

## UN INDICATEUR SYNTHÉTIQUE D'ÉVALUATION D'UN PROGRAMME D'INVESTISSEMENTS

ALAIN BONNAFOUS  
LAET  
UNIVERSITÉ DE LYON

JULIEN BRUNEL  
SAE  
SNCF-RÉSEAU

GRÉGOIRE MARLOT  
DIRECTION DE LA STRATÉGIE  
SNCF

### 1. INTRODUCTION<sup>1</sup>

C'est dans les années 70 que l'on peut situer les travaux les plus riches en matière d'évaluation des investissements et les efforts pour étendre cette problématique à la programmation optimale d'un ensemble d'investissements. Dans un article en français, BERTONÈCHE et LANGOHR (1977) offrent une remarquable mise en perspective de ces travaux. La littérature a été par la suite relativement discrète sur le sujet, sauf peut-être en économie financière où l'on a pu observer que certains auteurs (LANGLOIS, MOLLET, 1999) ont été assez près de formaliser un critère d'optimisation proche de celui qui est aujourd'hui couramment admis et que nous préciserons dans une prochaine section. Le retour de cette problématique, qui ne passionne pas le monde anglo-saxon, a été marqué par un numéro spécial d'*Economie et prévision* en 2006 (175-176) et l'ouvrage collectif édité par J. MAURICE et Y. CROZET (2007). C'est dans la suite de ces travaux, qui seront évoqués plus loin, que

---

<sup>1</sup> Version française et enrichie de la communication « *A global efficiency indicator for an Investments planning* » présentée à la 14th WCTR, 10-15 July 2016, Shanghai.

nous nous situons.

Cet article propose une méthodologie permettant de comparer l'intérêt pour la collectivité de différents programmes d'investissements de transport nécessitant des financements publics en tout ou partie, sur la base d'un indicateur mesurant l'écart de surplus collectif par rapport à un programme de référence optimal.

Un programme d'investissements s'appuie généralement sur les évaluations socio-économiques et financières des projets candidats. Il peut y avoir, cependant, de multiples raisons pour que le choix et l'ordre de réalisation des projets ne soient pas optimaux : des circonstances particulières qui retardent les meilleurs projets, des initiatives politiques qui favorisent les moins bons ou, plus généralement, l'efficacité du lobbying dont bénéficie tel ou tel projet. On aboutit alors à un programme réel d'investissement différent du programme optimal désigné par les indicateurs d'évaluation. L'objet de cet article est de proposer un indicateur synthétique d'efficacité du programme réel, permettant, en particulier, d'évaluer la perte de valeur par rapport à une programmation optimale.

Cela nécessite, bien entendu, que soit clairement définie cette programmation optimale, ce qui sera l'objet de la Section 2. Sur cette base, nous proposerons dans la Section 3 la définition d'un indicateur synthétique d'efficacité d'un programme réel. Pour éprouver une telle évaluation sur un programme réel de projets d'investissements, il convient évidemment de disposer des indicateurs relatifs à ces projets mais aussi aux projets qui n'ont pas été réalisés et qui sont candidats pour le programme optimal. Pour des raisons réglementaires qui seront précisées, il se trouve qu'un ensemble de projets d'investissements ferroviaires de la société nationale SNCF Réseau ont été évalués selon des règles homogènes sur une assez longue période. La base de données ainsi constituée sera présentée dans une Section 4. Cette base statistique nous permettra d'éprouver l'indicateur d'efficacité proposé et de présenter quelques résultats concrets dans une Section 5.

## **2. LA NOTION DE PROGRAMME OPTIMAL**

On ne peut définir l'efficacité d'un programme d'investissements que sur la base d'une fonction objectif clairement explicitée. Faut-il rechercher la meilleure rentabilité financière afin de minimiser les subventions ? Ou faut-il rechercher, dans la tradition de l'économie publique, une maximisation de la valeur actualisée nette socio-économique (VAN) ?

L'alternative est levée si l'on considère que la contrainte budgétaire a un caractère exogène, hypothèse de travail que nous retiendrons dans cet article. En effet, les investissements d'un réseau de transport sont rarement autofinancés et, dans la quasi-totalité des cas, requièrent un certain niveau de subvention. L'autorité publique qui apporte cette subvention attend en retour des externalités positives qui contribuent à la variation de la fonction de

bien-être<sup>2</sup>.

D'un point de vue théorique, la programmation optimale des investissements par la puissance publique est alors un exercice d'optimisation sous contrainte qui peut être formulé très simplement : *pour une durée de programmation donnée, il s'agit de déterminer, dans l'ensemble des projets candidats, ceux qui seront retenus ainsi que leur date de réalisation de sorte que, sous la contrainte du budget public disponible, la VAN socio-économique du programme ainsi établi soit maximisée.*

Dans ce problème de programmation, le taux de subvention joue évidemment un rôle majeur puisque ce sont les subventions qui vont saturer la contrainte budgétaire. Or pour chaque projet, ce taux de subvention résulte de la rentabilité financière intrinsèque du projet. Il ne s'agit donc pas de choisir entre le taux de rentabilité socio-économique (TRE) et le taux de rentabilité financière (TRI)<sup>3</sup>, mais de prendre en compte les deux dimensions du problème car si la fonction objectif, la VAN du programme, est socio-économique, la contrainte est financière. Il est aujourd'hui admis que *la solution est de choisir un ordre de réalisation des projets selon une valeur décroissante de leur ratio VAN/subvention.*

Pour préciser cela, il n'est pas inutile de rappeler ce qu'ont pu être les travaux et publications qui ont inspiré une inflexion très officielle des modes d'optimisation d'un programme dans les années 2000. Ce rappel a deux bonnes justifications. La première est que cette inflexion est passée inaperçue à l'extérieur de la sphère publique des initiés ; la seconde tient au fait que ces réflexions ont été très (trop) françaises. Ayant été pratiquement ignorées par la littérature anglo-saxonne, il en résulte une confusion systématique par nos collègues anglophones entre le choix d'une variante optimale d'investissement (donc entre investissements exclusifs) et la problématique de l'ordre optimal et des dates optimales de réalisation des projets (non exclusifs)<sup>4</sup>. Cela tient assez largement au fait qu'ils travaillent dans une culture qui n'est pas celle d'une programmation centralisée.

