



Munich Personal RePEc Archive

Public expenditure and economic growth in Algeria: approach by optimal control model

KACI, Said and ACHOUCHE, Mohamed

Université Abderahmane Mira de Bejaia

22 December 2015

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/68499/>
MPRA Paper No. 68499, posted 22 Dec 2015 15:37 UTC

Public expenditure and economic growth in Algeria: approach by optimal control model.

Said KACI and Mohamed ACHOUCHE

Université Abderahmane Mira-Bejaia

22. December 2015

Dépenses publiques et croissance économique en Algérie : approche par un modèle de contrôle optimal.

Said KACI

Département d'économie, laboratoire d'économie et développement, faculté des sciences économiques, commerciales et des sciences de gestion, université A Mira de Bejaia.

said.kaci87@gmail.com

Mohamed ACHOUCHE

Département d'économie, laboratoire d'économie et développement, faculté des sciences économiques, commerciales et des sciences de gestion, université A Mira de Bejaia.

achouchemohamed@yahoo.fr

Résumé

Dans ce papier, on utilise un modèle de contrôle optimal pour apprécier l'effet permanent des dépenses publiques sur le revenu national et ses composantes en Algérie. Les trajectoires optimales, que forment les séquences des variables étudiées, sont établies via une simulation sur un modèle à base d'un algorithme élaboré par Kendrick (1982). Les principaux résultats caractérisent une dynamique de long terme qui n'est soutenable qu'avec des efforts affirmés en termes de dépenses publiques; i.e une soutenabilité qui doit s'inscrire dans l'ambition de renforcer le tissu de l'offre en vue d'une dynamique de croissance endogène.

Mots clés : dépenses publiques, croissance économique, modèle de contrôle optimal, Algérie.

Classification JEL : C61, E21, H50, O40.

Public expenditure and economic growth in Algeria: approach by optimal control model.

Abstract

In this paper, an optimal control model is used to analyze the permanent effect of public expenditure on national income and its components in Algeria. Optimal paths of these variables are designed by using the algorithm developed by Kendrick (1982). The dynamics of long-run outcome of the simulations require generally an effort of sustainability by public spending; i.e a sustainability that should strengthen the supply for establishes an endogenous growth dynamic.

Key words: public expenditures, economic growth, optimal control model, Algeria.

JEL Classification : C61, E21, H50, O40.

Introduction

L'histoire des faits économiques en Algérie révèle, en générale, l'existence d'une dynamique interventionniste publique dans l'activité économique du pays, sous formes distinctes, durant les différentes phases d'évolution de son économie (Benissad 2004). Plusieurs raisons justifient l'implantation de l'Etat dans l'activité économique ; la forte capacité de financement de l'Etat, grâce au monopole qu'il exerce sur les ressources naturelles, lui attribue la place d'acteur principal dans la formation du capital mais aussi dans la dynamique économique en générale en raison de la faiblesse du stock du capital du secteur privé et de l'instabilité politique et sociale à côté d'une marquante vulnérabilité économique. En revanche, la question de l'efficacité des stratégies publiques forgées pour prendre en charge le développement du pays est fondamentalement posée. Les discours s'arrangent souvent au côté de l'inefficacité des politiques publiques à former les prémisses d'une économie productive, solide et insensible aux chocs exogènes. Mais sans pouvoir écarter formellement l'apport significatif de ces politiques publiques en termes d'accumulation des décisifs de la croissance.

Empiriquement, l'impact des dépenses publiques sur la croissance en Algérie est évalué par quelques travaux comme celui de Zakane (2004) qui établit une faible élasticité de la production par rapport aux infrastructures (0,07), qu'il explique par l'insuffisance de l'effort d'investissement consacré aux infrastructures notamment aux infrastructures économiques. Dans le même sens, Benabdallah (2008) relève aussi une faiblesse du stock d'infrastructures et note son effet négatif sur la croissance. Cependant, le rapport du FMI (2006) établit une relation positive et significative de l'effet des dépenses publiques d'investissement sur la croissance économique, notamment la croissance du PIB hors hydrocarbure, néanmoins il montre l'absence de causalité entre ce dernier et les dépenses publiques courantes (Mwase, 2006, pp. 57-65).

Dans ce papier, un modèle de contrôle optimal est utilisé pour évaluer l'effet permanent des dépenses publiques sur le revenu national. Les trajectoires optimales, qui forment les séquences des variables étudiées, sont établies via une simulation sur un modèle à base d'un algorithme élaboré par Kendrick (1982). Le modèle vise à révéler la force du guidage des dépenses publiques, matérialisée par deux variables de contrôle dépenses publiques d'équipements et dépenses publiques de fonctionnements, sur la trajectoire du revenu national, sous certaines conditions d'optimalités. Cette étude est structurée de la manière suivante : la première section présente quelques généralités sur l'évolution des dépenses publiques en Algérie. La deuxième section est consacrée à la formalisation du modèle de contrôle optimal. La dernière section dresse un bilan des principaux résultats construits et prolonge la réflexion pour annoncer quelques recommandations.

Section 1 : L'évolution des dépenses publiques en Algérie :

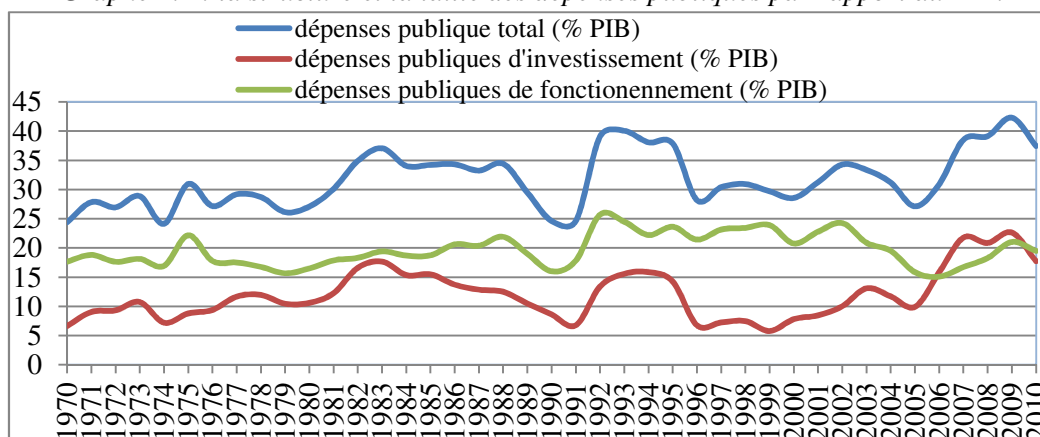
L'évolution des dépenses publiques, durant ces quarante dernières années, enregistre en générale une tendance croissante. Leur valeur à prix constant¹ est passée de 13,54 milliards de DA en 1966 à plus de 136,5 milliards de DA en 2010. Le long de l'échantillon, le ratio des dépenses publiques ramené au PIB présente une évolution croissante, mais qui n'est pas monotone, avec une moyenne de 31,73%. Une telle tendance illustre l'existence d'une dynamique interventionniste publique dans l'activité économique en Algérie.

1.1 La structure des dépenses publiques :

Dans l'ensemble, les dépenses publiques d'investissement se situent souvent au-delà des dépenses publiques de fonctionnement à l'exception de la période [2007-2009]. Le ratio DPI/PIB enregistre une moyenne de 12,06, avec une stabilité entre [1970 et 2000] et une évolution haussière

durant cette dernière décennie. Tandis que, le ratio DPF/PIB, sur l'ensemble de l'échantillon, présente une évolution relativement stable avec une moyenne de 19,67%.

