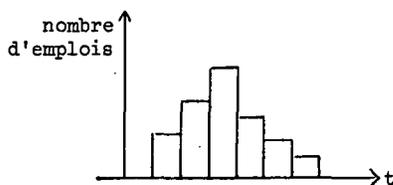
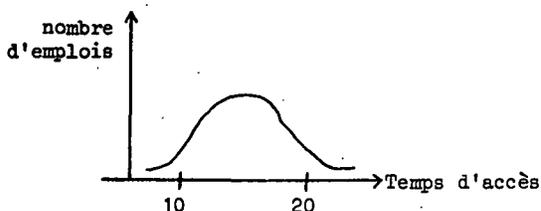
$E_j$  : nombre d'emplois dans la zone  $j$  (pour faire l'étude, nous avons divisé la ligne en un certain nombre de zones)

$\alpha_i$  : accessibilité gravitaire pour agréger une distribution.

$t_{ij}$  : temps d'accès entre la zone  $i$  Ermont et la zone  $j$

$\lambda$  : coefficient que nous prendrons en accord avec les calculs antérieurs.

Nous obtenons donc une distribution qui peut être figurée ainsi :



Par ce critère  $\alpha_i$ , nous tenons compte du plus ou moins grand nombre d'emplois pouvant être atteints suivant les variantes.

C7 : Critère d'accessibilité des entreprises au marché de la main-d'oeuvre

Ce critère permet d'envisager les différentes variantes possibles en fonction du nombre d'actifs se trouvant dans les différentes zones traversées par la ligne Ermont-Invalides.

L'indicateur nous servant à réduire nos distributions à une valeur ponctuelle est un indicateur gravitaire :

$$B_i = \sum_{j=1}^n A_j e^{-\lambda t_{ij}}$$

$A_j$  : nombre d'actifs de la zone  $j$   
 $t_{ij}$  : temps d'accès de la zone  $i$  à  $j$   
 $\lambda$  : coefficient à déterminer.

#### 4.4 Critères au niveau structurel

C8 : Critères de cohérence de prévision de trafic par rapport à la capacité

Pour construire ce critère, on s'est servi des prévisions de trafic et des capacités offertes par les préférences des trains sur la ligne.

$\gamma$  = prévision de trafic/capacité.

Il permet de vérifier un bon ajustement entre l'offre et la demande.  
 Echelle : ratio.

C9 : Critères de faisabilité et d'acceptabilité

Ce critère agrégé sera purement qualitatif. Pour notre étude, on associera une appréciation (note) à chaque variante suivant sa bonne acceptabilité et faisabilité facile.

Pour une étude plus poussée, il y aurait lieu de considérer les trois ensembles : variantes, critères, acteurs.

#### 4.5 Autres critères pouvant être pris en compte pour une étude plus poussée

Ces critères prendraient en compte les effets induits de la construction d'une ligne.

##### - Critère mesurant le transfert de la voiture particulière vers les transports en commun

Ce critère pourrait permettre, au niveau de la collectivité, de dégager l'intérêt d'une variante par rapport à la décongestion qu'elle apporterait.

Indirectement, ce critère pourrait permettre d'évaluer l'économie d'énergie apportée, le gain économique : baisse des accidents de voiture (se reporter aux études sur le coût du mort).

##### - Critère mesurant les plus values foncières apportées au terrain desservi par la ligne

Ce critère semble ici assez peu discriminant pour notre étude. L'aspect subjectif lié à celui-ci est évident, son utilisation étant différente suivant les acteurs.

##### - Critère touchant l'environnement

Dans notre étude, les nuisances pouvant être prises en compte se résument au bruit, les infrastructures étant à peu près existantes et déjà utilisées.

Pour une étude entre projets de tracé de lignes différents, nécessitant par exemple la destruction de monuments, d'espaces verts, un critère pourrait alors être établi, du même type que les critères utilisés pour le tracé de l'autoroute A 86 (BERTIER, ... (1972)).

- Critères mesurant l'équilibre transport-urbanisme

Au niveau d'une ligne, il semble difficile de prétendre saisir l'équilibre habitat-emploi et transports. Par contre, pour une étude portant sur la comparaison de plusieurs réseaux, il semblerait indispensable d'en tenir compte.