La première démonstration de ce principe d'optimisation (BONNAFOUS, JENSEN, 2005) a reposé sur des simulations numériques comparées pour un même ensemble de 17 projets autoroutiers qui étaient « candidats » (COMMISSARIAT GÉNÉRAL DU PLAN, 1993), en France, au début des années 90.

La comparaison de programmes concurrents a consisté à tester plusieurs ordres de réalisation des projets, en saturant chaque année la contrainte budgétaire qui, par hypothèse de travail, est exogène : l'ordre des TRE socio-

---

<sup>2</sup> Tout lecteur ayant une certaine expérience en la matière reconnaîtra que cette hypothèse de travail correspond le plus souvent à la réalité des choses.

<sup>3</sup> Le TRE et le TRI correspondent respectivement aux concepts anglo-saxons de ERR (*Economic Rate of Return*) et de IRR (*internal rate of return*).

<sup>4</sup> Nous disposons de plusieurs traces de cette confusion dans des rapports de « referees », erreur généralement reconnues après explication par les « editors ».

économiques décroissants, puis l'ordre des TRI financiers décroissants et l'ordre selon une valeur décroissante du ratio VAN/subvention<sup>5</sup>. La fonction objectif, qui est évidemment la valeur actualisée nette du programme ainsi obtenu, est calculée dans chaque cas. L'exercice est réalisé pour différents niveaux de contrainte budgétaire.

Un premier résultat contre-intuitif a consisté à observer qu'un programme de réalisation des projets selon l'ordre des rentabilités financières (TRI) décroissantes apporte une VAN globale supérieure à celle du programme ordonné selon les rentabilités socio-économiques (TRE) décroissantes. L'explication est simple : les projets classés selon le critère du TRI décroissant sont réalisés à un rythme plus élevé car leur bonne rentabilité financière fait qu'ils consomment moins de subvention. A dépense publique équivalente, la production de VAN socio-économique est ainsi plus élevée. De plus, le rendement social du programme de projets est d'autant plus clairement amélioré par le critère du TRI financier que la contrainte budgétaire est resserrée.

Un deuxième résultat moins surprenant mais fondamental confirme que l'ordre de réalisation selon les valeurs décroissantes du ratio VAN/subvention améliore encore la VAN des programmes, quel que soit le niveau de la contrainte budgétaire. A défaut d'une démonstration établie dans la littérature lorsque ce résultat a été présenté, les auteurs ont proposé une vérification de ce que cet ordre de programmation déterminait bien le programme optimal.

Sachant qu'un ensemble de 17 projets peut donner lieu à 17! permutations possibles (environ  $10^{34}$ ), la recherche de l'ordre optimal a été conduite à l'aide d'un algorithme lourd d'exploration numérique utilisés par les physiciens lorsqu'ils sont confrontés à une telle complexité. Les programmes explorés saturent, bien entendu, la contrainte de financement public. Ces simulations ont déterminé un optimum numérique qui correspond à un programme systématiquement identique à celui du ratio VAN/subvention ce qui conforte le principe aujourd'hui reconnu de *value for money*. Ces résultats sont illustrés par la Figure 1 qui représente en abscisse différents niveaux de contrainte financière autour d'une valeur moyenne  $\langle F \rangle$  empiriquement observée et en ordonnée le gain de VAN supplémentaire qu'apporte un programme par rapport à celui des TRE socio-économiques décroissants.

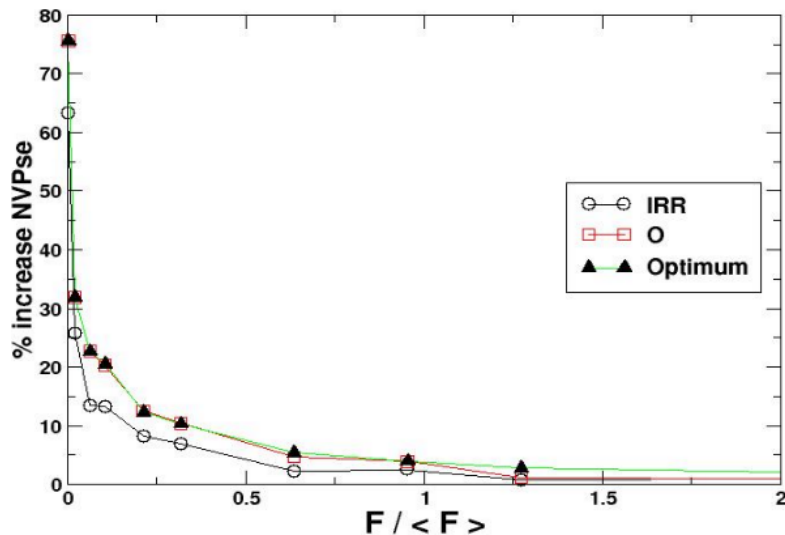
Cette référence de l'ordre décroissant des TRE n'est pas un hasard car il était celui qui inspirait les recommandations du COMMISSARIAT GÉNÉRAL DU PLAN (1993 ; 1999). Le premier document officiel qui a proposé le ratio VAN/subvention a été le rapport LEBÈGUE (COMMISSARIAT GÉNÉRAL DU PLAN, 2005) connu pour avoir suggéré un abaissement de 8 à 4 % du taux d'actualisation du Plan. Cette suggestion, que devait suivre le gouvernement, avait pour conséquence de multiplier les projets dont le TRE était nettement supérieur à ce taux d'actualisation du Plan et qui de ce fait étaient réputés rentables en raison d'une VAN positive. Pour faire le tri au sein de cette ava-

---

<sup>5</sup> Dans le cadre des recherches conduites à ce moment là, des simulations ont aussi été faites sur un ordre aléatoire, soit alphabétique et alphabétique inverse (BRUNEL, 2003).

lanche de projets tout en prenant en compte les travaux que nous évoquons, la recommandation de l'ordre décroissant du ratio VAN/subvention a été intégrée au rapport et, comme nous le verrons, suivie d'effet dans la directive ministérielle.