Graphe 1.1 : la structure et la taille des dépenses publiques par rapport au PIB.



Source : établi à partir des données ONS (2011) et Banque Mondiale (2012).

Il ressort du graphe (1.1) une dynamique pro-cyclique des dépenses publiques d'investissement et une dynamique anticyclique des dépenses publiques de fonctionnement. En effet, les périodes de choc pétrolier et d'aisance financière (1974, 1979 et 2000) illustrent simultanément une hausse de la part du revenu national consacrée aux dépenses en capital et une baisse du segment du revenu destiné aux dépenses publiques de fonctionnement. Une telle évolution des dépenses en capital montre vraisemblablement l'orientation des pouvoirs publics à exploiter les flux financiers générés par des chocs externes positifs. Cette orientation s'est traduite par la mise en place des plans quinquennaux et des plans de relance afin de soutenir l'effet de capacité de production. Tandis qu'en période de contre choc pétrolier, essentiellement lors de la crise de 1986, le ratio des dépenses publiques ramené au PIB s'est nettement déprécié. La baisse de ce ratio est due essentiellement à la baisse de la part du revenu destinée aux dépenses d'équipement qui a passé de 15,5% en 1985 à 6,7% en 1991. Au moment où, la part du PIB destinée aux dépenses de fonctionnement est passée de 18,7% en 1985 à 17,8% en 1991 avec des hausses entre 1986 et 1989, en 1988 ce ratio a enregistré un taux de 21,9%.

La période d'aisance financière des années 2000 s'est marquée par un ratio (dépenses publiques d'équipement/PIB) relativement élevé, qui a passé de 5,7% en 1999 à 22,6% en 2009. Une telle évolution s'est effectuée essentiellement grâce aux plans publics de relance et de soutien à la croissance. Au moment où le ratio (dépenses publiques de fonctionnement/PIB) a enregistré une légère détérioration, il a passé de 23,9% en 1999 à 21% en 2009.

Tableau 1.1 : Evolution de la structure des dépenses publiques de fonctionnement (%):

	1970-1979	1980-1985	1986-1993	1994-1999	2000-2010
Dette publique	8,2	11,08	14,03	17,09	8,3
Pouvoirs publics	1,39	1,73	0,86	0,42	*
Moyens des services	65,54	64,9	57,66	45	41,4
Intervention public	24,87	22,29	27,45	37,49	50,3

* compris dans les dépenses d'intervention publique.

Source : établi à partir des données de l'ONS (2011).

D'après le tableau ci-dessus, les dépenses au titre des moyens des services, essentiellement les dépenses de personnel, forment le segment major des dépenses de fonctionnement, avec une moyenne de 54%, au moment où les dépenses d'intervention publique, constituées en grande partie par les dépenses de transfert social et de subventions économiques, enregistre une moyenne de 32% des dépenses de fonctionnement.

Par ailleurs, la part des dépenses de fonctionnement consacrée au remboursement de la dette publique a atteint son pic dans la période de la crise et celle de l'après ajustement structurel, pour se redresser à partir de 2000 et trouver presque son niveau des années 70.

Tableau 1.2 : Evolution de la structure du budget d'équipement (%) :

	1970-1979	1980-1985	1986-1993	1994-1999	2000-2010
Dépenses productives	20	12	24	33	9
Infrastructure publics	19	21	24	19	34
Education-Formation	23	18	14	9	12
Autres	38	49	38*	39**	45

*entre 1991 et 1993 le budget d'assainissement des entreprises publiques représente 31% du budget d'équipement.

**entre 1994 et 1997 le budget d'assainissement des entreprises publiques représente 37% du budget d'équipement.

Source : établi à partir de l'ONS (2011) et les lois de finances (1970-2010).

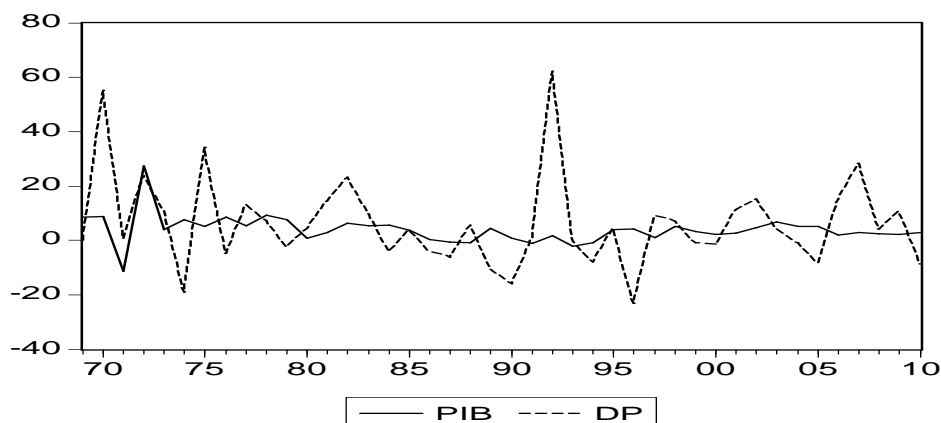
La phase de l'adoption de la stratégie d'industrie industrialisante, durant les années 70, est marquée par un investissement public prononcé en industrie, en agriculture et en service. Un tel effort d'investissement public souligne la volonté de l'Etat à prendre en charge le développement économique du pays. Cependant, face aux retombés médiocres en termes de performance de la dite stratégie, le segment du budget d'équipement alloué à l'investissement direct, à partir des années 80, a nettement baissé. Benissad (2004) explique à ce propos que suite à l'adoption d'un modèle de développement balancé, les capitaux injectés dans l'investissement direct ont subi une modération significative au profit d'une allocation plus équilibrée entre les secteurs productifs et improductifs. Puis, la conjoncture défavorable du milieu des années 80 a enclenché un effort de restructuration pour redynamiser le secteur productif, ce qui a fait qu'une part importante du budget d'équipement était destinée à l'assainissement des entreprises publiques ; laquelle pratique est prolongée même jusqu'au lendemain de l'ajustement structurel sans qu'elle puisse réaliser ses objectifs. L'aisance financière des années 2000, suite à l'affermissement des prix du *Saharan blend*, a annoncé, toute en éliminant la quasi-totalité du budget alloué à l'assainissement des entreprises publiques, l'adoption d'une stratégie de relance basée essentiellement sur l'investissement en infrastructure économique et sociale en vue de mouvementer le secteur privé productif, ce qui a fait que le budget des dépenses d'équipement attribué aux dépenses en infrastructure a passé à 34% alors qu'entre 1970 et 2000 ce ratio n'a pas excédé à 24%.

Le secteur de l'éducation, dans les années 70, s'est vu allouer des fonds considérables. Un effort d'investissement qui affiche la volonté de l'Etat à rattraper le retard en formation du capital humain accumulé durant la période de la colonisation. Mais cet effort a été contraint par la crise économique causant la baisse du budget d'équipement destiné à l'investissement en éducation, dont la chute est prolongée même durant la période de l'ajustement structurel. Néanmoins à partir des années 2000, la part de l'investissement en éducation dans le budget d'équipement a augmenté pour afficher le taux de 12%, tandis qu'entre 1994 et 1999 ce taux était de 9%.

1.2 Dépenses publiques et croissance économique en Algérie :

Le graphe (1.2) présente l'évolution à prix constant des dépenses publiques et du produit national brut. La visualisation du graphique ne permet pas de dégager avec précision la nature du lien entre les deux grandeurs. En effet, la tendance des deux courbes présente des phases d'évolution concomitantes comme elle présente également des périodes d'évolution différentes voir même opposées. En effet, afin de saisir la portée des dépenses publiques sur la croissance, il sera nécessaire de passer au traitement empirique.