#### IV - DECISIONS EN MATIERE DE CONFORT DANS UN RESEAU DE TRANSPORT EN COMMUN

##### 0. Introduction

Dans cette section, nous appliquons la méthodologie, présentée dans la partie III du rapport, aux décisions d'investissements en matière de confort dans les transports en commun. Nous présentons donc ci-dessous les différents types de décisions et d'actions candidates que nous avons rencontrés (paragraphe 1), la problématique choisie (paragraphe 2) et l'analyse des conséquences en nous limitant néanmoins ici à celles qui sont relativement liées au temps (paragraphe 3). L'analyse faite dans ce troisième paragraphe ne présente évidemment d'intérêt que si on l'insère dans une analyse semblable des autres conséquences.

Avant tout, il nous semble nécessaire de préciser d'une part ce que contient pour nous le mot confort, d'autre part les supports de notre réflexion.

##### 0.1 Notre notion du confort

Suivant une utilisation actuellement répandue (IAURP (1973)), le mot confort est pris ici dans un sens très large ; tout investissement fait en vue d'améliorer le bien-être du client et la qualité du service rendu est considéré comme appartenant au domaine des investissements de confort.

Nous prenons en compte, par exemple, les améliorations que sont une meilleure climatisation, une meilleure information ou une réduction du temps de trajet.

C'est grâce à cette attitude de l'entreprise de transport, attentive à la qualité du service qui lui est demandé et qu'elle fournit, qu'on peut véritablement parler de clients et non plus d'usagers des transports en commun.

##### 0.2 Les supports de notre réflexion

Pour alimenter nos réflexions, nous avons voulu approfondir les problèmes posés par deux types de transport en commun différents par leur méthode d'exploitation, leur clientèle, leur environnement... Nous nous sommes ainsi essentiellement penchés sur les deux expériences suivantes :

- le métro à Paris ;
- l'autobus à Besançon.

## 1. Types de décision et actions candidates

Dans les investissements de cette nature, il semble que l'on puisse distinguer trois types de décisions et les hiérarchiser suivant le degré de finesse (ou le niveau de détail) de l'étude (ou du raisonnement) ayant précédé la décision. Chacun de ces types s'insère dans le processus de décision à un moment différent.

### 1.1 Faire-ne pas faire

Le premier type de décision est celui du choix entre "agir" et "ne pas agir" ; savoir si l'on veut maintenir la situation actuelle ou la faire évoluer.

Une des actions possibles est ici "ne rien faire". Et on va comparer les résultats de cette action (qui revient à prolonger dans le futur la situation présente) aux résultats d'autres actions possibles (celles qui consistent à investir et par conséquent à agir dans le domaine du confort). Chaque montant d'investissement représente alors une action.

### 1.2 Répartition d'une enveloppe

Dans le second type de décision, le montant de la somme allouée aux investissements de confort est connu et le choix se pose au niveau de la répartition de cette somme entre les différentes catégories d'investissement. La question est de savoir quel pourcentage de l'enveloppe va-t-on consacrer à chaque catégorie d'investissement. Le choix réside dans la comparaison entre toutes les combinaisons possibles de ces différentes sortes d'investissement.

Par exemple, si l'on considère seulement deux sortes d'investissements, la climatisation et la décoration, les deux combinaisons extrêmes sont : "0 % de l'enveloppe à la climatisation - 100 % à la décoration" et "100 % à la climatisation - 0 % à la décoration".

Toute combinaison de ces investissements peut être une action candidate.

### 1.3 Choix d'une variante

Le troisième type de décision d'investissement en matière de confort est un problème de choix technique : lorsque, pour un investissement donné, il y a plusieurs matériels en concurrence, lequel adopter ? A partir d'une répartition de l'enveloppe, on a donc plusieurs variantes de cette même répartition.

Les actions candidates sont toutes les variantes existantes.

Pour faire ce type de choix, il faut avoir des normes (ou un cahier des charges) très élaborées ; des études sont actuellement en cours pour en définir quelques unes. Dans ce dossier, nous ne sommes pas allés jusqu'à ce niveau de détail.

Remarquons que les ensembles d'actions candidates présentés ici sont en principe globalisés. Cela tient essentiellement à notre démarche qui privilégie les décisions relatives aux problèmes financiers. Cependant, on peut très bien trouver des cas où A est fragmenté : par exemple lorsque, dans un réseau, on envisage toute une série d'actions ou de projets, non exclusifs les uns des autres, sur la qualité du service.