Figure 1 : Gain d'utilité collective par rapport à un programme réalisé sous contrainte financière selon des TRE décroissants lorsque l'ordre est basé sur : la rentabilité financière décroissante (IRR) ; - la meilleure simulation numérique (o) ; le ratio décroissant VAN/subvention (Optimum)



Source : BONNAFOUS, JENSEN, 2005

Revenons à nos résultats pour observer que les gains de valeur apportés par l'ordre de la rentabilité financière décroissante, comme les gains supérieurs encore avec l'ordre du ratio *value for money* décroissant, sont d'autant plus importants que la contrainte financière est forte, ce qui constitue un résultat crucial pour les pays en développement.

Une démonstration formalisée de ce résultat a été proposée par ROY qui dans sa forme complète (ROY, 2005) repose sur des hypothèses peu contraignantes. Cette démonstration a été reprise dans diverses publications (BONNAFOUS et alii, 2006). Elle démontre que l'ordre décroissant du ratio VAN/subvention est bien le critère de hiérarchisation des projets qui maximise la fonction de bien-être globale sous la contrainte budgétaire. Cette démonstration est rappelée en Annexe 2 sous une forme simplifiée, d'autant qu'elle permet de situer rigoureusement le concept de coefficient de rareté des fonds publics (au sens de la variable duale de la contrainte budgétaire).

Signalons que ces travaux ont donné lieu à quelques controverses théoriques au moment de leur publication et de leur prise en compte dans le rapport LEBÈGUE. Elles ont porté, pour une part, sur une étrange mise en cause de la fonction standard de bien-être du calcul économique (KOPP, PRUD'HOMME, 2006 ; BONNAFOUS, 2006). Les discussions théoriques les plus importantes ont

été explicitées par MAURICE (2006 ; 2007). Ces péripéties sont également évoquées par BONNAFOUS (2011).

L'épilogue de ces débats est résumé par ROY, dans la note où il a établi sa démonstration théorique (2005) et où il signale que « *le ministère français des transports vient d'être convaincu puisqu'il a publié une lettre le 27 mai 2005 portant mise à jour de l'instruction-cadre du 25 mars 2004* » et où il cite la phrase qui officialise le changement : « *afin de tirer le meilleur parti d'un financement public limité, la règle de classement des projets doit être non pas le bénéfice actualisé induit par le projet, mais le bénéfice actualisé par euro public dépensé* ». Relevons que la mise à jour récente de l'instruction cadre (DGITM, 2016) confirme clairement ce principe.

### 3. UN INDICATEUR EX POST D'EFFICIENCE D'UN PROGRAMME D'INVESTISSEMENTS

Dès lors qu'une norme réputée optimale est établie, dont nous avons observé qu'elle est une expression démontrée du critère de *value for money*, il en découle une proposition d'indicateur synthétique d'efficacité. Sa formulation théorique a été proposée en 2014 dans une Table Ronde ITF-OCDE<sup>6</sup> (BONNAFOUS, CROZET, 2014). Il est en effet aisé d'établir un programme virtuel optimal pour une période donnée, par exemple pour une durée de cinq ans ou six ans, qui est une période courante en France pour des programmes d'investissements dépendants d'une autorité publique. Pour une période donnée, nous supposons que sont connues :

- la série chronologique des montants de subvention qui sont chaque année consacrés à ces investissements ;
- la série chronologique des VAN socio-économiques ainsi produites.

Le décideur a eu à choisir parmi  $n$  projets  $i$ , caractérisés par leur valeur actualisée nette  $\Delta W_i$  et leur besoin de subvention  $Sub_i$ . Sous la contrainte du budget  $B_t$  limitant les dépenses publiques à l'année  $t$ , la valeur du gain  $\Delta W$  dégagée par l'ensemble des projets réalisés peut alors s'écrire :

$$\Delta W(x) = \sum_{i=1}^n x_{it} \Delta W_i \tag{1}$$

avec  $B_t = \sum_{i=1}^n x_{it} Sub_i$

Les  $x_{it}$  sont des variables qui ont une valeur nulle lorsque le projet n'est pas réalisé à l'année  $t$  et égale à l'unité lorsque le projet est réalisé cette année là.

Notons qu'en toute rigueur, nous devrions raisonner sur des valeurs  $\Delta W_{it}$  et  $Sub_{it}$ , qui tiennent compte de l'évolution chronologique de ces variables, comme le fait ROY dans sa démonstration la plus générale (2005). Cela rendrait plus pertinente notre proposition théorique d'indicateur mais poserait (en particulier dans la section suivante) un problème de mesurabilité. En effet, qu'il s'agisse de projets ferroviaires ou routiers, les évaluations sont

<sup>6</sup> Table ronde consacrée à *Efficiency in Railway Operations and Infrastructure Management*.

généralement actualisées à l'année de mise en service et, pour un ensemble de projets, la pratique la plus fréquente consiste à retenir une même date de mise en service. Par simplification, dans le cadre de cette simulation, nous supposons donc que les indicateurs  $\Delta W_{it}$  et  $Sub_{it}$  sont constants pendant la durée du programme mais modifions les conditions d'actualisation pour tenir compte d'un décalage dans la date de réalisation du projet<sup>7</sup>.