Graphe (1.2) : évolution des dépenses publiques à prix constant et du PIB réel.



Source : établi à partir des données de l'ONS (2011) et la BM (2011).

Tableau 1.4 : Caractéristiques des séries PIB et dépenses publiques ainsi que ses composantes :

	PIB	DP	DPF	DPI
Moyenne	2800,72	882,02	503,24	379,64
Ecart-type	4150,1	1285,84	652,87	661,42
Coefficient de variation	1,48	1,46	1,35	1,74

Source : construit à partir des séries du PIB et des dépenses publiques.

Les séries PIB et dépenses publiques ont des variétés très similaires du fait qu'ils disposent des coefficients de variation très proches. Autrement dit que ses deux variables subissent presque de la même ampleur les fluctuations cycliques. Au moment où la série des dépenses publiques d'investissement a un écart sensible par rapport à sa valeur centrale plus important que celui des dépenses de fonctionnement. Ce qui signifie que les dépenses en capital sont plus affectées par les chocs exogènes que les dépenses publiques courantes. En effet, l'Etat a tendance de réduire son budget d'équipement dans les phases de crise et de maintenir une relative stabilité de son budget de fonctionnement. Un constat clairement observable dans le graphe (1.1).

Section 2 : dépenses publiques et croissance : résolution d'un modèle de contrôle optimal

Ponsad (1969) dénote que depuis la reconnaissance du caractère séquentiel de la décision économique dans les années 60, et la définition de la nature d'évolution des agrégats macroéconomique (la mesure du PIB, du capital physique, de la consommation finale...etc.) où le temps est perçu comme une variable continue, la présentation des problèmes économiques sous forme de programme dynamique optimal constitue un outil d'analyse robuste. En effet, l'auteur souligne que la nature des choix économique dépend de l'état du système dont elle fait partie. Dans ce sens,

Duharcourt (1969) indique qu'il ne s'agit pas de prendre une décision isolée concernant un problème ou une stratégie quelconque mais plutôt de situer cette décision dans une dynamique qui contient les contraintes et les atouts accumulés par les stratégies adoptés aux passés. Une telle vision conduit à une formalisation plus rigoureuse du problème, où la prise en compte de la cohérence temporelle des décisions et de l'interdépendance des grandeurs qui les compose définit un schéma de résolution plus adapté à la nature complexe et évolutif de quelques problèmes économiques, essentiellement ceux de la croissance, d'accumulation du capital physique ou humain et l'évaluation de l'effet des politiques économiques. En effet, Les travaux de Abel (1975) et de Kendrick (1974, 1976, 1981, 1982, 1998, 2005) ont soutenu la compatibilité de cette forme de modélisation à l'analyse de l'impact de quelques agrégats choisis sur l'évolution d'un système macroéconomique.

2.1 Formalisation du problème de contrôle optimal

Trelat (2005) souligne que l'essence de ce type de modélisation consiste à construire un schéma d'évolution d'un état initial $S = S(t_0)$ vers un état final $\hat{S} = x(t)$, censé représenter une situation d'équilibre optimal en respectant certains critères d'optimisation. Abel (1975) et Kendrick (1982, 2002, 2005) définissent trois étapes essentielles pour la formalisation d'un problème de contrôle optimal à horizon fini; en premier lieu l'estimation d'un système d'équations, à travers lequel l'évolution de l'économie est décrite (contrainte dynamique). Ensuite, la définition de la fonction d'objectif qui représente le critère inter-temporel à maximiser (ou à minimiser) et enfin la fixation des conditions initiales. Cette démarche sera adoptée pour axiomatiser notre problème de contrôle optimal.

2.1.1 La contrainte dynamique

La contrainte dynamique de notre modèle s'écrit sous forme d'une équation d'accumulation montrant l'évolution des paramètres du modèle:

$$\hat{S}_{t+1} = f_s(S_t, C_t) \quad (1)$$

$$\hat{S}(t) = f(S(t), C(t), t) \quad (2)$$

La contrainte (1) comprend un vecteur d'état (S) qui contient deux variables endogène : la consommation (c) et l'investissement (I), et un vecteur de contrôle (C) qui traduit l'instrument de l'intervention publique qui est la variable « dépenses publiques ». Cette dernière est décortiquée en dépenses publiques de fonctionnement (DPF) et en dépenses publiques d'investissement (DPI). L'effet des variables de contrôle sur l'évolution des variables d'état est appréhendé par l'estimation sous forme réduite des deux équations linéaires (3) et (4).

Dans une économie fermée, le revenu est réparti entre la consommation et l'épargne, avec l'hypothèse que toute l'épargne soit investie, le revenu s'écrit: $Y = C + I$. Dans ces conditions, Abel (1975) considère que la consommation ciblée est une fonction linéaire du revenu et que la période réalisée de la période d'ajustement de la consommation est soumise à un facteur d'ajustement partial. D'autre part, le tableau (1.1) montre que les dépenses publiques de fonctionnement sont dominées par les dépenses en salaires et en transferts sociaux. Un constat qui nous suggère d'envisager l'existence d'un éventuel lien significatif entre DPF et la consommation. D'où l'équation de consommation est écrite comme suit :

$$C_t = \alpha C_{t-1} + \beta I_t + \gamma DPF_t + \varepsilon \quad (3)$$

Telle qu'elle est présentée par Abel (1975) l'équation d'investissement de notre modèle est basée sur le concept modifié de l'accélérateur de consommation privé de Samuelson. Abel postule que le niveau du capital ciblé est une fonction linéaire de la consommation et que l'ajustement réalisé du

stock du capital est soumis à un facteur d'ajustement partiel. Nous supposons également l'existence d'un lien significatif entre les dépenses publiques d'investissement et la formation du capital conformément au modèle de Barro (1990). D'où l'équation d'investissement est formulée comme suit :

$$I_t = aC_t + bC_{t-1} + cI_{t-1} + dDPI_t + \varepsilon \quad (4)$$

Pour notre investigation empirique, les séries sont générées à partir des données de la comptabilité nationale fournies par l'office national des statistiques. Les données de la banque mondiale ont été également utilisées. Les données sont présentées en valeur réelles¹. A cause de l'indisponibilité des données mensuelles et trimestrielles nous avons utilisé des données annuelles de la période (1970-2010).

La série de consommation est construite à partir du compte de la consommation finale figuré dans les bilans des ressources et emplois de la nation en biens et services, publié dans les comptes économiques de l'ONS (2011).

La série de stock du capital fixe fournie par les données de la banque mondiale (2012) est utilisée comme proxy pour définir la série de l'investissement.

Les séries des dépenses publiques de fonctionnement et d'investissement sont générées à partir des données de l'ONS (2012).

Les résultats des estimations peuvent être présentés sous-forme d'un système d'équations log-linéaire, qui représente la contrainte dynamique de notre modèle de contrôle optimal² :

$$\log(C) = 0,3968 + 0,5544 \log(C_{t-1}) - 0,0055 \log(I_{t-1}) + 0,3162 \log(DPF) + 0,0034 \log(DPI) \quad (5)$$

(4,7710)*	(6,0909)*	(0,1022)*	(3,7765)*	(0,0779)*
(0,0000)**	(0,0000)**	(0,9191)**	(0,0006)**	(0,9383)**
R ² = 0,95		DW= 1,86.		

$$\log(I) = 0,4775 - 0,3365 \log(C_{t-1}) + 0,9075 \log(I_{t-1}) + 0,2035 \log(DPF) + 0,0469 \log(DPI) \quad (6)$$

(3,9830)*	(3,5518)*	(16,0789)*	(2,3339)*	(1,0407)*
(0,0000)**	(0,0011)**	(0,0000)**	(0,0251)**	(0,3045)**
R ² =0,97		DW=1,40.		

