

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique  
Département de Génie Industriel

## Mémoire de Magister En Génie Industriel

Réalisé par

**BEHIRI Walid**

Ingénieur d'Etat en Génie Industriel de l'Ecole Nationale Polytechnique

Intitulé

# Modélisation de l'économie nationale par les systèmes multi-agents : Application au secteur du BTPH

Soutenu à l'ENP, le 18-06-2013 devant le jury composé de :

<b>Président :</b>	BOUBAKEUR Ahmed	Professeur	ENP Alger
<b>Examineurs :</b>	MESSAR Moncef	MC (A)	Université d'Alger
	NIBOUCHE Fatima	MC (A)	ENP Alger
<b>Directrice du Mémoire :</b>	BELMOKHTAR Oumhani	Professeur	ENP Alger
<b>Invité :</b>	BAKALEM Mohammed	Docteur	

**ENP 2013**

Ecole Nationale Polytechnique 10, Avenue Hassen Badi, El Harrach – Alger

Email : enp@ist.cerist.dz

## *Dédicace*

*À mes Parents qui n'ont cessé de me rappeler  
qu'on ne peut se fier à la richesse quelle qu'elle  
soit. Seule l'instruction fait exception.*

*À ma sœur Amina et mon frère Abdelkader.*

*À tous mes amis.*

*Walid*

## **Remerciements :**

Je tiens à remercier infiniment Monsieur BAKALEM, pour son suivi, ses précieux conseils et ses remarques, qui m'ont permis de réaliser et de mettre en valeur mon travail, et cela, malgré un emploi du temps assez chargé.

Je tiens à remercier infiniment, également, Madame BELMOKHTAR pour ses inestimables remarques ainsi que, et surtout, le temps qu'elle m'a consacré.

Je tiens à remercier Madame ABOUN notre chef de département, qui a toujours veillé à ce que l'environnement d'étude soit approprié, pour nous permettre de tirer les meilleurs enseignements de notre cursus. Mais aussi, tous les enseignants du département Génie Industriel, pour leur soutien tout au long de notre formation (en graduation et post graduation), en promouvant un cadre d'études dynamique, stimulant ainsi nos capacités à nous dépasser en tout temps.

Je tiens à remercier, enfin, toutes les personnes que je ne saurais citer, mais qui m'ont tant apporté en termes de connaissances, d'idées pour l'accomplissement de ce travail de recherche, ou d'encouragement de tous les genres.

## ملخص:

يهدف هذا البحث إلى إظهار أنه يستحسن استعمال نمذجة متعددة الوكلاء لنمذجة الاقتصاد الجزائري (بسبب خصائصه)، عوض تكيف نموذج التوازن العام، الذي قد أثبت عدم كفاءته، عبر عجزه عن تنبأ الأزمة الاقتصادية ل2007، التي لا تزال تتواصل الى يومنا هذا. لهذا الغرض، نبدأ بعرض نقائص نموذج التوازن العام قبل المرور الى اظهار امكانيات النمذجة المتعددة الوكلاء، و قدراتها على التكفل بخصائص النمذجة الاقتصادية. بعد ذلك، نقوم بتبيين خصائص الاقتصاد الوطني، التي تسمح لنا بإظهار أنه يمكننا القيام بنمذجة متعددة الوكلاء في هذا الاطار، و أكثر من ذلك، أنه من المستحسن استعمال هذه الطريقة. لايات نتائج هذا البحث، نقترح نمذجة من نوع متعددة الوكلاء لنمذجة قطاع من الاقتصاد الوطني، باستعمال مزايا هذه الطريقة لإدارة صدمة مر بها هذا القطاع في الماضي. القطاع المعين هو قطاع البناء، الأشغال العمومية و الموارد المائية، و الصدمة مشخصة ببرنامح الاستثمار الرئاسي ل2005-2009. بمأ الطواهر الاقتصادية تتكرر، و الاقتصاد الوطني معرض لنفس المحفزات، هذه المحاولة للنمذجة، تسمح لنا بتأكيد الاقتراح السابق حول تكيف الاقتصاد الوطني مع نمذجة متعددة الوكلاء.

**المفاتيح:** النمذجة الاقتصادية، الاقتصاد الجزائري، نموذج التوازن العام، نمذجة متعددة الوكلاء، قطاع البناء و الأشغال العمومية و الموارد المائية في الجزائر.

## Résumé :

Ce travail de recherche vise à montrer, qu'il serait plus judicieux de passer par une modélisation multi-agents, du modèle macroéconomique algérien (en raison de ses spécificités), que de passer par l'adaptation d'un modèle d'équilibre général, ayant démontré son inefficacité, entre autres, dans la prévision de la crise de 2007 et qui perdure jusqu'à nos jours.

Pour cela, nous commençons par la mise en évidence des carences des modèles DSGE (Dynamic Stochastic General Equilibrium), avant de passer à la mise en évidence des avantages des systèmes multi-agents et de leur capacité à prendre en charge les spécificités de la modélisation économique. Dans un second temps, nous mettons en évidence les caractéristiques et spécificités de l'économie algérienne, qui font qu'une modélisation de type multi-agents est, dans un premier temps, possible, et dans un second temps, recommandable.

Pour corroborer ce travail de recherche, nous proposons une modélisation multi-agents d'un sous-secteur de l'économie nationale, en utilisant les avantages de cette approche pour la prise en charge d'un choc qu'a connu ce dernier dans le passé. Le sous-secteur en question est celui du BTPH, et le choc à étudier est celui du programme présidentiel 2005-2009.

Les phénomènes économiques étant reproductibles, et l'économie nationale répondant aux mêmes stimuli et par extrapolation, cette tentative de modélisation nous permet d'appuyer la proposition précédente, selon laquelle, l'économie nationale est adaptée à une modélisation multi-agents.

**Mots clés :** Modélisation économique, Economie Algérienne, Modèles DSGE, Systèmes multi-agents, Secteur du BTPH en Algérie.

## Abstract:

This research aims to show that it would be better to use a multi-agent modeling, for Algerian macroeconomic model (due to its characteristics) then to pass through the adaptation of a general equilibrium model, that proved their inefficiency in anticipation of the 2007 economic crisis, which continues till today.

To do this, we start by highlighting the shortcomings of DSGE models (Dynamic Stochastic General Equilibrium), before moving to the demonstration of the advantages of multi-agent systems and their ability to support the specific economic modeling. Then, we will highlight the features and characteristics of the Algerian economy, which shows that modeling it through multi-agent system is possible and furthermore is recommended.

To corroborate this research, we propose a multi-agent modeling of a sub-sector of the national economy, using the advantages of this approach for the management of shock they experienced in past. The sub-sector we choose is the "BTPH", and the shock is the presidential program of 2005-2009.

Economic phenomena being reproducible, and the national economy responding to the same stimuli and by extrapolation, this attempt of modeling allows us to support the previous proposal that the national economy is adapted to a multi-agent modeling.

**Keywords:** Economic modeling, Algerian economics, DSGE models, multi-agent systems, BTPH Sector in Algeria.

## Table des Matières

### Introduction Générale :

I.	Contexte .....	2
II.	Problématique.....	3
1.	Premier axe : Axe de recherche global.....	3
2.	Second axe : Axe de recherche du magistère .....	3
III.	Organisation du mémoire .....	4
1.	Premier chapitre : Introduction à la modélisation macroéconomique.....	4
2.	Deuxième chapitre : Systèmes multi-agents et leur utilisation dans la modélisation macroéconomique .....	4
3.	Troisième chapitre : Economie nationale - Caractéristiques et hypothèses .....	4
4.	Quatrième chapitre : Tentative de modélisation multi-agents du secteur du BTPH.....	6

### CHAPITRE I : Introduction à la modélisation macroéconomique

I.	Introduction .....	9
II.	Emergence de la macroéconomie et du modèle Keynésien .....	9
1.	Pré-Keynésien et loi de Say .....	9
2.	Macroéconomie Keynésienne : Emergence et fondements de la discipline [Key 36] .	10
2.1	Le livre de Keynes « La théorie générale de l'emploi, de l'intérêt et de la monnaie » .....	11
2.2	La théorie keynésienne.....	11
III.	Modèle de type IS-LM .....	14
1.	L'équilibre sur le marché de la monnaie (LM) .....	14
1.1	Motifs de détention .....	14
1.2	La courbe LM.....	16
2.	L'équilibre sur le marché des biens (IS) .....	17
3.	L'équilibre IS-LM .....	18
3.1	Version keynésienne .....	19
3.2	Versions classiques .....	19
IV.	Modèle DSGE .....	22
1.	La critique des modèles macroéconomiques traditionnels.....	22
1.1	Des critiques empiriques .....	23
1.2	Une critique théorique.....	23
1.3	Une critique pratique.....	23
1.4	La méthodologie de l'équilibre général dynamique.....	23