De même, notre présentation des actions candidates ne doit pas laisser penser que A est forcément fixe. Par exemple, nous pouvons :

- construire un modèle tel que nous ayons  $n$  types d'investissement de qualité de service dont les montants  $x_1, x_2, \dots, x_n$  soumis à des conditions de la forme :

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq S, \text{ la limite de l'investissement}$$

$$a_i \leq x_i \leq a_i', \text{ des contraintes physiques de réalisation}$$

$$C_K(x_1, \dots, x_n), K \text{ critères de choix}$$

$$F(x_1, \dots, x_n), \text{ une fonction objectif}$$

si chaque  $x_i$  est indépendant, A sera alors globalisé dans  $\mathbb{R}^n$  ;

- apporter des informations complémentaires destinées à élargir A (par exemple, dans une procédure interactive où les actions candidates sont susceptibles d'évoluer pour arriver à un compromis, à une action nouvelle intermédiaire).

## 2. Choix d'une problématique

La problématique suivie, pour rester réaliste, doit tenir compte de deux éléments qui nous semblent essentiels : le confort est d'une part une notion individuelle (tout le monde n'a pas les mêmes besoins en matière de confort) et d'autre part sa perception est actuellement difficile à mesurer (subjectivité de la perception). Dans ces conditions, il nous paraît illusoire de vouloir trouver le "meilleur" investissement en matière de confort. Par contre, il est raisonnable de vouloir connaître toutes les actions qui, parmi celles étudiées, sont considérées comme "bonnes".

Nous considérons donc comme normal de se placer dans une problématique de type  $\beta$ . Mais cela ne nous fait pas rejeter la possibilité de suivre, pour diverses raisons, une problématique de type  $\alpha$  ou  $\gamma$ .

En effet, dans un cas de négociation ou de compromis, c'est bien sur une action que doit aboutir le processus d'aide à la décision.

Et dans l'établissement d'un plan d'investissement à partir d'un ensemble de projets, il n'y a pas toujours intérêt à extraire tous les bons projets mais, quelquefois, seulement un groupe répondant à certaines caractéristiques (homogénéité, ...).

### 3. Conséquences et dimensions au niveau du client

Maintenant, nous allons présenter une analyse des conséquences, plus ou moins liées au temps, d'investissements en matière de confort selon les trois niveaux individuel, collectif et structurel (cf. partie III du rapport). Pour chaque conséquence mentionnée, nous proposons quelques dimensions pouvant servir de base à l'évaluation des actions.

#### 3.1 Au niveau individuel

A ce niveau, nous étudions les conséquences que le client moyen ressent directement sous forme de contraintes ou de difficultés. Nous ne prenons pas en considération les utilisateurs présentant des caractéristiques particulières tels que les handicapés, les personnes âgées, etc.

En fait, on peut se demander qui est le client et être alors amené à en distinguer différents types.

##### 3.1.1 Les durées

L'élément dont le client a certainement le plus conscience est le temps qu'il met pour se rendre d'un point à un autre ; il sait l'heure à laquelle il part et celle à laquelle il arrive à destination. Cette connaissance globale du temps de déplacement confond souvent le temps nécessaire pour atteindre les moyens de locomotion (couloirs, escaliers), le temps passé à attendre le véhicule et le temps consacré au trajet proprement dit (dans les véhicules et les correspondances). Nous retenons donc au moins trois dimensions se caractérisant par le fait qu'on peut les analyser sur des échelles temporelles (telle que  $D_1$  définie dans le rapport général, § III-2).

##### 3.1.1.1 Temps d'accès

Cette première dimension, le temps nécessaire pour accéder au véhicule, veut prendre en compte la longueur des couloirs et des escaliers que le client doit parcourir entre le moment où il atteint le réseau et celui où il peut être transporté. Pour un arrêt particulier (ou une bouche donnée), ce temps est facile à connaître.

### 3.1.1.2 Temps d'attente

Ici, nous reprenons la notion courante de l'attente : laps de temps s'écoulant entre le moment où le client est prêt (en place) à être transporté et le moment où il monte dans le véhicule. Le mode d'exploitation (suivant l'horaire ou suivant la fréquence) donne une dimension plus ou moins précise.

### 3.1.1.3 Temps de trajet

La durée qu'on peut penser le plus facilement réductible est le temps de trajet. Cependant, on ne peut pas transporter les gens toujours plus vite, de même qu'on ne peut envisager de multiplier indéfiniment les correspondances et d'en réduire continuellement le temps sans créer d'autres éléments d'inconfort (impression d'insécurité, impossibilité de faire autre chose, énervement...).