(*) Les valeurs entre parenthèses indiquent la statistique du Student en valeur absolue associée aux paramètres estimés.

(**) Les valeurs entre parenthèses indiquent la probabilité associée aux paramètres du modèle dont la significativité est comparée au seuil de 5%.

Source : Réalisé sous Eviews 4.0.

Les signes des paramètres (élasticités) estimés sont, en général, conformes aux attentes théoriques. Ainsi, la consommation est explicable à hauteur de 55% par une dynamique autorégressive ; alors que les dépenses de fonctionnement contribuent avec 32% à l'explication de la consommation. Les paramètres des dépenses publiques d'équipement et l'investissement décalé d'une période ne sont pas significatifs statistiquement. La qualité d'ajustement du modèle (5) est bonne et il y a absence d'autocorrélation des erreurs.

¹ Nous avons présenté les séries à prix constant de 1980.

² Toutes les séries sont non stationnaires en niveau, elles suivent un processus DS sauf pour la série (log DPF) qui suit un processus TS. Les séries ont été stationnarisées, elles sont toutes intégrées d'ordre (1) hormis les deux séries log (I) et log (I_{t-1}) qui sont intégrées d'ordre (2).

La portée autorégressive du modèle (6) explique à l'ordre de 90% de l'évolution de l'investissement. Cependant, la consommation décalée d'une période y exerce un effet négatif. Les dépenses publiques de fonctionnement contribuent positivement à l'explication de l'investissement. Le coefficient associé aux dépenses publiques d'investissement n'est pas significatif statistiquement. La qualité d'ajustement du modèle (6) est bonne, mais la statistique de Durbin-Watson montre la présence d'une autocorrélation positive des erreurs.

Le modèle type du contrôle optimal tel qu'il est défini par Abel (1975) et Kendrick (1982) est présenté comme suit :

$$S_{t+1} = K + AS_t + BC_t + \delta \quad (7)$$

$S = n * 1$ représente le vecteur des variables d'état. Dans notre cas : $S = \begin{bmatrix} C \\ I \end{bmatrix}$

$C = m * 1$ représente le vecteur des variables de contrôle. Dans notre cas : $C = \begin{bmatrix} DPF \\ DPI \end{bmatrix}$

$A, B = n * 1$ et $m * 1$ représentent les paramètres des matrices.

$K = n * 1$ représente le vecteur des constantes.

$\delta = n * 1$ représente le vecteur des résidus.

Le terme du résidu (δ) est supposé suivre une distribution normale centrée, réduite.

Les coefficients des matrices correspondants à nos estimations sont :

$$K = \begin{bmatrix} 0,3968 \\ 0,4775 \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 0,5544 & -0,0055 \\ -0,3365 & 0,9075 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0,3162 & 0,0034 \\ 0,2035 & 0,0469 \end{bmatrix}$$

2.1.2 Définition de la fonction d'objectif

L'objectif de l'agent économique est de maximiser sa fonction d'utilité inter-temporelle. Cette dernière est soumise à des critères décisionnels de sa part, où les choix portants sur les valeurs des variables de contrôle sont faits d'une manière à optimiser la trajectoire des variables d'état. Dans notre cas, il s'agit de trouver la solution optimale du système dans chaque point dans le temps (de $t = 0$ jusqu'à T).

La fonction d'objectif s'écrit sous forme d'une équation différentielle du premier ordre :

$$MAX U = \int_{t_0}^T U[S(t), C(t), t] dt \quad (8)$$

Kendrick (1982) a montré que si les équations de la contrainte dynamique sont estimées avec une forme linéaire, la fonction d'objectif peut s'écrire sous la forme d'un modèle linéaire quadratique à condition qu'elle soit un intégral dans le temps. En effet, et comme dans la plupart des modèles économiques avec une application linéaire quadratique, notre fonction est présentée sous forme de *tracking function*³. Une telle forme fonctionnelle permet de contourner le problème de contrôlabilité souligné par Kalman (1960), où l'état final n'est pas toujours atteignable. Kendrick (1982, 2005) montre que l'écart entre la trajectoire ciblée et la trajectoire réalisée est considéré comme un coût quadratique fonctionnel à minimiser, cet écart est généré entre la valeur de la période terminale (T) et la valeur des autres périodes sur cette trajectoire (t).

$$U = R\left\{\frac{1}{2}(S_T - \tilde{S}_T)' H_T (S_T - \tilde{S}_T) + \frac{1}{2} \sum_{t=0}^{T-1} [(S_t - \tilde{S}_t)' H_t (S_t - \tilde{S}_t) + (C_t - \tilde{C}_t)' V_t (C_t - \tilde{C}_t)]\right\} \quad (9)$$

³ Kendrick (2005) évoque que la fonction d'objectif est présentée sous forme de *tracking function* dans la plupart des modèles économiques avec une application linéaire quadratique.

Les paramètres (\tilde{S} et \tilde{C}) représentent les valeurs ciblées des vecteurs d'état et de contrôle.
 H : représente le vecteur symétrique de la matrice des pénalités des variables d'état.
 V : représente le vecteur symétrique de la matrice des pénalités des variables de contrôle.
 R : est un indicateur de résidu, supposé suivre une loi normale centrée réduite.

Kendrick (1982) définit les matrices de pénalités ; d'un côté pour proposer un modèle de normalisation pour ajuster l'écart entre la trajectoire des variables d'état et de contrôle et leurs sentiers souhaités d'une manière à ce qu'ils disposent de la même ampleur de pénalité et d'un autre côté pour montrer la différence entre les perturbations de la période terminale et les autres périodes. En se référant à la démarche de Kendrick, la normalisation pour le cas de l'Algérie a été faite en comparant les valeurs moyennes par grandeur. Ainsi, la consommation est deux fois supérieure que l'investissement. Cette dernière est deux fois supérieure que les dépenses publiques d'investissement. Au moment où, les dépenses publiques de fonctionnement ont, à peu près, la même valeur moyenne que l'investissement.

$$U = (c/2 - C/2)^2 + (i - I)^2 + (dpf - DPF)^2 + (2dpi - 2DPI)^2 \quad (10)$$

$$= 0,25(c - C)^2 + (i - I)^2 + (dpf - DPF)^2 + 4(2dpi - 2DPI)^2 \quad (11)$$

Où les majuscules représentent les valeurs ciblées des variables.

Les matrices de pénalités sont :

$$H = \begin{bmatrix} 0,25 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad V = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 4 \end{bmatrix} \quad t = 1, \dots, T - 1 \quad (12)$$

Les deux équations (13) et (14) sont définies afin d'observer l'impact des changements en termes de pénalités sur la trajectoire optimale des variables d'état et de contrôle.

$$H_n = \theta H \quad (13)$$

$$V_n = \theta V \quad (14)$$

θ est un facteur de pondération qui permet de varier la taille de la matrice des pénalités, nous avons varié sa valeur de 10 à 100 puis à 1000 pour chacune des séries des variables d'état et de contrôle. Les changements en termes de pénalité sont supposés induire des modifications structurelles du rapport liant les composantes du revenu national de ce modèle aux variables de contrôles. Donc, le comportement des variables d'état suite aux variations de l'argument de pénalité est supposé être le résultat de l'effet des variables de contrôle du modèle. De plus, ce même paramètre de pénalité est supposé représenter l'ampleur de l'effort des pouvoirs publics en matière de dépenses publiques. Autrement dit, un grand paramètre de pénalité correspond à un effort considérable en termes de contrôle et vice versa.