2.	Modèles DSGE : Présentation des modèles et de leurs spécifications.....	24
2.1	Modèle de Christiano, Eichenbaum et Evans / Smets et Wouters .....	24
2.1.1	Travail agrégé .....	25
2.1.2	Les ménages.....	25
2.1.3	Bien agrégé .....	26
2.1.4	Les entreprises intermédiaires.....	26
2.1.5	Politiques fiscale et monétaire et conditions d'équilibre .....	26
2.2	Evaluation du Modèle de Christiano, Eichenbaum et Evans [Moy 07].....	26
V.	Insuffisance des modèles d'équilibre général et nécessité d'une nouvelle approche.....	26
1.	Les limites en économie monétaire et financière .....	27
1.1	Une économie « cashless » .....	27
1.2	L'absence du crédit, des banques commerciales et de l'intermédiation financière ...	28
1.3	Des limites en matière de finance et prix des actifs .....	29
2.	Des limites en matière de politiques économiques .....	30
3.	Des limites des méthodes .....	31
3.1	Les limites de l'hypothèse d'agent représentatif.....	31
3.2	Les limites de l'hypothèse d'anticipations rationnelles .....	31
3.3	Le problème des non linéarités et de la linéarisation .....	31
3.4	Le traitement de l'incertitude .....	32
VI.	Conclusion.....	33

## **CHAPITRE II : Systèmes multi-agents et leur utilisation dans la modélisation macroéconomique**

I.	Introduction .....	35
II.	Systèmes multi-agents.....	35
1.	L'agent .....	35
1.1	L'éco-agent .....	36
1.2	L'agent BDI .....	36
1.3	L'agent AOP.....	36
2.	L'environnement .....	37
2.1	Point de vue du système multi-agent .....	37
2.2	Point de vue de l'agent.....	37
2.3	Point de vue du concepteur du système .....	37
3.	L'interaction .....	37
4.	La communication.....	38
5.	L'organisation et les rôles .....	38
III.	Déroulement de l'approche coopérative .....	39

1.	Point de vue général de la résolution coopérative.....	39
2.	Protocoles de rôles : point de vue de l'agent perturbé.....	40
3.	Protocoles de rôles : point de vue de l'agent coopérant.....	40
4.	Mise à jour des connaissances.....	40
5.	Les formes de coopération .....	42
IV.	Les systèmes multi-agents en économie .....	42
1.	Intérêt des systèmes multi-agents en économie .....	42
2.	Quelques tentatives d'application des systèmes multi-agents en économie .....	43
2.1	Investigation du potentiel des SMA dans l'analyse économique [Can 09] .....	43
2.1.1	Interaction Entreprise-Banque au niveau macroéconomique .....	44
2.1.2	Interprétation de certains concepts clés de la théorie générale de Keynes .....	45
2.1.3	Evaluation de l'impact de la politique monétaire sur l'hypothèse d'agents à rationalité limitée .....	46
2.2	Un modèle macroéconomique multi-agents avec monnaie endogène [Sep 09] .....	48
2.2.1	Caractéristiques générales de ce modèle.....	49
2.2.2	Le cycle du modèle .....	53
2.2.3	Conclusions relatives à ce modèle .....	53
V.	Conclusion.....	54

### **CHAPITRE III : Economie nationale - Caractéristiques et hypothèses**

I.	Introduction .....	56
II.	Spécificités de l'économie Algérienne.....	56
1.	Evolution historique de l'économie algérienne.....	56
2.	L'économie algérienne face aux défis du nouveau millénaire.....	57
2.1	Secteur de l'industrie .....	57
2.2	Secteur de l'agriculture .....	59
2.3	Secteur de l'énergie et des hydrocarbures.....	60
2.3.1	Caractéristiques du pétrole.....	61
2.3.2	Evolution des prix du pétrole .....	62
2.3.3	Place des hydrocarbures dans l'économie nationale et leur gestion .....	63
2.4	Marché du travail et chômage .....	67
2.4.1	Structure de la population active et du chômage .....	67
2.4.2	Structure de l'emploi par type d'employeur (Privé / Public) et par secteur d'activité.....	68
III.	Evolution et état des indices macroéconomiques de l'Algérie .....	71
1.	Valeur de l'activité économique : le Produit Intérieur Brut « PIB ».....	71
2.	Coût de la vie : l'indice des prix à la consommation .....	75

3.	Mesure du chômage : le taux de chômage .....	77
IV.	Intérêt d'une modélisation multi-agents de l'économie nationale .....	79
V.	Conclusion.....	80

#### **CHAPITRE IV : Tentative de modélisation multi-agents du secteur du BTPH**

I.	Introduction .....	83
II.	Caractéristiques et hypothèses sur le secteur du BTPH en Algérie .....	83
1.	Evolution du secteur du BTPH.....	83
2.	Situation du secteur du BTPH à l'aube de 2005 .....	85
2.1	Transports et Travaux Publics.....	85
2.2	Habitat et infrastructures publiques .....	87
2.3	Hydraulique.....	89
3.	Programme d'investissement public pluriannuel 2005-2009.....	90
III.	Proposition d'un modèle multi-agents du secteur du BTPH en Algérie .....	91
1.	Modélisation conceptuelle par les systèmes multi-agents du secteur du BTPH.....	91
1.1	Démarche d'exécution du programme présidentiel au niveau du secteur du BTPH : identification des agents et des interactions inter-agent.....	92
1.2	Présentation et caractéristiques des différents intervenants .....	94
1.1.1	L'Etat .....	94
1.1.2	Les Ministères .....	94
1.1.3	Les Projets.....	95
1.1.4	Les Entreprises de Réalisation .....	95
1.1.5	Les Fournisseurs .....	96
1.1.6	Ressources Humaines Qualifiées (Emplois).....	96
1.1.7	Les Banques .....	96
1.3	Proposition d'un modèle multi-agents traduisant le déroulement du processus d'exécution du programme présidentiel.....	97
2.	Les hypothèses du modèle.....	106
3.	Définition des règles de priorités arrêtées .....	110
IV.	Déroulement du Processus au cours d'une période.....	111
V.	Conclusion.....	115

#### **Conclusion Générale**

I.	Introduction .....	117
II.	Contribution .....	117
1.	Première contribution : Nécessité d'une nouvelle approche de modélisation .....	117
2.	Deuxième contribution : Intérêt de la modélisation multi-agents en économie.....	118

3.	Troisième contribution : Intérêt de la modélisation multi-agents dans le cas de l'économie nationale .....	118
III.	Perspectives.....	120
1.	Première perspective : Validation du modèle multi-agents, de l'investissement dans le cadre du programme présidentiel dans le secteur du BTPH .....	120
2.	Deuxième perspective : Proposition d'un modèle macroéconomique multi-agents de l'économie nationale .....	121
3.	Troisième perspective : Utilisation d'un modèle macroéconomique multi-agents de l'économie nationale, pour la proposition de politiques économiques alternatives plus performantes.....	121
	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>122</b>

## Liste des Figures

Figure I.1 : Encaisse et dépense du revenu .....	15
Figure I.2 : La courbe LM .....	17
Figure I.3 : La courbe IS .....	18
Figure I.4 : L'équilibre IS-LM .....	18
Figure I.5 : Équilibre IS-LM et écart inflationniste .....	20
Figure I.6 : Efficacité de la politique budgétaire.....	21
Figure I.7 : Efficacité de la politique monétaire.....	22
Figure II.1 : Point de vue général d'une résolution coopérative [Tra 01] .....	39
Figure II.2 : Protocole de rôle de résolution coopérative : point de vue de l'agent perturbé [Tra 01] .....	40
Figure II.3 : Protocole de rôle de résolution coopérative : point de vue de l'agent coopérant [Tra 01] .....	40
Figure II.4 : Protocole de rôle de mise à jour des connaissances : rôle émetteur [Tra 01] .....	41
Figure II.5 : Protocole de rôle de mise à jour des connaissances : rôle destinataire [Tra 01] .....	41
Figure II.6 : rôles des agents [Sep 09] .....	49
Figure II.7 : Interaction des agents [Sep 09] .....	50
Figure III.1 : Variation du prix de pétrole brut de 1970 à 2011 [Wor 11] .....	62
Figure III.2 : Pétrole - réserves prouvées [Wor 11] .....	64
Figure III.3 : Production pétrolière [Wor 11] .....	64
Figure III.4 : Gaz naturel - réserves prouvées [Wor 11] .....	65
Figure III.5 : Gaz naturel - production [Wor 11] .....	65
Figure III.6 : Part de la production d'hydrocarbure dans le PIB [ONS 11] .....	66
Figure III.7 : Evolution du PIB Nominal de 1970 à 2010 (en Milliards US\$) [She 11] .....	72
Figure III.8 : Structure du PIB (en milliards de DA) [ONS 11] .....	73
Figure III.9 : Evolution de la part des différentes composantes du PIB (%) [ONS 11] .....	73
Figure III.10 : Déterminants du prix de pétrole [IFP 09] .....	74
Figure III.11 : Croissance annuelle du PIB de 1970 à 2010 (en %) [She 11] .....	75
Figure III.12 : Evolution de l'IPC de 1970 à 2010 (en %) [ONS 11] .....	77
Figure III.13 : Structure de la population algérienne (2010) .....	77
Figure III.14 : Taux de chômage de 2000 à 2010 (en %) [ONS 11] .....	78
Figure IV.1 : Répartition des rôles en matière de services et de fourniture d'infrastructures dans le secteur des transports [BM 07] .....	86
Figure IV.2 : Evolution des dépenses d'investissements publics dans le secteur des transports de 1992 à 2004 en % du PIB et en % de l'investissement budgétaire [BM 07] .....	87
Figure IV.3 : Processus d'exécution du programme présidentiel – secteur du BTPH .....	93