L'erreur qui pourrait être induite par cette simplification ne pourrait résulter que d'évolutions très contrastées dans les paramètres qui caractérisent l'économie des projets, ce qui n'est pas fréquent. Nous admettons que cette approximation, qui consiste à supposer, au facteur d'actualisation près, inchangés les  $\Delta W_i$  et  $Sub_i$  pendant la durée du programme, ne peut induire que des erreurs de second ordre par rapport au pouvoir séparateur des évaluations (réalisées en euro constant).

Sous cette hypothèse, la valeur de  $\Delta W(x)$  observée pour la période de programmation, est évidemment à comparer à la valeur de  $W$  qui serait dégagée par un programme optimal soit  $W_o$ . Ce programme optimal s'établit aisément en supposant les projets réalisés dans l'ordre décroissant du ratio  $\Delta W_i/Sub_i$  et en saturant chaque année la contrainte budgétaire  $B_t$ .

On peut alors définir un indicateur global d'efficacité du programme par la relation :

$$IGE = W(x)/W_o \quad (2)$$

Cet *indicateur* peut aussi bien caractériser l'efficacité des investissements réalisés sur la durée du programme, en faisant ressortir *ex post* la perte de valeur par rapport à ce qu'aurait été un programme optimal, que caractériser l'efficacité mesurée *ex ante* d'un programme prévu pour une période donnée. Dans ce dernier cas, on pourrait imaginer qu'une valeur minimale lui soit assignée compte tenu du fait que les priorités ne sont pas exclusivement déterminées, comme nous l'avons indiqué, par l'unique objectif de création de valeur.

#### 4. UNE BASE DE DONNÉES POUR UNE VALIDATION EMPIRIQUE

Derrière l'apparente simplicité des données nécessaires pour un exercice empirique, il y a quelques conditions à respecter qui ne sont pas fréquemment réunies. Il convient en effet que, pour une période de planification donnée, on puisse disposer pour chaque projet candidat  $i$ , des valeurs numériques de sa valeur actualisée nette  $\Delta W_i$  et de la subvention nécessaire à son financement  $Sub_i$ . Il convient, en outre que ces valeurs aient été estimées

<sup>7</sup> On peut illustrer cette simplification en prenant le cas d'un projet, par exemple celui qui correspond au n° 29 dans le tableau de l'Annexe 1. Ce projet se caractérise par un surplus social de 188,3 M€2012 (actualisé en 2012) s'il était réalisé en 2012. Si, compte tenu des critères de hiérarchisation retenus le projet était réalisé en 2013 et non en 2012, il produirait un surplus non plus de 188,3 M€2012 mais un surplus moindre, compte tenu du décalage d'un an de sa mise en service. Ce surplus serait égal à  $188,3/(1+4,5\%)$  soit 180,2 M€2012 (actualisé en 2012).

d'une manière identique pour tous les projets. Ces conditions sont, en fait, assez rarement réunies, s'agissant d'un grand nombre de projets candidats, considérés dans la durée.

Pour ce qui va suivre, nous bénéficierons des conséquences de la réforme du système ferroviaire français de 1997. Une règle de maîtrise de l'endettement du secteur ferroviaire a en effet été imposée par le décret fondateur de Réseau Ferré de France (RFF), la société propriétaire de l'infrastructure devenue SNCF-Réseau. Ce texte prévoyait que « *RFF ne peut accepter un projet d'investissement sur le réseau ferré national, inscrit à un programme à la demande de l'État, d'une collectivité locale ou d'un organisme public local ou national, que s'il fait l'objet de la part des demandeurs d'un concours financier propre à éviter toute conséquence négative sur les comptes de RFF sur la période d'amortissement de cet investissement* ». Cette disposition est souvent désignée par l'intitulé « article 4 » en référence à un article du décret qui a imposé cette règle en 1997. On trouvera ainsi sur le tableau de l'Annexe 1 une colonne « Art. 4 » où se trouve reporté le montant du financement que peut assurer le gestionnaire de l'infrastructure en respectant cette règle. La colonne suivante indique le pourcentage de financement du projet qui est ainsi apporté.

Cela signifie que chaque projet doit faire l'objet d'une évaluation qui permette de déterminer sa rentabilité financière dont résulte le montant que le gestionnaire de l'infrastructure (RFF, et aujourd'hui SNCF-Réseau) est susceptible d'engager et par conséquent la subvention nécessaire pour compléter ce financement. La recette nette du projet augmentée de cette subvention doit, en somme, couvrir le coût moyen pondéré du capital (CMPC).

Pour fixer les idées, si les taux de long terme sont de 4 % sur le marché financier<sup>8</sup> et si la prime de risque est estimée à 4 % également, on considère que le CMPC est de 8 % pour la part de financement engagée par l'opérateur public. Pour respecter les règles qui lui sont imposées, le gestionnaire de l'infrastructure ne peut ainsi engager un projet que si son taux de rentabilité financière est au moins égal à 8 %. Pour toute valeur inférieure, une subvention compensatoire est requise afin que ce seuil soit atteint. Cette subvention est également reportée sur le Tableau de l'Annexe 1.

A cette obligation d'une évaluation financière particulièrement rigoureuse de chaque projet s'ajoute une évaluation de la rentabilité socio-économique dont les modalités sont imposées au gestionnaire de l'infrastructure. Pour chaque projet, le décret fondateur du gestionnaire d'infrastructure ferroviaire français rend obligatoire le calcul de la valeur actualisée nette et du ratio VAN/subvention. Les méthodes de ce calcul doivent être conformes aux instructions fixées par le ministère en charge des transports.