H_n et V_n sont des paramètres posés pour recevoir la valeur des matrices de pénalité, des variables d'état et de contrôle respectivement, après pondération.

2.1.3 Définition et fixation des conditions initiales

Les conditions initiales du système correspondent aux valeurs en t_0 de l'équation (7). Les données qui correspondent à l'année 1969 qui constitue le point de départ chronologique de l'horizon temporel que donne la dynamique empirique considérée, constitueront les valeurs initiales de notre application de contrôle optimal.

La valeur initiale du vecteur des variables d'état est donnée comme suit :

$$S_0 = \begin{bmatrix} 50,02 \\ 14,5 \end{bmatrix} \quad (15)$$

La valeur initiale du vecteur des variables de contrôle correspond à :

$$C_0 = \begin{bmatrix} 15,45 \\ 6,36 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Le taux de croissance réel de l'économie de l'année initiale (1969) a été choisi d'une façon hypothétique comme un taux véhicule des valeurs ciblé des vecteurs d'état et de contrôle. (Le taux de croissance du PIB pour cette année était de 8,43%).

Section 3 : résolution du modèle et interprétation des résultats

Pour la résolution de notre modèle de contrôle optimal, nous avons utilisé le programme conçu par Kendrick (1982) au prix de quelques légers ajustements. Le logiciel GAMS version 24.1.3 a servi d'outil de compilation pour simuler les sentiers ciblés et ceux qui minimisent le coût quadratique définis par l'équation (9) pour chacune des variables d'état et de contrôle du modèle. Le programme est donné en annexe.

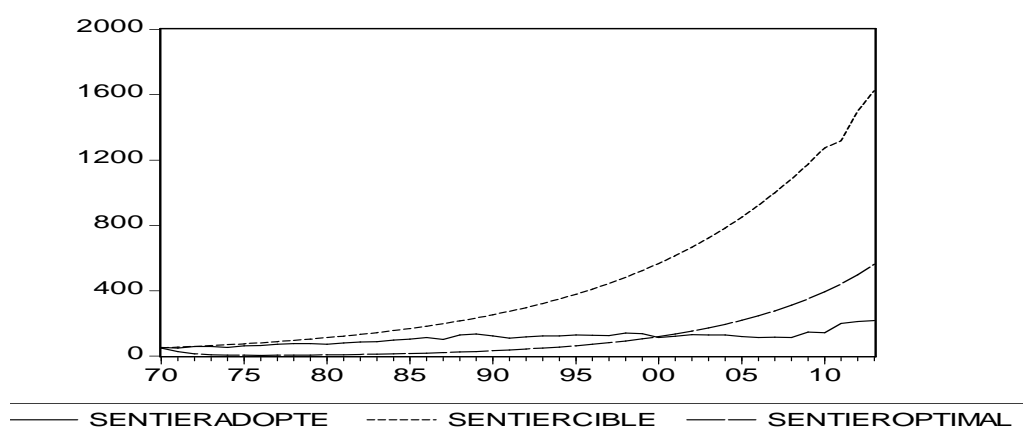
Dans le cadre de cette analyse, l'interprétation des résultats passe par une résolution séquentielle du problème. De ce fait, les résultats de simulations sur les paramètres du modèle seront interprétés comme des sentiers d'évolution.

3.1 Résultats des simulations

La présente manipulation, nous a permis de tracer deux sentiers d'évolution pour chacune des variables du modèle ; un sentier cible et un sentier optimal issu de la solution de l'équation (9). Ces résultats seront comparés avec l'évolution réelle des données de l'économie en Algérie.

3.1.1 La trajectoire des variables d'état

Grphe 3.1: sentier de consommation



Source : construit à partir des données de l'ONS et des résultats de simulation sur GAMS 24.1.3.

La courbe du sentier adopté et celle du sentier optimal se joignent dans un seul point, au-dessous de ce point le rythme de consommation paraît excessivement soutenu. En effet, durant la période de l'économie planifiée, les prix étaient en général subventionnés et administrés, ce qui a soutenu artificiellement la consommation. Cependant, après l'instauration de l'économie de marché, le sentier optimal prend de l'ampleur graduellement par rapport au sentier adopté jusqu'à l'enregistrement d'une situation de sous-consommation durant cette dernière décennie. Placée dans le contexte de la structure globale de l'économie, la trajectoire de la consommation adoptée n'est pas congruente avec sa trajectoire optimale. Il ressort du graphe aussi que le sentier ciblé se situe au-dessus du sentier optimal tout au long de l'échantillon. Un constat qui indique que structurellement l'atteinte du sentier ciblé n'est pas possible même dans le cas où le système fonctionne dans son meilleur état, reste à déterminer si un effort en termes de contrôle permet de converger le système vers sa trajectoire souhaitée.

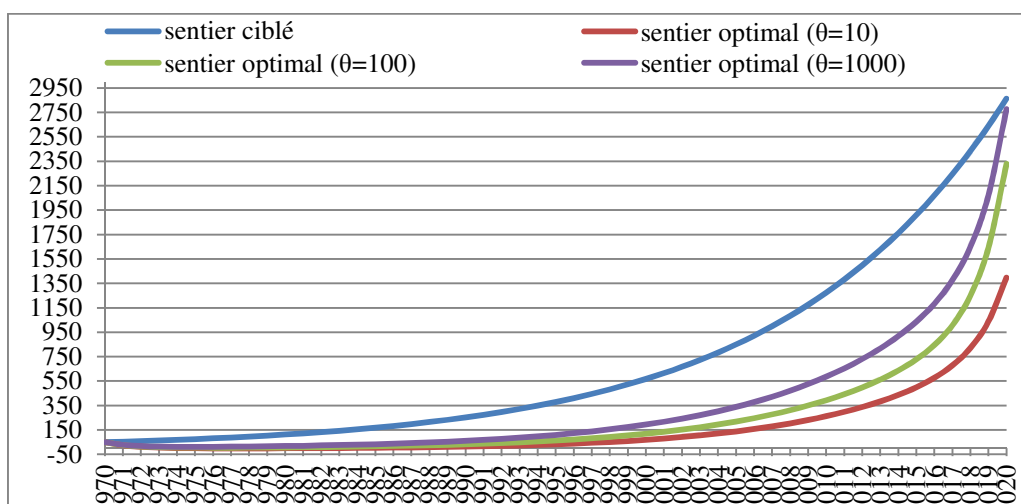
Tableau 3.1 : projection à long terme (en milliards de dinars constant)

Année	Consommation ciblée	Consommation optimale
2014	1760,84	636,354
2015	1909,279	727,748
2016	2070,231	845,171
2017	2244,751	1007,079
2018	2433,984	1249,419
2019	2639,168	1642,902
2020	-	-

Source : réalisé après simulation sous GAMS 24.1.3.

Des projections à long terme montrent une évolution explosive du système. L'écart par rapport au sentier ciblé paraît se creuser d'avantage. En effet, un effort en termes de contrôle est recommandé pour ramener le niveau de consommation à sa cible.