Figure IV.4 : circulation des flux financier dans le cadre de l'exécution du programme présidentiel – secteur du BTPH .....	98
Figure IV.5 : Matrice des correspondances Sous-secteurs / Carences / Projets .....	107
Figure IV.6 : Caractéristiques préliminaires des projets .....	107
Figure IV.7 : Liste des entreprises de réalisation .....	108
Figure IV.8 : Liste des fournisseurs .....	109
Figure IV.9 : Liste des emplois .....	110
Figure IV.10 : Matrice des perturbations .....	110

# Introduction Générale

- I. Contexte
- II. Problématique
  - 1. Premier axe : Axe de recherche global
  - 2. Second axe : Axe de recherche du magistère
- III. Organisation du mémoire
  - 1. Premier chapitre : Introduction à la modélisation macroéconomique
  - 2. Deuxième chapitre : Systèmes multi-agents et leur utilisation dans la modélisation macroéconomique
  - 3. Troisième chapitre : Economie nationale - Caractéristiques et hypothèses
  - 4. Quatrième chapitre : Tentative de modélisation multi-agents du secteur du BTPH

### I. Contexte

Il y a un peu plus d'un siècle les échanges économiques se sont intensifiés, non seulement entre les différents agents économiques nationaux, mais à plus grande échelle, l'intensification des échanges inter-états a été encore plus édifiante. Il est devenu évident, que les connaissances de base de l'époque, régulant ces échanges, ne pouvait plus offrir une réponse pertinente aux différents acteurs. C'est ainsi, qu'on est passé des règles économiques « assez simplistes » traduisant des règles de bon sens, sur lesquelles c'étaient fondés les échanges économiques jusqu'alors, aux modèles économiques de plus en plus complexe, traduisant le fonctionnement de l'ensemble économique. Ces modèles sont censés nous donner les informations nécessaires au pilotage de cet ensemble « économie ». Néanmoins, l'histoire a enregistré plusieurs crashes, dont le plus important est celui de 1929, et qui a conduit à la refonte de la discipline et l'émergence de la macroéconomie comme discipline à part entière. Discipline dont on doit les fondements, à Keynes et à son modèle macroéconomique, qui a stimulé et continu à stimuler l'évolution des différents modèles. L'aboutissement actuel de la modélisation macroéconomique, a été atteint avec les modèles dynamiques et stochastiques d'équilibre général « DSGE ». Ces modèles ont reçu l'aval de la plupart des organismes et institutions économiques.

Les modèles DSGE sont employés par certaines banques centrales, telle que la banque centrale européenne, qui utilise le modèle de Christiano, Eichenbaum et Evans [Moy 07], mais aussi par le FMI, et d'autres institutions étatiques. Ces modèles furent présentés comme capables de fournir des prévisions robustes. Les avantages et avancées de ces modèles ont été mis en avant par de nombreux auteurs, on peut citer : Smets et Wouters [Sme 05], Walsh [Wal 06], Sahuc et Smets [Sah 07], Woodford [Woo 09]. Les différentes carences qu'on pouvait leur reprocher, ont été levées une à une, au fur et à mesure de l'avancer des mathématiques modernes et de l'informatique.

En Juillet / Août 2007, une nouvelle bulle éclate, c'est le début d'une crise financière qui va vite se transformer en crise économique, touchant tous les niveaux de l'économie au niveau mondiale. Dans ce contexte de crise généralisé, ces modèles n'arrivent plus à offrir de prévision fiable, et ce n'est que suite à cette crise, que les économistes se sont penchés sur leurs limites.

Ainsi, les limites des modèles DSGE standards ont été regroupées en trois blocs. En premier, celles touchant l'économie monétaire et financière, le crédit, les banques et enfin la finance et le prix des actifs (ces problématiques sont au centre du déclenchement et de la propagation de la dernière crise financière). Le second bloc de limites, concerne les politiques économiques (monétaire et fiscale). En effet, des politiques monétaires non conventionnelles ont été menées pendant la crise, à cause de la grande instabilité financière, et d'amples plans de relance budgétaire ont aussi été mis en œuvre. Enfin, le troisième ensemble porte sur l'adaptation à la crise des méthodes et hypothèses de ces modèles, tel que l'agent représentatif ou la linéarisation.

Les dernières générations de modèles DSGE développées suite à la crise, réduisent ces limites. Les analyses qui y ont été faites, mettent en évidence que de nombreuses déficiences sont atténuées, mais que des limites majeures demeurent.

Au vu de l'ampleur de la crise et des limites majeures des modèles DSGE en suspens, une remise en question totale de ces derniers s'impose, du moins, c'est l'avis d'une partie de la communauté des économistes, dont une synthèse est rapportée par Emmanuel Carré dans [Car 10].

Ces dernières années, issus de l'intelligence artificielle distribuée, les systèmes multi-agents ont connu des applications aussi diverses que les secteurs auxquelles ils ont été appliqués (à titre d'exemple, dans l'automatisation des processus et de la production, dans la logistique, pour les robots coopératifs, en physique des particules dans l'étude du comportement des particules élémentaires, en chimie dans les études moléculaires, mais aussi, dans des domaines où l'on s'attend encore moins à retrouver ce genre d'approche, tel que la sociologie, pour laquelle cette approche permet d'étudier le comportement des communautés et des individus les constituants...). En économie, l'utilisation des systèmes multi-agents, peut s'inscrire dans le prolongement naturel de la réflexion économique. En

effet, dans la définition même de cette science, de ses composantes ainsi que, dans son fonctionnement, on retrouve les principes de base d'un système multi-agents, tels que : les agents économiques, les interactions inter-agents, l'évolution de l'environnement et son impact sur le comportement des agents, mais aussi, les négociations et compromis inter-agents qui permettent l'atteinte d'un certain équilibre du système.

## II. Problématique

La problématique de ce travail de recherche se définit à travers deux axes, un premier axe, global et à long terme, et un second axe, à plus court terme.

### 1. Premier axe : Axe de recherche global

Il s'agit de procéder à une modélisation multi-agents de l'économie nationale, avec deux objectifs principaux, dont le premier étant, l'évaluation de cette dernière et de son évolution future et le second, la possibilité d'évaluer des politiques alternatives. Pour procéder à cela, il est nécessaire de montrer l'adéquation de l'économie nationale avec une modélisation multi-agents, et la pertinence de procéder par cette approche pour l'atteinte de ces objectifs. D'où, la nécessité du second axe de recherche.

### 2. Second axe : Axe de recherche du magistère

Il s'agit pour ce second axe, d'une part, de mettre en évidence la pertinence de l'axe de recherche principal (premier axe), et d'autre part, le développement d'une approche méthodologique qui servira de support pour ce dernier.

Résultat de plusieurs tentatives de développement et d'une succession de plusieurs politiques, aujourd'hui, l'économie nationale est caractérisée par quatre déterminants spécifiques, à savoir :

- L'informel ;
- La forte dominance du secteur public ;
- La dépendance totale (à plus de 98%) vis-à-vis des hydrocarbures (ressources épuisables, avec des prix en constante variation et dont les réserves de l'Algérie ne sont pas aussi importantes, pour permettre le soutien du reste de l'économie, tel qu'actuellement, pour une longue période) ;
- Ainsi que, le soutien des prix à la consommation.