Nous disposons ainsi d'un échantillon de 39 projets d'investissement ayant

---

<sup>8</sup> Nous retenons, à titre d'exemple, des ordres de grandeur qui correspondent à la situation du premier semestre 2012 dans un pays coté AAA ou AA+ et pour des emprunts de longue maturité (20 à 35 ans, voire 40 ans).



pu faire l'objet d'une évaluation financière et d'une évaluation de la rentabilité socio-économique entre 2007 et 2013. Les méthodes de ce calcul doivent être conformes aux instructions fixées par le ministère en charge des transports. Ces données correspondent à des mises en service étalées entre 2010 et 2021. Dans les catégories administratives il s'agit de projets inclus dans des contrats de plan entre l'Etat et les régions (CPER).

Ces 39 projets sont rendus anonymes dans cet article afin de protéger notre exercice de toute considération locale ou de réactions intempestives des régions concernées dont il faut se souvenir qu'elles cofinancent ces investissements. Notons enfin que les dates de mise en service sont les dates réelles jusqu'en 2015 et les dates programmées au-delà.

Il est important de noter que cet échantillon de projets ferroviaires a l'avantage de présenter des évaluations fondées sur une même méthodologie et, évidemment, sur des hypothèses homogènes dont on sait qu'elles pèsent sur les prévisions de trafic et donc sur l'évaluation. Cependant, si ces dossiers ont fait l'objet d'évaluations complètes, c'est aussi parce que les projets correspondants ont été inscrits dans les CPER, ce qui signifie que leur réalisation a été programmée. Nous ne nous trouvons pas dans une configuration « normale » dans laquelle un programme serait la chronologie d'une sélection de projets parmi un ensemble large de projets candidats.

Pour mener à bien notre exercice, nous ferons « comme si » un programme consistait à évincer certains projets, c'est-à-dire que nous considérerons l'ensemble des projets programmés jusqu'en 2020, mais nous ne traiterons que des programmes (réels ou supposés) de 2010 à 2016.

## 5. APPLICATION EMPIRIQUE

Pour calculer l'indicateur global d'efficacité d'un programme, c'est à dire l'IGE défini en fin de Section 3, nous devons calculer la valeur actualisée nette du programme optimal selon la définition que nous lui avons donnée, c'est-à-dire un ordre de réalisation, sous contrainte budgétaire, selon des valeurs décroissantes du ratio VAN/Subvention.

Nous avons donc établi ce programme optimal selon l'algorithme particulièrement simple suivant :

- 1) La somme des subventions des projets mis en service à l'année  $t$  définit la contrainte budgétaire  $B_t$ , conformément à la deuxième équation du système (1).
- 2) Les projets sont supposés réalisés selon l'ordre décroissant du ratio VAN/Subvention en utilisant chaque année  $t$  le maximum possible des subventions  $B_t$  réputées disponibles.
- 3) Lorsque la contrainte  $B_t$  n'est pas saturée, c'est-à-dire qu'elle pourrait être dépassée par le dernier projet considéré, ce projet est supposé reporté en  $t+1$  et la part non utilisée de  $B_t$  est ajoutée à  $B_{t+1}$ .
- 4) La série chronologique des VAN ainsi produites fait l'objet d'une actualisation à la première année du programme.

Le programme optimal est ainsi établi de 2010 à 2016, c'est-à-dire une période pour laquelle les investissements du programme réel (désigné par CPER ci-après) ont été mis en service ou sont en cours de réalisation. On obtient ainsi un programme dont la VAN globale est de 1 270 millions d'euros alors que la VAN du programme réel sur cette période n'est que de 110 millions d'euros. Cela correspond à une IGE de 9 % seulement.

Il est clair que ce résultat qui suggère une importante destruction de valeur par rapport à ce qui aurait pu être réalisé s'explique en grande partie par la présence, dans le programme CPER, d'investissements dont la VAN est négative. Si l'on simule, sous la même contrainte budgétaire, le programme du CPER en supprimant les investissements dont la VAN est négative, le résultat est beaucoup moins spectaculaire car la VAN s'élève à 1 175 millions d'euros, ce qui correspond à un IGE de 92 %.

Ces résultats sont récapitulés dans le Tableau 1. Ils nous suggèrent qu'à défaut de programmation optimale, une exigence minimale sur la rentabilité socio-économique des projets sélectionnés, par exemple l'exigence d'une VAN positive, serait de nature à améliorer considérablement l'efficacité de la politique d'investissement. C'est ainsi que la RFA pratique, par exemple, pour la programmation de ses investissements de transport avec une valeur minimale du ratio VAN/subvention.

*Tableau 1 : Indice Général d'Efficacité pour 3 programmes*

	Programme optimal	CPER	CPER avec VAN >0
VAN du programme	1 270	110	1 175
IGE du programme (%)	100	9	92

Au passage, il convient de noter un aspect des choses qui ne saute pas aux yeux dès lors que nous traitons les projets de manière anonyme. Il y a, en effet, davantage de projets réalisés en suivant l'ordre de réalisation des CPER et ils sont répartis dans un plus grand nombre de régions. Une programmation optimale du point de vue socio-économique aurait donc tendance à privilégier les régions denses (en l'espèce, des régions comme l'Île-de-France, l'Alsace, la Lorraine, Rhône-Alpes, ou le littoral méditerranéen), et la programmation des CPER présenterait en revanche plus de diffusion territoriale. Cela est assez naturel dans la logique de contrats entre l'État et des régions, chacune d'elles souhaitant bénéficier du dispositif, même si l'investissement n'est guère créateur de valeur.