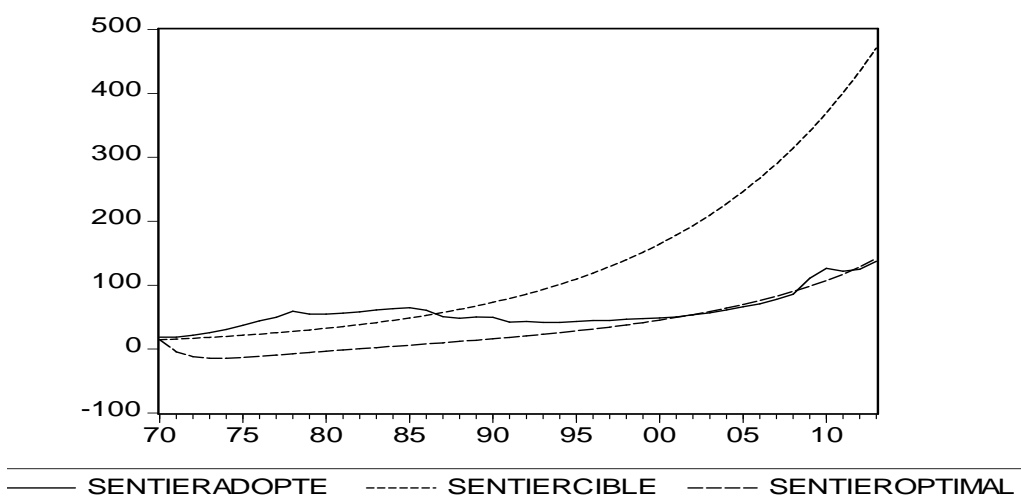
Graphe 3.2 : sentier de consommation avec coefficient de pénalité



Source : réalisé à partir des résultats de simulation sur GAMS 24.1.3.

L'amplification du facteur de pénalité fait converger, à long terme, le sentier optimal vers le sentier ciblé. Autrement dit, avec un effort prononcé de la politique économique, la dynamique économique atteindra ces objectifs ciblés en termes de consommation.

Graphe 3.3 : sentier d'investissement



Source : établi à partir des données de la BM et des résultats de simulation sous GAMS 24.1.3.

La période qui s'étale des années 70 jusqu'à la veille du contre choc pétrolier présente un taux d'investissement réalisé par l'économie supérieur à celui du sentier optimal et même supérieur à celui du sentier ciblé. Une telle dynamique s'explique par la présence d'un mécanisme de régulation, qu'a formé la planification durant la dite période, qui consiste à soutenir le capital à travers la hausse de la demande publique sur les biens d'investissement, ce qui a débouché sur une accélération marquante de l'effort de formation du capital par rapport à sa trajectoire globale. Puis avec la libéralisation, le mécanisme de régulation est abandonné, ce qui a ralenti le rythme d'accumulation du capital. La simulation présente un sentier optimal avec des valeurs médiocres placées largement au-dessous du sentier ciblé, ce qui exige, au même titre que la consommation, un effort en termes de contrôle pour faire converger le sentier optimal d'investissement vers le sentier ciblé.

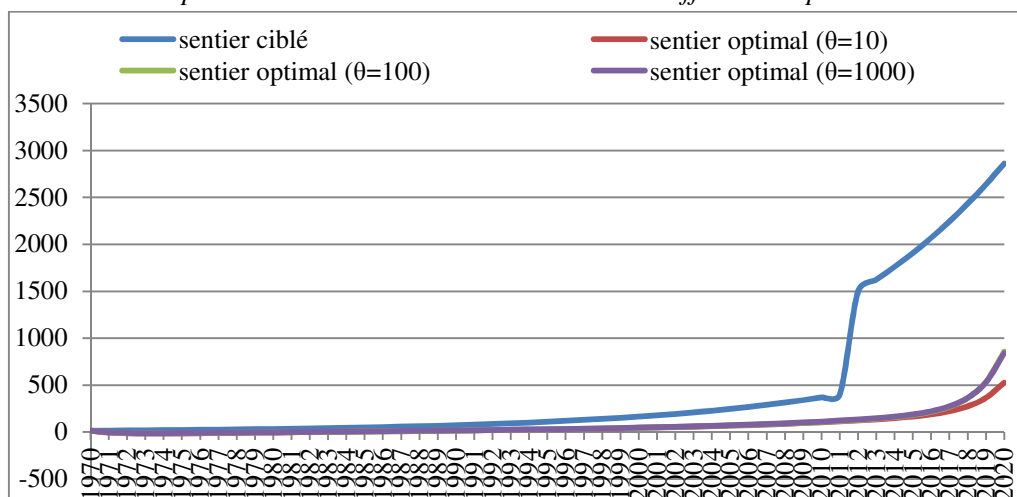
Tableau 3.2 : projection à long terme (en milliards de dinars constant)

Année	Investissement ciblé	Investissement optimal
2014	510,439	158,745
2015	553,469	181,472
2016	600,127	214,961
2017	650,718	268,853
2018	705,573	362,268
2019	765,053	533,191
2020	-	-

Source : établi à partir de simulation sous GAMS 24.1.3.

Des projections à long terme montrent l'éloignement du sentier d'investissement optimal par rapport à son sentier ciblé. Un constat qui évoque la nécessité d'un effort en termes de politique économique pour faire correspondre le niveau du capital accumulé à sa trajectoire souhaitée.

Graph 3.4 : sentier d'investissement avec coefficient de pénalité



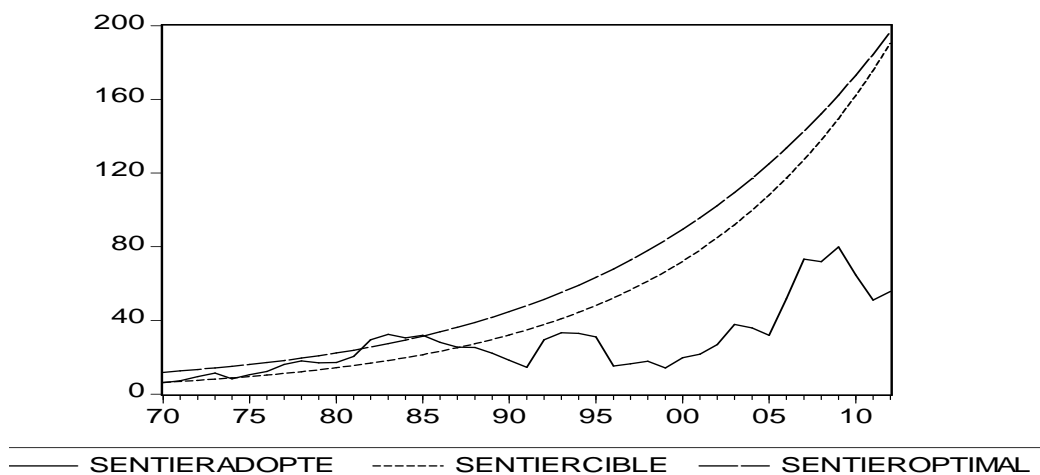
Source : établi à partir des résultats de simulation sur GAMS 24.1.3.

Le sentier optimal d'investissement montre une relative convergence, à long terme, vers le sentier ciblé à travers l'augmentation de la valeur de θ . Cependant, cette convergence est moins souple que celle présentée par la dynamique de consommation, nécessitant ainsi une importante pondération, ce qui révèle son coût très élevé en termes de politique économique.