Ces aspects particuliers de l'économie algérienne font que l'usage des modèles standards (il s'agit des modèles développés dans le cadre des économies de marché et dont l'efficacité, même pour la prise en charge de ces dernières, a été prise à défaut par la dernière crise économique initiée en 2007 et qui perdure encore) n'est pas très pertinent. En effet, les modèles standards ne sont pas très adaptés à la prise en charge d'aspects aussi instables que l'informel ou la dépendance vis-à-vis d'une ressource dont l'instabilité de la demande et des prix n'est plus à démontrer. De plus, ces modèles sont assez rigides et ils nécessitent une bonne connaissance et une définition rigoureuse du cadre économique global, ce qui représente un autre obstacle à une modélisation standard de l'économie nationale (au vu de la méconnaissance du cadre économique global et de tous les aspects non formalisables par les approches analytiques standards).

Dans ce contexte économique mondial particulier et avec les particularités de l'économie nationale, la pertinence d'une modélisation multi-agents prend tout son sens. En effet, l'utilisation des systèmes multi-agents a acquis une grande notoriété et un grand intérêt en économie ces dernières années. Elle est de plus en plus utilisée. « Elle fournit une réponse au manque de modèles qui étudient les dynamiques dans une société composée d'agents artificiels ayant une rationalité limitée » [Hoo 05].

Les systèmes multi-agents permettent de représenter les individus et leur comportement. En modélisant les comportements des individus, ils permettent de considérer les effets non linéaires des interactions entre les différents acteurs du système [Ben 03]. Dans le cadre de ce second axe, nous allons mettre en évidence, les raisons qui font qu'une modélisation multi-agents, dans le cas de l'économie algérienne, est plus pertinente qu'une modélisation suivant les approches standards.

Pour appuyer ce constat, nous allons développer l'approche méthodologique à suivre, pour l'établissement du modèle économique national et qui nous servira de support pour l'axe de recherche principal, ceci, à travers une partie de l'économie, qui a connu un bouleversement aussi important que connaît l'économie nationale dans sa globalité. Il s'agit du « choc » d'investissement massif qu'a connu le secteur du BTPH, dans le cadre du programme d'investissement exceptionnel 2005-2009.

### III. Organisation du mémoire

Dans ce travail de recherche, nous visant à démontrer l'intérêt de faire appel à une modélisation multi-agents dans le cadre de la modélisation économique, et plus particulièrement, dans le cadre du modèle économique algérien. Pour cela, ce travail de recherche a été partagé en quatre parties distinctes, formalisées à travers les quatre chapitres suivants :

#### 1. **Premier chapitre** : Introduction à la modélisation macroéconomique

Ce premier chapitre nous permet d'appréhender le contexte global de la modélisation macroéconomique, c'est ainsi, qu'on commence par un exposé de l'évolution de la modélisation macroéconomique. A travers, d'abord, le modèle de base proposé par Keynes, et qui a été formalisé par les modèles de type IS-LM. Ces modèles présentant un certain nombre de carences, ont donné lieu à un certain nombre de critiques qui, après plusieurs modèles « intermédiaires », ont abouti à un renouveau de la modélisation macroéconomique, à travers les modèles des cycles réels. Ces modèles sont formalisés aujourd'hui, par les modèles DSGE pour « Dynamic Stochastic General Equilibrium ». Présenté comme étant des modèles pouvant prendre en charge, la majeure partie des préoccupations des sciences économiques, en terme d'évaluation et de prévision, ces modèles ont montré leurs faiblesses à l'occasion de la crise économique initiée en 2007. Ces modèles n'ont pas su anticiper cette dernière, ni prévoir ses répercussions. Donc, ce chapitre sera ponctué par ce constat d'insuffisance des modèles standards, les plus évolués au jour d'aujourd'hui, et la nécessité d'un nouveau renouveau de la discipline.

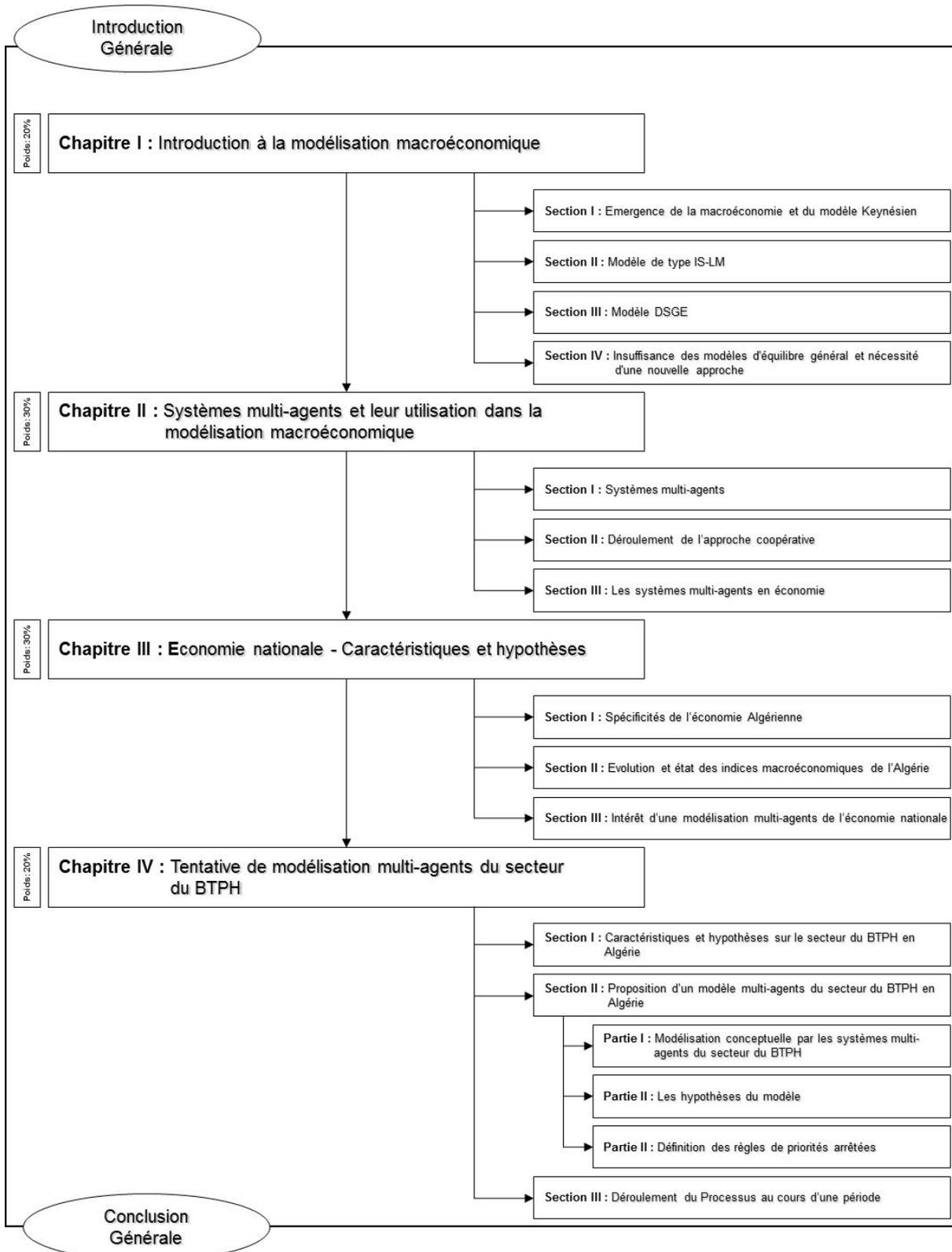
#### 2. **Deuxième chapitre** : Systèmes multi-agents et leur utilisation dans la modélisation macroéconomique

Le second chapitre a pour objectif de présenter l'une des approches de modélisation proposées par certains économistes, pour pallier aux insuffisances des modèles d'équilibre général, et pouvant arborer le renouveau de la discipline. Cette approche de modélisation propose de faire appel aux systèmes multi-agents. Donc, nous entamons ce chapitre par une présentation des systèmes multi-agents (agents et types d'agents, environnement, approche de coopération inter-agents...), avant de passer à la seconde partie, qui sera réservée aux systèmes multi-agents en économie. Dans ce chapitre, nous allons voir deux tentatives de modélisation multi-agents en économie, pour évaluer le potentiel de cette dernière et en tirer les conclusions pertinentes, pour appuyer notre choix pour cette approche.