Relevons enfin que cet exercice a été contraint par les données disponibles. Comme nous l'avons signalé en fin de Section 4, l'ensemble de projets sur lequel nous avons réalisé cet exercice est un ensemble de projets effectivement programmés. Or l'approche méthodologique proposée ne trouverait son plein intérêt que si elle était expérimentée sur un ensemble plus large de projets candidats, de manière à confronter la programmation réelle à un univers de choix plus pertinent.

## 6. CONCLUSION

La programmation optimale des investissements de transport n'a pas fait l'objet d'une importante littérature, et dans la pratique, la question est rarement posée. Les résultats de l'analyse socio-économique, dans les pays « vertueux » qui la pratiquent, sont rarement utilisés pour comparer les projets entre eux et encore moins pour évaluer la destruction de valeur liée à la réalisation d'un programme d'investissements sous-optimal.

Le présent article, dans la continuité de travaux antérieurs, souligne l'enjeu d'une programmation optimale des investissements, en proposant un indicateur qui permet d'évaluer l'écart de valeur pour la collectivité entre un programme d'investissements optimal, les investissements étant réalisés dans l'ordre décroissant du ratio VAN/Subvention, et un programme répondant à d'autres critères (par exemple une contrainte politique).

Le test de cette méthode sur un ensemble de 39 projets ferroviaires français met en évidence la perte de valeur considérable liée à une programmation sous-optimale des investissements, avec un écart de 10 à 1 pour la création de valeur. De nombreuses raisons peuvent contribuer à justifier le choix et l'ordre de réalisation réel des investissements -volonté d'aménagement du territoire, équité entre régions, enjeux stratégiques, etc.- et par ailleurs cet écart tient à la réalisation des quelques projets particulièrement destructeurs de valeur.

Pour autant, dans un contexte de contrainte budgétaire de l'État et des collectivités locales de plus en plus vive, et alors que la gouvernance du système ferroviaire impose l'élaboration concertée de programmes d'investissement de long terme<sup>9</sup>, le test de l'indicateur synthétique proposé souligne l'enjeu d'une meilleure prise en compte de l'analyse socio-économique dans la décision publique, reposant sur une approche globale du portefeuille de projets.

## RÉFÉRENCES

ABRAHAM C., LAURE A. (1959) Étude des programmes d'investissement routiers. **Annales des Ponts et Chaussées**, novembre-décembre.

BERTONÈCHE M., LANGOHR H. (1977) Le choix des investissements en situation de rationnement de capital. Comparaison des solutions fournies par différents modèles théoriques. **Revue Économique**, Vol. 28, n° 5, pp. 730-764.

---

<sup>9</sup> La loi de réforme du système ferroviaire du 4 août 2014 prévoit en effet la publication d'un Rapport Stratégique d'Orientations par l'État, soumis pour avis au Haut Comité du Système de Transport Ferroviaire, instance consultative rassemblant l'ensemble des parties prenantes. Ce rapport sert de base à l'élaboration du contrat pluriannuel entre l'État et SNCF Réseau, qui précise la trajectoire d'investissement et la trajectoire financière de l'établissement public. La loi du 4 août 2014 transpose en cela les dispositions de la directive 2012/34 prévoyant l'élaboration par l'État d'une « stratégie de réseau » concertée précisant les investissements attendus et leur financement.

BONNAFOUS A. (2006) Projets en PPP et choix des investissements- Commentaires sur l'article de P. Kopp et R. Prud'homme. **Revue d'Économie Politique**, Vol. 116, n° 6, pp. 871-877.

BONNAFOUS A. (2011) La tarification optimale dans un programme d'infrastructures en PPP. **Revue économique**, Vol. 62, n° 5, pp. 813-834.

BONNAFOUS A., CROZET Y. (2014) Efficiency indicators of Railways in France. Report for the **Roundtable ITF-OCDE on Efficiency in Railway Operations and Infrastructure Management** (18-19 November). Paris, OECD.

BONNAFOUS A., JENSEN P. (2005) Ranking Transport Projects by their Socio-economic Value or Financial Interest Rate of Return? **Transport Policy**, Vol. 12, n° 2, pp. 131-136.

BONNAFOUS A., JENSEN P., ROY W. (2006) Le cofinancement usager-contribuable et le partenariat public-privé changent les termes de l'évaluation des programmes d'investissement public. **Économie et Prévision**, 4-5, pp. 175-176.

BRUNEL J. (2003) L'influence de l'ordre de réalisation des infrastructures de transport : une simulation. Lyon, LET (<http://halshs.ccsd.cnrs.fr/halshs-00003980>).

COMMISSARIAT GÉNÉRAL DU PLAN (1993) **Transports : pour une cohérence stratégique**. Atelier sur les orientations stratégiques de la politique des transports et leurs implications à moyen terme, présidé par A. BONNAFOUS, CGP.

COMMISSARIAT GÉNÉRAL DU PLAN (1999) **2000-2006 : Quelles Priorités pour les infrastructures de transport**. Atelier sur les orientations stratégiques de la politique des transports et leurs implications à moyen terme, présidé par A. BONNAFOUS, CGP.

COMMISSARIAT GÉNÉRAL DU PLAN (2005) **Révision du taux d'actualisation des investissements publics**. Présidé par D. LEBÈGUE, La Documentation Française.

CROZET Y., NASH C., PRESTON J. (2012) **Beyond the quiet life of a natural monopoly: Regulatory challenges ahead for Europe's rail sector**. Brussels, CERRE, Policy paper, 24 p. (<http://www.cerre.eu/new-policy-paper-regulatory-challenges-ahead-europes-rail-sector>).