Donc, d'après les simulations présentées dans les graphes (3.2) et (3.4), une politique économique soutenue permet de pousser l'état du système vers ces paramètres ciblés. L'impact des dépenses publiques d'investissement et de fonctionnement sur l'évolution des variables d'état du modèle est significatif. Par ailleurs, l'importance du facteur de pénalité généré par les présentes simulations, essentiellement celui qui porte sur le sentier d'investissement, indique clairement le coût important qu'engendre une politique économique qui optimise la trajectoire des variables d'état.

3.1.2 La trajectoire des variables de contrôles :

Graph 3.5 : sentier des dépenses publiques d'investissement



Source : construit à partir des données de l'ONS et des résultats de simulation sur GAMS 24.1.3.

La trajectoire optimale des dépenses publiques d'investissement se situe, en générale, au-dessus de celle adoptée, évoquant un état de sous-investissement public. D'ailleurs, Zakane (2004) et Benabdallah (2008) ont soulevé la faiblesse du stock du capital public tout en notant son effet négatif sur le niveau de la richesse créée. Il ressort de ce graphique que le sentier optimal, contrairement à l'évolution présentée pour les variables d'état, est supérieur à celui désiré. Ce qui révèle que l'effort ciblé concernant cette variable est insuffisant par rapport aux exigences du système.

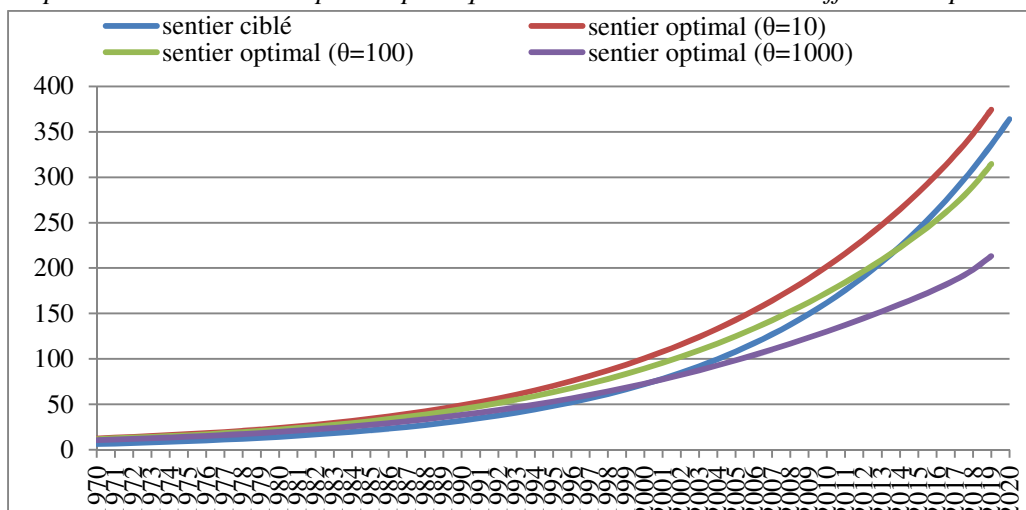
Tableau 3.3 : projection à long terme (en milliard de dinars constant)

Année	DPI ciblé	DPI optimale
2013	206,483	209,112
2014	223,889	222,636
2015	242,763	237,089
2016	263,228	252,728
2017	285,418	270,045
2018	309,479	290,007
2019	335,568	314,523
2020	363,856	-

Source : réalisé après simulation sur GAMS 24.1.3.

Le tableau (3.3) indique que le sentier optimal simulé devient au-dessous de celui ciblé tout en gardant sa tendance haussière. Une telle projection montre que l'écartement du sentier optimal de sa trajectoire ciblée est un processus qui s'étale sur le long terme, d'où la persistance en permanence d'un besoin d'accumulation du capital public. Dans ce cadre, la mise en place d'un autre plan qui soutient le capital public après l'achèvement du plan d'investissements publics (2009-2014) paraît nécessaire.

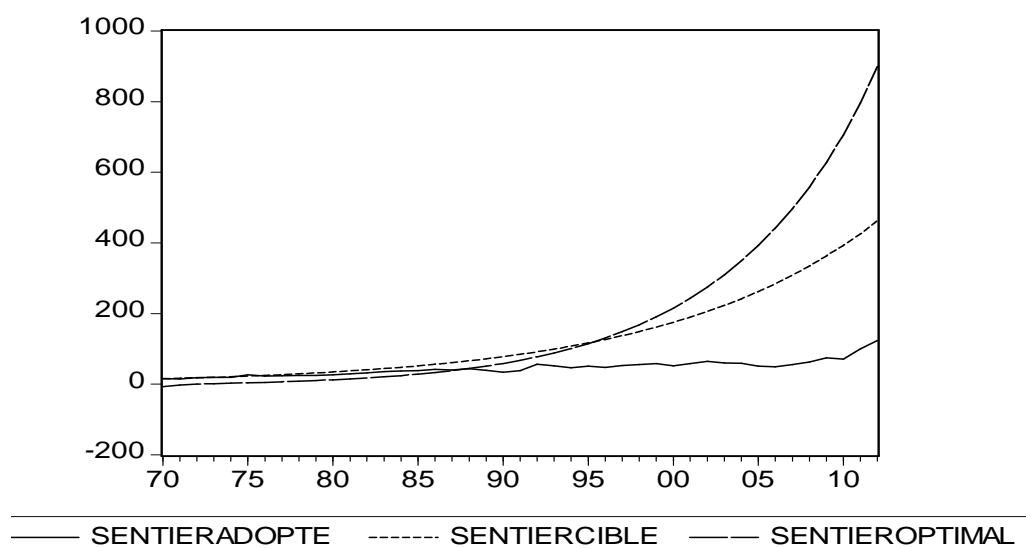
Graphe 3.6 : sentier des dépenses publiques d'investissement avec coefficient de pénalité



Source : construit à partir des résultats de simulation sur GAMS 24.1.3.

A long terme, l'augmentation de la valeur de θ fait converger la courbe du sentier optimal vers l'axe des abscisses. Donc, un niveau de soutenabilité élevé par les dépenses en capital réduit la pente de son sentier d'évolution optimal.

Graphe 3.7 : sentier des dépenses publiques de fonctionnement



Source : construit à partir des données de l'ONS et des résultats de simulation sur GAMS 24.1.3.

Jusqu'à la fin des années 80, l'évolution des dépenses publiques de fonctionnement est relativement compatible à la fois à sa trajectoire optimale et ciblée. Cependant après la mise en place du plan d'ajustement structurel, le sentier réalisé se détache graduellement du sentier optimal. Cet écart peut être expliqué vraisemblablement pour les quinze dernières années de l'échantillon, et conformément à la dynamique présentée dans le graphe (3.1), par l'écartement de la consommation réalisée de sa trajectoire optimale montrant un besoin de dépenses en termes de salaires et de transferts sociaux. Pour cette même période, les simulations présentent un passage du sentier optimal au-dessus du sentier ciblé dégageant une évolution désirée sous-estimée par rapport aux exigences du système en termes de dépenses de fonctionnement.