#### 3. **Troisième chapitre** : Economie nationale - Caractéristiques et hypothèses

Le troisième chapitre consiste en une présentation des caractéristiques de l'économie algérienne et de sa structure, tout en montrant que cette dernière, s'apprête bien à une modélisation de type multi-agents, et plus encore, qu'il est plus avantageux dans ce cas, de passer par ce type de modélisation. Pour cela, après un rapide survol de l'historique économique de l'Algérie, dans ce chapitre, nous

allons présenter les spécificités de l'économie algérienne par secteur économique majeur, ce qui nous permet d'avoir un premier profile de cette économie qui s'apprête bien à une modélisation multi-agents, au vu de ses spécificités. Nous passons par la suite, à l'analyse des indices macroéconomiques du pays, leur composition et leur évolution, afin de faire ressortir quelques particularités difficilement appréhendables par les approches standards, et dont les spécificités des systèmes multi-agents nous permettent d'envisager leur appréhension. Nous allons conclure ce chapitre par une synthèse de l'intérêt d'une modélisation multi-agents de l'économie nationale.



#### 4. **Quatrième chapitre** : Tentative de modélisation multi-agents du secteur du BTPH

Ce chapitre est structuré de façon à nous permettre, à partir de la présentation des caractéristiques et la pose des hypothèses adéquates sur le secteur du BTPH (Bâtiment, Travaux Publics et Hydraulique) en Algérie, d'aboutir à la proposition d'un modèle multi-agents traduisant le comportement de ce secteur. Dans ce cadre-là, nous proposons d'abord, un schéma directeur du processus d'exécution du programme présidentiel, pour le secteur du BTPH, pour passer ensuite à la proposition d'un modèle multi-agents traduisant le déroulement de ce processus pour ce secteur. Nous clorons ce chapitre, par le déroulement d'une période du modèle développé.

# CHAPITRE I : Introduction à la modélisation macroéconomique

- I. Introduction
- II. Emergence de la macroéconomie et du modèle Keynésien
  1. Pré-Keynésien et loi de Say
  2. Macroéconomie Keynésienne : Emergence et fondements de la discipline [Key 36]
    - 2.1 Le livre de Keynes « La théorie générale de l'emploi, de l'intérêt et de la monnaie »
    - 2.2 La théorie keynésienne
- III. Modèle de type IS-LM
  1. L'équilibre sur le marché de la monnaie (LM)
    - 1.1 Motifs de détention
    - 1.2 La courbe LM
  2. L'équilibre sur le marché des biens (IS)
  3. L'équilibre IS-LM
    - 3.1 Version keynésienne
    - 3.2 Versions classiques
- IV. Modèle DSGE
  1. La critique des modèles macroéconomiques traditionnels
    - 1.1 Des critiques empiriques
    - 1.2 Une critique théorique
    - 1.3 Une critique pratique
    - 1.4 La méthodologie de l'équilibre général dynamique
  2. Modèles DSGE : Présentation des modèles et de leurs spécifications
    - 2.1 Modèle de Christiano, Eichenbaum et Evans / Smets et Wouters
      - 2.1.1 Travail agrégé
      - 2.1.2 Les ménages
      - 2.1.3 Bien agrégé
      - 2.1.4 Les entreprises intermédiaires
      - 2.1.5 Politiques fiscale et monétaire et conditions d'équilibre
    - 2.2 Evaluation du Modèle de Christiano, Eichenbaum et Evans [Moy 07]
- V. Insuffisance des modèles d'équilibre général et nécessité d'une nouvelle approche
  1. Les limites en économie monétaire et financière
    - 1.1 Une économie « cashless »
    - 1.2 L'absence du crédit, des banques commerciales et de l'intermédiation financière
    - 1.3 Des limites en matière de finance et prix des actifs
  2. Des limites en matière de politiques économiques

- 3. Des limites des méthodes
  - 3.1 Les limites de l'hypothèse d'agent représentatif
  - 3.2 Les limites de l'hypothèse d'anticipations rationnelles
  - 3.3 Le problème des non linéarités et de la linéarisation
  - 3.4 Le traitement de l'incertitude
- VI. Conclusion

### I. Introduction

Dans ce travail, nous nous proposons de développer une nouvelle approche de modélisation macroéconomique. Mais avant, il est nécessaire de voir ce qui a été fait en terme de modélisation macroéconomique jusqu'à maintenant, et quelles sont les raisons qui ont fait, qu'une nouvelle approche s'impose pour répondre au même besoin.

Ce chapitre a pour objectif, le retraçage de l'évolution de la modélisation macroéconomique de son apparition jusqu'à aujourd'hui, tout en mettant en relief les différentes carences de cette dernière. Ainsi, dans la première section de ce chapitre, nous allons voir l'émergence de la macroéconomie qui est, sans aucun doute, associée au modèle keynésien, puis, dans un second temps, nous allons voir, comment le modèle, littéraire et « ambigu », de Keynes, a été traduit en équation et en un modèle opérationnel, et qui a abouti sur les modèles de type IS-LM. La troisième section de ce chapitre sera consacrée à l'introduction des modèles d'équilibre général « DSGE », d'abord, à travers les différentes critiques des modèles de type IS-LM, puis la présentation des modèles DSGE, en réponse à ces critiques. On verra aussi leurs spécificités. La dernière partie de ce chapitre, sera réservée aux différentes limites relevées par les économistes, en ce qui concerne les modèles d'équilibre général.

### II. Emergence de la macroéconomie et du modèle Keynésien

Il est incontestable que la macroéconomie en tant que discipline à part entière, doit son émergence aux travaux post crise économique de 1929 de Keynes, et son livre « La Théorie générale de l'emploi, de l'intérêt et de la monnaie », paru en 1936, qui mettait en place les fondements de cette discipline. Mais avant d'exposer cette vision, visionnaire de l'économie en ce temps là, essayons de voir qu'est ce qu'a été la macroéconomie avant cela.

#### 1. Pré-Keynésien et loi de Say

On peut dire que la macroéconomie prékeynésienne, développée principalement dans le cadre des travaux de l'école classique, est représentée par la loi de Say. Cette loi avait permis de mettre d'accord tous les classiques. Effectivement, au début du 19<sup>e</sup> siècle, elle a réussi à expliquer les crises de surproduction auxquelles était soumise l'économie durant cette période. Les grands économistes, tel que Ricardo, James Mill, John Stuart, ... n'ont eu d'autre choix que de l'approuver.

La loi de Say peut s'énoncer sous plusieurs formes qui s'enrichissent mutuellement [Bor 01]:

- 1) « *Les produits s'échangent contre des produits* » (formulation originale de Say). C'est la formulation première, qui signifie que l'échange monétaire est une illusion d'optique : dans tout échange monétaire (biens contre monnaie, ou services contre monnaie) se cachent en fait des échanges réels : biens contre services, biens contre biens, services contre services. Ceci peut se préciser en disant :
- 2) Toute offre est aussi une demande. Personne n'offrirait quelque chose sur un marché, si ce n'était pour se procurer autre chose, d'une valeur jugée équivalente : personne n'offrirait son travail, si ce n'était pour les dépenses que le salaire permettra ; et aucune entreprise ne cherchera à vendre ses produits, si ce n'est pas en vue d'acheter de nouvelles fournitures, d'investir, ou de distribuer des revenus à ceux qui les ont gagnés.
- 3) A chaque offre individuelle correspond une demande individuelle égale. Si chaque offre est aussi une demande, cette équivalence est inévitable, car il n'y a pas de différence entre ces deux choses : j'offre et je demande à la fois, c'est la même chose. Pour chaque agent économique, toute offre est aussi une demande, et une demande de même valeur, puisque c'est la même chose.
- 4) La somme de toutes les offres est égale à la somme de toutes les demandes. C'est la conséquence logique de la proposition précédente, quand on considère l'ensemble des individus de la société.

Chaque offre étant égale à une demande, la somme de toutes les offres est égale à la somme de toutes les demandes.

- 5) Les désajustements sectoriels entre offre et demande se compensent. Bien sûr, rien ne garantit que, dans chaque secteur de l'économie, l'offre sera égale à la demande. Mais l'égalité globale du point précédent nous garantit que les secteurs qui connaissent des excès d'offre coexistent avec des secteurs à excès de demande, excès dont la somme algébrique doit être zéro. Ainsi, la loi de Say est compatible avec des crises structurelles, dans lesquelles certains secteurs produisent trop et d'autres trop peu, mais pas avec des crises générales de surproduction dans lesquelles tous les secteurs produisent trop. Vue sous cet angle, la loi de Say indique aussi comment les crises se résolvent : les secteurs à excès de demande sont nécessairement des secteurs où les profits sont élevés : ils doivent donc attirer des ressources, qui se retireront des secteurs à excès d'offre. Le mécanisme du profit, le jeu des marchés, est un phénomène correcteur des crises structurelles. Dans ce cadre, l'intervention de l'État n'est pas nécessaire, elle risque même d'être nuisible, car ce sont généralement les hommes d'affaires, non ceux de l'État, qui sont informés sur les secteurs de l'économie. La loi de Say aboutit donc au laissez-faire, mais elle ne précise pas combien de temps il faut à l'économie pour retrouver sa santé lors d'une crise structurelle, pour résorber le chômage.
- 6) « L'offre crée sa propre demande ». C'est la formule utilisée par Keynes pour qualifier la loi de Say, mais cette formule est une caricature ; contrairement aux explications précédentes, elle introduit l'idée que les offres et les demandes des agents sont des choses différentes, et que seule une mystérieuse alchimie pourrait les faire coïncider. La formule de Keynes prête à la loi de Say des propriétés magiques, pour mieux la disqualifier. On ne retiendra pas cet énoncé comme sérieux.