La question se pose évidemment de savoir si, pour ces échelles correspondant à ces trois dimensions, il faut compter des durées "perçues" ou des durées "chronométrées". Ce qui compte pour le client, c'est la durée perçue (cf. annexe A, I) mais, dans la constitution d'une famille cohérente de critères, si l'on prend en compte séparément les conséquences élémentaires décrites aux points 3.1.2 et 3.1.3 ci-après, il peut sembler normal de retenir ici les durées chronométrées. En effet, ce qui fait que la durée perçue est différente de la durée chronométrée, c'est précisément les aspects dont il va être question maintenant.

### 3.1.2 Les conditions liées à l'environnement

Nous regroupons ici toute une série d'éléments qui, s'ils sont bien réalisés, améliorent les conditions physiques et psychiques du lieu où se trouve l'utilisateur et donc diminuent son temps perçu (cf. annexe A, I). Ces éléments sont pour la plupart qualitatifs et peuvent être analysés sur une échelle ordinale telle que  $Q_1$  définie dans le rapport général, § III-2, ou du type :

- conditions exceptionnellement bonnes ;
- conditions agréables ;
- conditions acceptables ;
- conditions nettement hostiles.

Nous avons de nouveau les trois dimensions : accès, attente et trajet. Pour chacune d'elles, nous mentionnons les éléments d'évaluation qui se sont présentés à nous comme descriptifs des véhicules et des lieux de passage.

### 3.1.2.1 Conditions à l'accès

Dans les couloirs et escaliers lui permettant d'atteindre le quai d'embarquement, le client est sensible à des éléments tels que :

- la décoration des murs et plafonds ;
- l'éclairage ambiant ;
- la température,
- la propreté ;
- les escaliers mécaniques et tapis roulants ;
- l'impression (ou le sentiment) de sécurité ;
- la bousculade.

### 3.1.2.2 Conditions d'attente

Pour évaluer le confort à l'attente, on retrouve les éléments du confort à l'accès :

- décoration,
- éclairage,
- température, odeur et courants d'air,
- propreté,
- impression de sécurité

auxquels s'ajoutent des éléments plus spécifiques :

- places assises,
- confort des sièges,
- possibilité de faire autre chose (lire, regarder des vitrines, téléphoner, etc.),
- bruit.

### 3.1.2.3 Conditions de trajet

Le confort dans les véhicules et correspondances reprend tous les éléments du paragraphe 3.1.2.2 auxquels on peut rajouter des éléments propres aux véhicules tels que :

- promiscuité,
- les vibrations,
- l'entassement,
- l'aménagement du sol (moquette).

### 3.1.3 Les informations diffusées

Le client, qu'il soit occasionnel ou non, a besoin de se sentir dans un espace connu où il a toutes les informations qui lui sont nécessaires. Il s'agit d'éliminer au maximum l'incertitude. C'est la qualité de l'information qui importe et là aussi des échelles ordinales du même type que précédemment (paragraphe 3.1.2) sont sans doute utilisables.

#### 3.1.3.1 Informations sur l'accès

La première chose que le client doit connaître est le réseau lui-même, ses points d'accès, son fonctionnement (billets, tarifs, contrôles...), ses moyens d'accès aux véhicules et ses moyens de sortie (couloirs, escaliers), les correspondances avec les autres réseaux.

#### 3.1.3.2 Informations sur l'attente

Ensuite, le client veut savoir combien de temps il va normalement consacrer à attendre un véhicule, si la ligne est exploitée à l'horaire ou à la cadence, s'il y a une interruption du trafic...

#### 3.1.3.3 Informations sur le trajet

Enfin, il veut essayer de prévoir les conditions de son trajet, conditions normales ou exceptionnelles (en cas d'arrêts intempestifs). Il veut connaître la fiabilité du système qu'il utilise et ses possibilités de substitution et d'interconnexion avec d'autres réseaux. Il veut savoir quand il doit sortir du véhicule.

### 3.2 Au niveau collectif

Ce niveau est peu pertinent pour l'analyse étudiée car le confort est surtout un problème individuel. On peut toutefois envisager d'appréhender les conséquences suivantes :

#### 3.2.1 L'impact médical

De mauvaises conditions de transport peuvent accentuer ou provoquer de nombreuses réactions sur le physique et le psychique du client : troubles, déficiences, maladies. Le temps inévitablement nécessaire pour soigner les phénomènes consécutifs à une trop grande nervosité ou une mauvaise hygiène, par exemple, ne peut pas être négligé par la collectivité.