DGITM (2016) **Le référentiel d'évaluation des projets de transport**. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/evaluation-des-projets-transport>

EPFL (2012) **Rapport pour RFF, Audit sur l'état du réseau (Audits Rivier revisités) par Y. PUTALLAZ et P. TZIEROPOULOS**. Lausanne, Doc LITEP 346-03, 33 p.

EUROPEAN COMMISSION (2001) **White Paper-European Transport Policy for 2010: Time to Decide**. COM(2001)370 ([http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/doc/2001\\_white\\_paper/lb\\_com\\_2001\\_0370\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/doc/2001_white_paper/lb_com_2001_0370_en.pdf)).

EUROPEAN COMMISSION (2011) **White Paper, Roadmap to a Single European Transport Area-Towards a Competitive and Resource Efficient Transport System**. COM(2011)144 (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:EN:PDF>).

KOPP P., PRUD'HOMME R. (2006) Projets en PPP, contrainte budgétaire et choix des investissements. **Revue d'Économie Politique**, Vol. 116, n° 5, pp. 601-611.

LANGLOIS G., MOLLET M. (1999) **Gestion financière**. Fouchet (2<sup>ème</sup> éd.).

MAURICE J. (2006) **Codicille sur la VAN par euro public**. Note de travail.

MAURICE J. (2007) Choix des projets sous contrainte budgétaire annuelle : essai de récapitulation. In MAURICE J., CROZET Y. (dir.) **Le calcul économique dans le processus de choix collectif des investissements de transport**. Economica.

MAURICE J., CROZET Y. (2007) **Le calcul économique dans le processus de choix collectif des investissements de transport**. Economica, 454 p.

MAURICE J., QUINET E., SAUVANT A. (2006) Optimisation et décentralisation des programmes d'investissements de transport. **Economie et Prévision**, n° 4-5 (175-176), pp. 31-50.

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT (2004 et 2005) **Instruction cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport**. 25 mars 2004 (mise à jour le 27 mai 2005).

ROY W. (2005) Évaluation des programmes d'infrastructure : Ordre optimal de réalisation sous contrainte financière. Lyon, LET, document de travail (<http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00003971>).

## ANNEXES

## ANNEXE 1 : PRINCIPAUX INDICATEURS ÉCONOMIQUES DES PROJETS CONSIDÉRÉS

Projet	année de mise en service	socioéco (€2012)		financement (€2012)			
		VAN (M€) avec COFP	TRE	INVE S. (M€)	Art 4 (M€)	%Part.	Subv. (M€)
1	2010	-10,3	3,0%	47,9	2,0	4,2%	45,9
2	2011	35,1	4,2%	458,6	65,4	14,3%	393,2
3	2012	-6,0	1,7%	14,6	4,1	28,0%	10,5
4	2012	-15,8	1,5%	31,2	3,6	11,5%	27,6
5	2012	9,1	4,5%	54,1	3,8	7,0%	50,3
6	2013	-136,1	2,1%	74,3	12,6	17,0%	61,7
7	2013	-54,8	-3,3%	27,5	0,6	2,0%	27,0
8	2013	-55,2	-5,4%	52,9	7,2	13,5%	45,7
9	2013	-113,8	0,7%	134,9	3,9	2,9%	131,0
10	2013	50,0	7,8%	32,9	2,5	7,7%	30,4
11	2013	240,9	6,4%	182,7	47,4	25,9%	135,3
12	2014	12,8	6,0%	26,5	5,1	19,3%	21,4
13	2014	21,2	5,2%	23,9	4,4	18,4%	19,5
14	2015	-71,6	-2,2%	68,5	5,2	7,6%	63,3
15	2015	-91,8	0,6%	92,7	2,0	2,1%	90,7
16	2015	23,5	5,9%	58,4	37,2	63,6%	21,2
17	2015	-18,9	3,0%	59,0	3,0	5,1%	56,0
18	2015	-38,0	-1,0%	50,5	6,6	13,1%	43,8
19	2015	128,2	5,1%	223,2	41,5	18,6%	181,7
20	2015	25,3	5,0%	142,2	3,9	2,7%	138,4
21	2015	-55,7	-0,3%	51,7	0,0	0,0%	51,7
22	2015	-45,4	-	91,2	0,0	0,0%	91,2
23	2015	41,7	4,7%	88,6	4,5	5,1%	84,1
24	2015	20,9	9,2%	29,4	4,6	15,8%	24,8
25	2015	-5,2	2,6%	24,5	1,2	5,0%	23,3
26	2016	41,3	5,1%	87,8	15,5	17,7%	72,3
27	2016	-59,9	0,7%	57,2	0,0	0,0%	57,2
28	2016	60,7	10,7%	49,9	16,7	33,5%	33,2
29	2017	188,3	10,4%	78,9	20,6	26,2%	58,3
30	2017	-102,0	2,5%	264,8	9,8	3,7%	255,0
31	2018	62,0	5,1%	88,7	16,8	18,9%	71,9
32	2019	-47,1	0,3%	64,2	2,3	3,6%	61,9
33	2019	155,1	4,7%	267,8	20,4	7,6%	247,5
34	2020	57,5	6,7%	48,0	1,5	3,2%	46,5
35	2020	5,6	5,2%	16,3	0,3	1,9%	15,9
36	2020	-66,0	3,1%	279,1	-65,0	-23,3%	344,1
37	2020	-4,3	3,6%	95,6	11,6	12,1%	84,0
38	2020	-445,3	0,6%	194,9	5,0	2,6%	189,8
39	2021	14,3	4,2%	39,7	5,7	14,3%	34,0