Une question difficile et toujours débattue, concerne la place de la monnaie dans la mécanique qui vient d'être décrite. Est-elle un bien comme les autres, avec une offre et une demande ?

- S'il s'agit d'un bien comme les autres, alors les énoncés 4 et 5 sont aussi vrais pour le marché de la monnaie. Cela a des conséquences importantes, puisque dans cette hypothèse, on peut imaginer que tous les marchés de biens et services soient en excès d'offre, alors que le marché de la monnaie serait en excès de demande, la demande excédentaire de monnaie étant égale à la somme des surproductions sur les autres marchés : il pourrait donc y avoir surproduction générale de biens et services. Sous cette forme incluant la monnaie, la loi est connue de la théorie économique moderne comme étant la « *Loi de Walras* », et est considérée comme toujours vraie.
- Si au contraire la monnaie ne constitue pas un marché comme les autres, les énoncés 4 et 5 ne s'appliquent qu'aux biens et services, et il ne peut pas y avoir de surproduction générale ; cela semble être la position de Say, et la théorie économique réserve donc à cette interprétation le terme de « *Loi de Say* », tout en considérant qu'elle n'est pas forcément vraie.

Cette loi est restée acceptée jusqu'aux crises de l'entre-deux-guerres, crises de chômage massif et apparemment de surproduction générale. Les faits sont alors venus à bout des arguments purement logiques de Say, et Keynes a pu considérer en 1936 qu'il y a « *des faits d'observation trop manifestement incompatibles avec (les) conceptions anciennes* ».

## 2. Macroéconomie Keynésienne : Emergence et fondements de la discipline [Key 36]

Dans le cadre du travail que nous menons, axé sur la modélisation macroéconomique, nous considérons que cette discipline, a émergé avec les travaux de Keynes qui ont été présentés dans son livre « *La Théorie générale de l'emploi, de l'intérêt et de la monnaie* ». Dans ce qui suit, nous allons faire ressortir les grands traits, de ce qu'on appelle, la macroéconomie Keynésienne. Mais d'abord, une parenthèse sur ce livre.

### 2.1 Le livre de Keynes « La théorie générale de l'emploi, de l'intérêt et de la monnaie »

La théorie générale de l'emploi, de l'intérêt et de la monnaie est parue en 1936. Ce livre est certainement, dans le domaine de l'économie, le plus célèbre et le plus influent du vingtième siècle. Il a suscité une immense littérature et jusqu'à ce jour, on continue à commenter, interpréter, critiquer et à se demander ce que Keynes voulait vraiment dire. Cela n'est pas surprenant, pour deux raisons. La première est que le livre traite de problèmes auxquels étaient confrontées les sociétés du temps de Keynes, et auxquels elles demeurent confrontées. Le problème du chômage, par exemple, comme celui des trop grandes inégalités de revenu et de fortune, sont plus que jamais d'actualité. La seconde tient au caractère très singulier de ce texte volontairement construit pour surprendre et dérouter. La Théorie générale est un ouvrage qui ne relève d'aucune catégorie particulière, à part le fait que Keynes l'adresse à ses confrères économistes, ce n'est donc pas un livre grand public.

Pour la plupart des économistes, d'hier et d'aujourd'hui, le langage de ce livre le rendait opaque, difficile à comprendre et surtout à formaliser. D'autres ont écrit qu'il est rempli d'hypothèses vagues, d'argumentations ambiguës, parce que trop littéraires. Très tôt après la publication, on a commencé à reprocher à Keynes d'avoir renoncé à une présentation mathématique. On l'accusait d'avoir une attitude désinvolte à l'égard des définitions et des termes dont le sens changeait parfois selon les contextes.

Keynes disait de son livre : « Ce que je propose, c'est en définitive une théorie visant à comprendre pourquoi production et emploi sont à ce point sujets à fluctuations. Cette théorie ne prétend pas offrir de remède miracle permettant d'éliminer ces fluctuations et de maintenir en permanence la production et l'emploi à leur niveau optimal. Pourtant, c'est bien à proprement parler une théorie de l'emploi, parce qu'elle explique pourquoi, en toutes circonstances, le niveau d'emploi est ce qu'il est. Bien entendu, je ne m'intéresse pas uniquement au diagnostic mais aussi au remède, et quelques pages de mon ouvrage y sont consacrées. Je considère cependant que mes suggestions pour traiter le mal, qui je l'avoue ne sont pas encore entièrement au point, se situent sur un plan tout à fait différent du diagnostic » [Key 37].

### 2.2 La théorie keynésienne

Cette théorie s'intéresse à ce qui détermine le niveau de l'emploi dans une économie. Compte tenu des hypothèses faites sur l'organisation de la production et de l'horizon de court terme dans lequel on se trouve, la détermination du niveau de l'emploi est, simultanément, celle du niveau de la production et du revenu national. Mais il est clair que l'emploi est l'objectif prioritaire. Keynes désigne le chômage comme le premier vice de l'économie contemporaine.

Dans le domaine de l'économie, le passé nous fait hériter d'une certaine quantité de capital, sous la forme de bâtiments, machines, outils, dont on ne peut modifier facilement les conditions d'utilisation. Il y a aussi une main d'œuvre disponible avec certaines qualifications qui, elles aussi, sont données à court terme et difficilement transformables. On dispose de techniques et de connaissances utilisables, de formes d'organisation industrielle, commerciale, financière, de modalités de concurrence. L'économie est encadrée dans une structure sociale qui influence, en particulier, la répartition des revenus. Elle est composée d'individus, regroupés en classes, qui ont des habitudes et des goûts relativement rigides à court terme. Bien entendu, rien de tout cela n'est constant et coulé dans le béton. Mais, dans l'horizon temporel dans lequel il situe son analyse, Keynes considère ces éléments comme donnés.

La propension à consommer est la proportion de son revenu qu'un individu consomme. Elle se caractérise par le fait que, lorsque le revenu augmente, la dépense pour la consommation augmente, mais dans une proportion moindre : « Cette loi psychologique a joué un rôle de la plus haute importance dans la maturation de mes propres convictions, et c'est un élément je crois absolument fondamental de la théorie de la demande effective qui est exposée dans mon livre » [Key 37]. Cela est

valable tant pour un individu que pour une société. D'une augmentation donnée de son revenu, un riche consommera une partie moins importante qu'un pauvre. Et les sociétés, à mesure qu'elles s'enrichissent, épargnent une fraction de plus en plus importante de leurs revenus. Cette vertu privée devient un vice public, un obstacle à l'atteinte du plein emploi. Déterminée par un ensemble de facteurs d'ordre social et institutionnel, la propension à consommer est relativement stable à court terme.

La deuxième composante de la demande, l'investissement, est au contraire très volatile. C'est pourquoi elle joue un rôle moteur dans la dynamique du capitalisme et Keynes lui consacre la plus grande partie de son livre. C'est ici qu'interviennent les deux autres facteurs psychologiques. L'individu qui investit, le fait dans l'espoir d'obtenir un flux de rendements sur un certain horizon temporel. Il ne peut être sûr de rien. Il ne prend pas ses décisions en comparant des recettes certaines ou même probables et des coûts actuels. L'investissement ne relève pas de probabilités mesurables, mais relève plutôt des « esprits animaux », « d'un besoin spontané d'agir plutôt que de ne rien faire – et non en conséquence d'une moyenne pondérée de bénéfices quantitatifs multipliés par des probabilités quantitatives [...] Lorsqu'on évalue les perspectives de l'investissement, il faut donc tenir compte des nerfs et des humeurs, des digestions même et des réactions au climat des personnes dont l'activité spontanée les gouverne en grande partie. » [Key 36]. On a ici un écho des réflexions de Keynes sur les probabilités.