#### 3.2.2 L'agressivité

De même, on peut se demander si la société a le droit de se désintéresser des actes de violence qui perturbent peu ou prou le service normal de transport. Les pertes de temps consécutives à un état d'agressivité plus ou moins latent sont collectivement considérables dans les transports en commun.

#### 3.2.3 Le total des temps de déplacement journaliers

La société demande de plus en plus à ses membres de se déplacer quotidiennement. La somme des temps passés, par ces membres, dans les transports en commun est sûrement caractéristique d'un certain mode de vie et de pensée qu'il faut contrôler. L'échelle économique  $E_1$  (voir rapport général, § III-2) peut le permettre.

#### 3.2.4 L'interconnexion avec les autres réseaux de transport

La manière suivant laquelle les problèmes de ruptures de charges sont résolus donne une image très forte du confort. Et la commodité de passage d'un réseau à l'autre est un élément de gain de temps appréciable pour la collectivité et l'individu. Des indicateurs d'accessibilité sont présentés dans l'annexe A-III.

### 3.2.5 L'impact familial et social

Le temps que l'individu passe dans les transports, il ne le consacre pas à son travail, à ses loisirs ou à sa famille (cf. Annexe A-I).

Le temps étant un bien limité, l'individu essaye, pour lui, d'avoir le meilleur rendement possible, ce qui actuellement le mène à augmenter ses temps de déplacement. Or, pour la collectivité, ce n'est peut-être pas le meilleur moyen d'améliorer sa productivité car il faut créer des services annexes pour pallier à l'indisponibilité des individus.

Nous voyons que préciser les dimensions, définir les échelles et asseoir l'évaluation n'est pas chose très facile au niveau collectif et que cela ne peut être fait dans l'absolu mais qu'en fonction du type de décision étudiée.

### 3.3 Au niveau structurel

A ce niveau, nous voulons appréhender des éléments que nous considérons normalement comme fixes et qui, en fait, varient dans un espace de temps relativement long. On imagine qu'il est difficile d'aller loin dans l'analyse de ce type de conséquences. Ainsi, nous ne présentons ici qu'une seule dimension.

#### 3.3.1 L'évolution des consommations collectives et des consommations individuelles

Des changements de caractère sensibles d'un réseau modifient sans aucun doute les habitudes d'une partie de la population concernée, celle qui a des possibilités de choix ou celle qui, à certains moments, croyait ne pas en avoir.

L'expérience de Besançon est bien faite en vue de transformer les habitudes de transport d'une partie de la population. De même, la relative baisse de fréquentation des bus parisiens n'était-elle pas due à des éléments d'inconfort ? L'action récente de la RATP (couloirs, Lignes Pilotes, ...) semble accréditer cette thèse (RATP - "Plan d'entreprise 1975-1980", page 63).

Ici, une échelle du type  $\Delta_1$  (voir Rapport général, § III-2) peut suffire pour appréhender ce phénomène.

#### 4. Elaboration d'une famille cohérente de critères

Pour former une famille de critères, ces éléments d'analyse doivent être regroupés au travers d'un petit nombre de critères. Ici, il paraît raisonnable de retenir 6 critères de confort :

- 3 individuels : durée, pénibilité, information ;
- 2 collectifs : santé, rentabilité ;
- 1 structurel : utilisation des transports en commun.

Par exemple :

- le critère individuel de pénibilité regroupera en une sous-agrégation les trois dimensions du paragraphe 3.1.2, chaque dimension ayant elle-même plusieurs composantes ou éléments d'évaluation ;
- le critère collectif de santé sous-agrègera les dimensions d'impact médical et d'agressivité et une partie seulement de l'impact familial et social (l'autre partie étant prise en compte dans le critère rentabilité).

Pour d'autres types d'investissements, on peut avoir beaucoup moins de critères.

Si la deuxième phase de notre recherche nous donne l'occasion d'approfondir ce problème de confort, il nous faudra très probablement compléter les critères présentés ici par d'autres comme ceux de coûts, par exemple.

En effet, notre objectif est de construire une famille cohérente de critères pour un problème précis et de montrer l'usage qu'on peut en faire dans le processus d'aide à la décision.