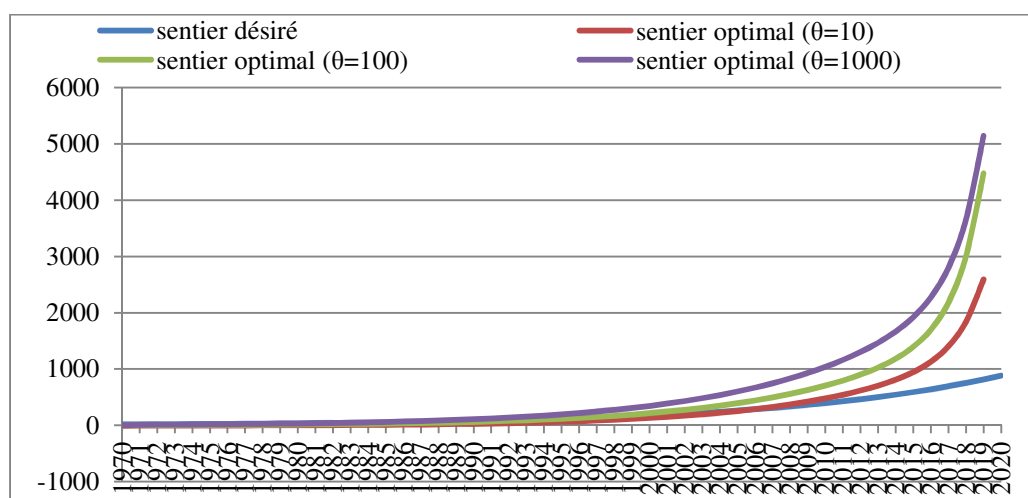
Tableau 3.4 : projection à long terme (en milliards de dinars constant)

Année	DPF ciblé	DPF optimale
2013	501,597	1025,007
2014	543,882	1182,436
2015	589,731	1393,437
2016	639,446	1699,489
2017	693,351	2181,935
2018	751,8	3001,392
2019	815,177	4476,242
2020	883,896	-

Source : établi à partir des résultats de simulation sur GAMS 24.1.3.

Des projections à long terme montrent le prolongement de la dynamique de fin de période présentée dans le graphe (3.8). En effet, l'effort de l'Etat doit viser un nouveau sentier d'ordre supérieur en termes de dépenses courantes pour soutenir l'activité économique.

Graphe 3.8 : sentier des dépenses publiques de fonctionnement avec coefficient de pénalité



Source : réalisé à partir des résultats de simulations sur GAMS 24.1.3.

L'amplification du paramètre de pondération θ place le sentier optimal des dépenses publiques de fonctionnement au-dessus de sa trajectoire souhaitée. En effet, Cette dynamique montre l'aptitude d'une politique soutenue par les dépenses publiques de fonctionnement à déplacer son sentier optimal vers le haut et de cibler un nouveau sentier d'ordre supérieur, en faveur d'une politique expansionniste du côté de la demande globale.

Conclusion :

La dynamique de longue période, pour une trajectoire optimale, exige, en général, une intervention publique exogène en matière de dépenses publiques d'investissement et de fonctionnement. La convergence de la consommation vers son sentier ciblé, suite à une impulsion en termes de politique économique, est plus souple que celle de l'investissement, ce qui se reflète d'une structure plus sensible de côté de la demande globale. En se référant à la réalité de la structure de l'économie en Algérie, le fait établi par le modèle, qui souligne la posture du système à converger vers sa trajectoire ciblé via une stimulation de la demande globale, s'explique par l'architecture du modèle qui ne tient pas en compte de l'origine de l'offre. Tandis que la difficulté de convergence du sentier

optimal d'investissement vers sa trajectoire ciblée via la politique économique, établi par le modèle, s'explique par l'existence des disparités de rentabilité entre l'offre domestique et l'offre extérieure, dans ce cas la faible capacité de l'offre domestique à satisfaire la hausse de demande en biens d'équipement entraîne une importation massive de ces biens. La faible implication de l'offre nationale dans cette dynamique abrège graduellement sa compétitivité et renforce d'avantage l'avantage concurrentiel que dispose l'importation, cette dernière paraît exercer vraisemblablement un effet d'éviction sur l'offre domestique, causant par la suite la désindustrialisation de l'économie nationale. Ce mécanisme explique l'amplification des importations et la réduction de la part de la valeur ajoutée en provenance du secteur manufacturier en présence d'un important flux de dépenses publiques d'investissement et de fonctionnement durant ces dernières années. Dans ce cadre, l'effort de l'Etat doit porter d'abord sur le renforcement de l'offre, ce qui exige, comme une mesure d'urgence, la mise en place d'un outil de régulation qui permet de juguler l'effort de demande et de l'orienter vers l'offre. Puis, sur le long terme, une restructuration de l'économie nationale en faveur d'une consolidation du secteur productif est nécessaire pour instaurer les prémisses d'une croissance soutenable. Ainsi, pour une efficacité plus consistante des dépenses publiques, il est captivant d'inscrire l'effort de l'Etat dans une stratégie de développement globale qui tient en compte de la structure de l'économie nationale, de sa compétitivité et de ses défis à accomplir pour édifier une croissance soutenable et endogène.

Bibliographie

- ABEL A B (1975). A comparison of three control algorithms as applied to the monetarist fiscalist debate. *Annals of Economic and Social Measurement*, Vol 4 n°2, pp. 239-252.
- AMMAM H. and KENDRICK, E. (1999). *The DUALI/DUALPC Software for Optimal Control Models: User's Guide*. Center for Applied Research in Economics. The University of Texas.
- BARRO, J. R (1990). Government spending in a simple model of endogenous growth, *The Journal of Political Economy*. Volume 98, n°5, pp. 103-125.
- BENABDALLAH Y. (2008). Le développement des infrastructures en Algérie : quels effets sur la croissance économique et l'environnement de l'investissement ? Actes du colloque international « *Ouverture et émergence en Méditerranée* ». Maroc.
- BENISSAD H. (2004). *Algérie : de la planification socialiste à l'économie de marché*. ENAG Editions. Alger.
- BLANCHETON B. (2009). *Sciences économiques*. Edition Dunod, Paris.
- DUHARCOURT P. (1969). Introduction à la programmation dynamique. *Revue Economique*. Volume 20, n°2, pp. 182-234.
- IMF. (2012). World Economic Outlook Database. Washington.
- KALMAN R. (1960). Contributions to the theory of optimal control. *Boletín Sociedad Matemática Mexicana*. Volume 5, pp. 102-119.
- KENDRICK D. (2005). Stochastic control for economic models: past, present and the paths ahead. *Journal of Economic Dynamic and Control*, n°29, pp. 3-30.
- KENDRICK D. (1982). Caution and probing in a macroeconomic model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, Volume 4 n°2, pp. 149-170.
- MWASE N. (2006). Relation entre les dépenses publiques et la croissance. Rapport du FMI: Algérie questions choisies, pp. 57-65.
- NURKSE R. (1952). Growth in Underdeveloped Countries: Some International Aspects of the Problem of Economic Development. *The American Economic Review*. Volume 42, n°2, pp. 571-583.
- Office national des statistiques. (2012). Rétrospective statistique 1962-2011. Alger.
- Office national des statistiques. (2011). Rétrospective des comptes économiques 1963-2010. *ONS Collections Statistiques*, série E : statistiques économiques, n°166. Alger.
- PONSARD C. (1969). Programmation dynamique et analyse économique. *Revue économique*. Volume 1, n°2, pp. 177-181.
- ROSENTHAL E. R. (2012) *GAMS a user's guide*", GAMS Development Corporation. Washington D C, USA.

- SOLOW R. (1956). A contribution in the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics* Vol 1 n°70, pp. 65-94.
- TRELAT E. (2005). *Contrôle optimal : Théorie et applications*. Edition Vuibert, Collection Mathématiques concrètes. France.
- WORD BANK. (2012). World Tables, Socioeconomic Time Series Access and Retrieval System. Washington D.C.
- ZEKANE A. (2004). Le rôle des infrastructures dans la croissance de l'économie algérienne : essai d'analyse économétrique. *Revue des sciences commerciales et de gestion*, n°3. Alger.