L'incertitude n'interdit donc pas la décision, la prévision à long terme peut être malgré tout relativement stable. C'est ici qu'intervient, pour la mesurer, l'efficacité marginale du capital. Ce concept sert à comparer le flux de rendements futurs espérés d'un investissement, c'est-à-dire d'un achat de bien de capital, et le prix d'offre, ou coût de remplacement, de ce bien de capital. L'efficacité marginale du capital ne doit pas être confondue, comme c'est souvent le cas, avec la productivité marginale du capital conceptualisée par la théorie néoclassique. Cette dernière repose sur l'hypothèse que, lorsque les quantités des autres facteurs de production sont données, l'addition d'une unité de capital augmente d'une certaine quantité, et de manière décroissante, la production. Elle est mesurée en termes réels, et est égale à l'équilibre au revenu réel du capital. L'efficacité marginale du capital est au contraire calculée en comparant des flux monétaires.

Keynes estime qu'au fur et à mesure que l'investissement augmente (peu importe le type de capital), l'efficacité marginale du capital diminue, et ce pour deux raisons :

- D'abord le rendement escompté de ce capital diminue lorsque sa quantité augmente.
- Ensuite, la compétition autour des ressources servant à le produire tend normalement à faire monter son prix d'offre.

On peut tracer une courbe reliant, pour chaque bien capital, l'efficacité marginale et le niveau de l'investissement et, en agrégeant l'ensemble de ces courbes, on obtient la courbe d'efficacité marginale du capital, aussi appelée courbe de demande de capital.

L'une des caractéristiques les plus importantes du capitalisme contemporain, sur lequel Keynes avait insisté, est la séparation du contrôle et de la propriété du capital. Le plus souvent, l'investisseur emprunte la somme d'argent pour faire l'acquisition du bien capital. Le prêteur n'est pas un philanthrope et exige en retour un intérêt. L'emprunteur sera de son côté incité à accroître la quantité de son investissement jusqu'au moment où l'efficacité marginale du capital aura été réduite au niveau du taux de l'intérêt.

Il reste donc, pour compléter l'explication, à voir de quoi dépend le taux d'intérêt. Plutôt que d'égaliser l'épargne et l'investissement, le taux d'intérêt est une grandeur monétaire qui égalise l'offre et la demande de monnaie. Alors que l'offre est fixée par les autorités monétaires, la demande de monnaie est étroitement liée à la troisième variable psychologique fondamentale, la préférence pour la liquidité.

Selon Keynes, les maux du capitalisme contemporain, relatifs aux difficultés qui s'opposent au maintien d'une demande effective suffisante pour assurer le plein emploi, sont dus à un taux d'intérêt à long terme conventionnel et assez stable, associé à une efficacité marginale du capital capricieuse et fort instable. Cette situation est aggravée par le fait qu'à long terme, la préférence pour la liquidité et donc le taux d'intérêt ont tendance à augmenter. De plus, à mesure que les économies progressent et s'enrichissent, la propension à épargner a tendance à s'accroître. Ce qui a un impact, non seulement sur la demande de consommation, mais sur l'effet d'une augmentation de l'investissement sur l'augmentation du revenu. Le rapport entre ces deux dernières grandeurs est le multiplicateur d'investissement qui nous indique que, lorsqu'un accroissement de l'investissement global se produit, le revenu augmente d'un montant égal à  $k$  fois l'accroissement de l'investissement. Or le multiplicateur est déterminé par la propension à consommer. Il est d'autant plus élevé que, d'un accroissement de revenu, les individus en consomment une plus importante proportion.

L'épargne, considérée comme une grandeur comptable définie par la différence entre le revenu national et les dépenses de consommation est par définition égale à l'investissement. Mais il n'en est pas de même des intentions d'épargne et des intentions d'investissement. Ce sont les variations du revenu national qui ajusteront le niveau de l'épargne à celui de l'investissement. C'est ainsi que la vertu privée de l'épargne peut se transformer en vice public.

Keynes conclut de son analyse que, sans être violemment instable, les économies modernes peuvent se maintenir pendant longtemps à des niveaux d'activité très inférieurs au plein emploi. En outre il apparaît clairement que le plein emploi ou une situation voisine du plein emploi, est rare autant qu'éphémère. Si on représente la demande des biens de consommation par  $C$  et celle des biens d'investissement par  $I$ , le niveau du revenu national,  $R$ , relié au volume de l'emploi, peut donc être représenté par :

$$R = C + I$$

Il n'y a pas de mécanisme qui pousse automatiquement cette demande au niveau du plein emploi. C'est aux pouvoirs publics qu'il revient d'agir pour stimuler la demande effective, toutes les options sont ouvertes, des plus modérées aux plus radicales. On peut ainsi, par des politiques fiscales et des transferts, redistribuer les revenus des riches vers les pauvres et stimuler de ce fait la demande de consommation. La mise en place de l'État providence se trouve ainsi justifiée, non plus seulement pour des raisons éthiques et politiques, mais aussi économiques. L'aide aux chômeurs les empêche de se révolter mais contribue aussi à relancer l'économie.

La stimulation de l'investissement est tout aussi indispensable et on dispose d'une panoplie de mesures, monétaires, fiscales et autres qui sont d'un maniement plus rapide et plus facile. Le taux d'intérêt peut être manipulé via l'offre de monnaie. Mais aussi, l'État peut lui-même agir directement comme demandeur, entre autres dans le cadre de travaux publics. On peut ainsi ajouter un terme,  $G$ , à l'équation du revenu national :

$$R = C + I + G$$

Le commerce extérieur peut aussi être appelé à la rescousse, la différence entre la valeur des exportations et les importations,  $X$ , constituant un autre élément de la demande :

$$R = C + I + G + X$$

Ce sont là les instruments de ce qu'on appelle le « réglage de précision » des économies qui s'est mis en place un peu partout à partir de la seconde guerre mondiale.

Nous venons de voir que la théorie de Keynes, qu'il a exposée, à travers son livre, présente la situation économique prévalant à son époque conclut par la crise de 1929, il en a donné les raisons (Diagnostic), puis, un semblant de solution (lui-même l'ayant présenté comme tel). Comme on l'a vu plus haut, tout cela, exposé de façon littéraire. Donc, concrètement, Keynes n'a pas proposé de modèle à proprement dit dans sa théorie, mais les fondements de ce dernier. Par la suite, les études faites sur

cette théorie, ont permis de proposer des modèles mathématiques, plus ou moins développés. L'histoire retient trois jeunes économistes anglais, Harrod, Meade et Hicks qui, en 1937 proposèrent leur décodage. Leurs interprétations avaient plusieurs traits en commun. Leurs diagnostics quant au message central du livre étaient très proches. De plus, tous trois le trouvaient moins révolutionnaire théoriquement que ce que Keynes prétendait. Enfin, tous trois réussirent à transformer le raisonnement en prose de Keynes en un modèle mathématique simple, composé d'un petit nombre d'équations simultanées. Si cette transformation ne pouvait faire justice à la pensée kaléidoscopique de Keynes, au moins maintenant son message devenait compréhensible pour les économistes ordinaires. L'ironie est que si les trois modèles étaient proches en termes de contenu, seul l'un d'eux, celui de Hicks « *le modèle IS-LM* » connut le succès, il devint l'incarnation de la théorie keynésienne. Une des raisons de ce succès a été l'ingénieux graphique conçu par Hicks permettant de synthétiser sur un seul plan les positions d'équilibre de trois marchés (le marché des biens, de la monnaie et des obligations, le marché du travail étant, lui, laissé dans un état de déséquilibre déterminé d'une manière exogène). Ainsi, se constitua le second jalon de la théorie macroéconomique.

### III. Modèle de type IS-LM

Ce modèle considère deux équilibres, celui du marché des biens et services (IS pour Investment-Saving), et celui de la monnaie (LM pour Liquidity-Money). Quand ces deux équilibres sont réalisés simultanément, le revenu d'équilibre en découle, ainsi que le taux d'intérêt d'équilibre.

#### 1. L'équilibre sur le marché de la monnaie (LM)

Dans la problématique de ce modèle, la confrontation d'une offre et d'une demande de monnaie aboutit à une première condition d'équilibre macroéconomique. L'offre de monnaie est déterminée de la manière suivante : les autorités monétaires (Gouvernement, Banque Centrale) fixent la quantité de monnaie en circulation : pièces, billets, comptes courants et substituts proches (autres liquidités). Une fois fixée par la politique monétaire, cette quantité apparaît comme un paramètre (variable exogène), et n'est donc pas un résultat du modèle IS-LM. La capacité des autorités monétaires de fixer effectivement la quantité de monnaie en circulation n'est qu'une hypothèse de travail du modèle, elle n'est certainement pas absolue dans la réalité. Cette offre de monnaie est notée  $M_0$ . Contrairement à l'offre de monnaie, la demande réagit à des variables économiques, elle est déterminée dans le modèle. La demande de monnaie est donc une fonction ; on l'appelle aussi fonction de détention de monnaie, ou monnaie désirée. La demande de monnaie désigne la quantité de monnaie que les agents économiques dans leur ensemble souhaitent détenir ; c'est la somme de toutes les encaisses désirées individuelles. On notera  $M_d$  la demande de monnaie et  $L(\cdot)$  la fonction d'encaisses désirées. Le modèle IS-LM suppose que les agents économiques ajustent toujours leurs encaisses de manière à détenir effectivement ce qu'ils désirent, qu'ils satisfont donc leur demande de monnaie.