**ANNEXE 2 : DÉMONSTRATION FORMELLE DE L'ORDRE OPTIMAL  
DE RÉALISATION DES PROJETS**

Le modèle théorique qu'a établi William ROY (2005) est formellement proche du programme du consommateur pour des biens discrets. Supposons que le décideur ait à choisir parmi  $n$  projets  $i$ , caractérisés par leur valeur actualisée nette  $\Delta U_i$  et leur besoin de subvention  $Sub_i$ , avec  $\Delta u_i > 0$  et  $Sub_i > 0 \forall i=1, \dots, n$ . La fonction objectif est la fonction de bien-être  $W$  dégagée par l'ensemble des projets, sous la contrainte du budget  $B$  limitant les dépenses publiques. Le programme d'optimisation peut alors s'écrire :

$$\begin{aligned} \underset{x}{\text{Max}} \quad & W(x) = \sum_{i=1}^n x_i \Delta U_i \\ \text{Avec} \quad & \begin{cases} B - \sum_{i=1}^n x_i \Delta U_i \geq 0 \\ x_i \geq 0, \forall i=1, \dots, n \\ 1 - x_i \geq 0, \forall i=1, \dots, n \end{cases} \end{aligned}$$

Les paramètres  $x_i$  sont des variables continues, qui ont une valeur nulle lorsque le projet n'est pas réalisé et égale à l'unité lorsque le projet est réalisé en totalité. Nous supposons qu'il est possible de réaliser partiellement le projet  $k$ , le paramètre  $x_k$  étant alors compris entre 0 et 1.

Le vecteur solution  $x^*$  est ainsi constitué d'un ensemble de valeurs 1 (projets à réaliser), d'un ensemble de valeurs 0 (projets à ne pas réaliser), et d'une valeur comprise entre 0 et 1 pour le projet « limite »  $k$  (qui a de très fortes chances de ne pas être terminé si la contrainte est forte). En supposant que les projets sont ordonnés selon leur priorité de réalisation, on peut écrire ce vecteur solution :

$$x^* = \left[ \underbrace{1, \dots, 1}_{\text{projets acceptés}}, x_k, \underbrace{0, \dots, 0}_{\text{projets rejetés}} \right]$$

Le Lagrangien du problème d'optimisation s'écrit :

$$\begin{aligned} L(x_1, \dots, x_n, \varphi, \alpha_1, \dots, \alpha_n, \beta_1, \dots, \beta_n) = \\ \sum_{i=1}^n x_i \Delta U_i + \varphi (B - \sum_{i=1}^n x_i Sub_i) + \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_i (1 - x_i) \end{aligned}$$

Les conditions de KUHN et TUCKER impliquent qu'à l'optimum :

- .  $\Delta U_i - \varphi Sub_i + \alpha_i - \beta_i = 0, \forall i=1, \dots, n$
- .  $\varphi (B - \sum_{i=1}^n x_i Sub_i) = 0$
- .  $\alpha_i x_i = 0$  et  $\beta_i (1 - x_i) = 0, \forall i=1, \dots, n$

L'interprétation économique de cette optimisation est simple :  $\varphi$  est la variation de surplus collectif induite par un desserrement de la contrainte de disponibilité des fonds publics. Étant égal au montant maximum de surplus que la collectivité peut espérer obtenir avec une unité budgétaire supplé-

mentaire,  $\varphi$  représente le coefficient de rareté des fonds publics appelé un peu abusivement « coût d'opportunité des fonds publics ». Il est important de distinguer ce coût d'opportunité du coût social des fonds publics (*shadow cost of public funds*) qui résulte des coûts du prélèvement par l'impôt et des distorsions de prix associés au prélèvement fiscal d'une unité supplémentaire. Ce n'est donc pas un hasard si nous dénommons  $\varphi$  coefficient de rareté : valeur duale de la contrainte budgétaire, il est bien le « prix » et le signal de la rareté des fonds publics.

Pour les projets acceptés (indités  $j$ ), les conditions de KUHN et TUCKER impliquent :

- . que la contrainte «  $x_i \geq 0$  » n'est pas saturée, on a donc  $\alpha_j = 0$
- . que la contrainte «  $1 - x_i \geq 0$  » est saturée, on a donc  $\beta_j > 0$

$$\text{D'où } \Delta U_j - \varphi \text{ Sub}_j > 0 \Leftrightarrow \frac{\Delta U_j}{\text{Sub}_j} > \varphi$$

L'ensemble des projets acceptables est ainsi composé de ceux ayant un ratio  $\frac{\Delta U_j}{\text{Sub}_j}$  supérieur au coût d'opportunité de l'argent public  $\varphi$ .

Pour les projets (indités  $l$ ) rejetés ou différés, les conditions d'optimisation impliquent :

- . que la contrainte «  $x_i \geq 0$  » est saturée, on a donc  $\alpha_l > 0$
- . que la contrainte «  $1 - x_i \geq 0$  » n'est pas saturée, on a donc  $\beta_l = 0$

$$\text{D'où } \Delta U_l - \varphi \text{ Sub}_l > 0 \Leftrightarrow \frac{\Delta U_l}{\text{Sub}_l} < \varphi$$

Au total, les projets indités  $j$  retenus et les projets indités  $l$  non retenus vérifient la relation fondamentale :

$$\frac{\Delta U_j}{\text{Sub}_j} > \varphi > \frac{\Delta U_l}{\text{Sub}_l}$$

Les projets acceptés doivent toujours avoir un ratio  $\Delta U/\text{Sub}$  supérieur à celui des projets rejetés. On retrouve ainsi la « démonstration » par simulation numérique présentée dans la section 2.2. : y compris si le décideur ignore  $\varphi$ , il doit choisir en priorité les projets disposant d'un ratio « utilité collective par *public subsidy* investi » le plus élevé. Ce résultat confirme les simulations de 2005 de BONNAFOUS et JENSEN, et l'intuition maintenant acceptée de l'efficacité du critère de la *Value for Money*.