##### 1.1 Motifs de détention

Quelles sont les variables dont dépend la demande de monnaie, réelle ou monétaire ? Suivons Keynes qui distingue trois motifs de détention : les motifs de transaction, de précaution et de spéculation. Les deux premiers seraient à relier au revenu, le dernier au taux d'intérêt, ce qui permet d'écrire, sous certaines hypothèses simplificatrices :

$$M_d = L_1(Y) + L_2(i)$$

(Y : Revenu ; i : taux d'intérêt)

**Transaction :** L'analyse de ce premier motif part du constat que l'on détient des encaisses en vue des dépenses courantes, liées au revenu. Irving Fisher a développé les liens entre revenu et détention de monnaie. Ce lien peut se comprendre en imaginant un consommateur qui dépense son revenu petit

à petit entre deux paiements. Supposons un revenu mensuel de  $Y^*$ , payé tous les trente jours. Au début du mois, l'agent détient  $Y^*$  Unités Monétaires ; s'il dépense chaque jour un trentième de son revenu, son encaisse diminue régulièrement jusqu'au dernier jour, et juste avant la paye elle se réduit à 0, comme sur la figure I.1. On peut alors montrer que son encaisse moyenne (quantité de monnaie moyenne dans la caisse), sur chaque période de trente jours, est égale à  $M^* = Y^* / 2$ . La relation encaisse-revenu est donc très nette, et évidemment positive.

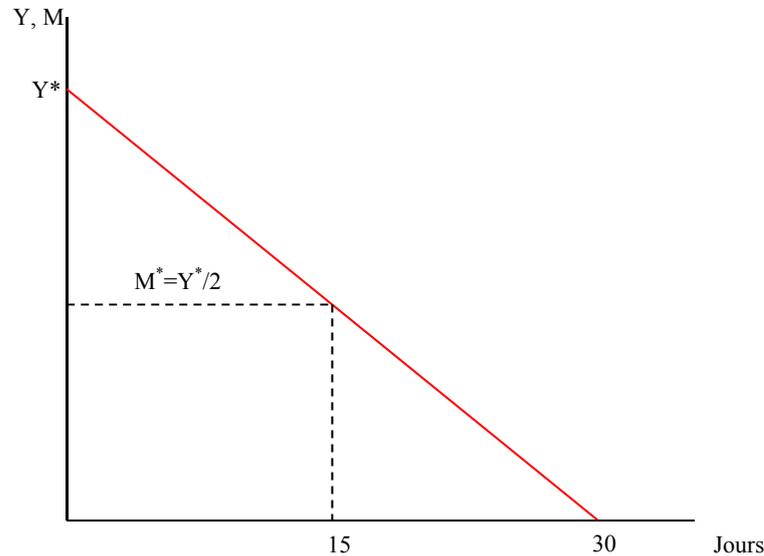


Figure I.1 : Encaisse et dépense du revenu

Cette relation encaisse-revenu est influencée par les modalités de paiement du revenu ; supposons qu'au lieu d'être payé tous les 30 jours, celui-ci est payé toutes les semaines (7 jours) ; alors le consommateur recevra chaque semaine  $(7/30)Y^*$  ; s'il dépense chaque jour  $1/7$  de son revenu, son encaisse moyenne est  $M^{*'} = 1/2 [(7/30)Y^*]$ , soit  $7/30$  de ce qu'elle était précédemment ( $M^*$ ).

Des économistes comme le français Allais et l'américain Baumol ont critiqué le côté trop élémentaire de cette relation, soulignant que le consommateur n'a pas intérêt à conserver tout son revenu sous forme monétaire, s'il peut le placer sur le marché financier entre la date de la paye et le moment où il sera dépensé. Supposons par exemple que le banquier soit prêt à rémunérer, au taux d'intérêt du marché  $i$ , toute somme déposée pour au moins 24 heures sur un compte d'épargne ; si le consommateur prévoit que ses dépenses seront bien  $1/30$  de  $Y^*$  chaque jour, il peut, le jour de la paye, garder  $Y^*/30$  sous forme liquide pour les dépenses d'aujourd'hui, et placer le reste par tranche de  $Y^*/30$  pour 1 jour, 2,3, jusqu'à 29 jours.

Chaque jour du mois, il retirera  $Y^*/30$  à la banque pour ses dépenses journalières. Ces placements lui permettent de gagner des intérêts, en minimisant son encaisse oisive. Dans ces conditions, l'encaisse moyenne sera simplement  $Y^*/30$ , ce qui est beaucoup plus faible que précédemment.

Le consommateur ne peut pas se livrer à cette politique sans rencontrer des coûts : il doit discuter avec son banquier, se rendre chaque jour à la banque pour retirer l'argent nécessaire à ses dépenses, etc. Il en résulte que la gestion optimale des encaisses doit tenir compte de ces coûts, et que probablement cela limitera les comportements de placements du revenu sous forme financière (non monétaire).

La détention optimale de monnaie pour chaque agent sera, en fonction des revenus des placements et des coûts de transaction définis ci-dessus, déterminée entre un maximum ( $Y^*/2$ ) et un minimum ( $Y^*/30$ ). Plus le taux d'intérêt est élevé, plus les agents sont incités à placer leur revenu en attendant de le dépenser, moins donc ils sont incités à détenir des encaisses.

Dans cette hypothèse, le motif de transaction signifie une fonction de demande de monnaie du type :

$$M_d = L(Y, i) \quad \text{avec} \quad \delta L / \delta Y > 0 \quad \text{et} \quad \delta L / \delta i < 0$$

(La variation des encaisses augmente avec l'augmentation du revenu et diminue avec l'augmentation du taux d'intérêt).

S'il s'agit des encaisses réelles, on aura :

$$m_d = m_d(Y/P; i) \quad \text{avec} \quad \delta m_d / \delta (Y/P) > 0 \quad \text{et} \quad \delta m_d / \delta (i/P) < 0$$

(P étant un indice du niveau général des prix).

**Précaution** Le motif de précaution est lié à la nécessité de faire face à des dépenses imprévues ; une encaisse de précaution est constituée en vue de pouvoir effectuer sans délai ces dépenses. Il est naturel de considérer que cette encaisse est d'autant plus élevée que le revenu dont on dispose est fort (lien positif entre l'encaisse  $M_d$  (ou  $m_d$ ) et le revenu  $Y$ ).

**Spéculation** Ce dernier motif fait intervenir pour un agent les coûts et gains du placement de sa richesse sur les marchés financiers en relation avec la simple détention sous forme liquide, ne rapportant pas d'intérêt ; la détention de monnaie pour la spéculation résulte d'un arbitrage entre détenir de la monnaie et détenir des titres, et quand le taux d'intérêt est très bas, cet arbitrage peut être en faveur de la monnaie, surtout si les agents s'attendent à une baisse du prix des titres. En effet, la détention d'actifs financiers implique qu'on reçoit un intérêt mais aussi qu'on subit les variations, en plus ou en moins, du prix de cet actif, et selon Keynes le total de ces effets peut dans certaines situations être anticipé comme négatif, auquel cas les agents économiques préféreraient conserver leurs actifs sous forme monétaire : d'où une contribution à la demande de monnaie.

La fonction de demande d'encaisses pour la spéculation se présente donc comme une fonction décroissante du taux d'intérêt :  $M_d = L_2(i)$ , avec  $dL_2/di < 0$ . Selon Keynes et son école, il peut arriver que les agents aient une demande de monnaie spéculative infinie, auquel cas toute augmentation de la masse monétaire  $M_0$  n'aurait comme effet que de gonfler les portefeuilles, sans modifier les comportements des agents vis-à-vis des autres variables (consommation, détention de titres, etc.). On est alors dans une situation de *trappe à la liquidité*.

## 1.2 La courbe LM

Les éléments qui précèdent permettent sans ambiguïté d'écrire que la fonction de demande d'encaisses est de la forme :

$$M_d = L(Y, i) \quad \text{avec} \quad \delta L / \delta Y > 0 \quad \text{et} \quad \delta L / \delta i < 0$$

pour les encaisses monétaires, ou :

$$m_d = L'(Y/P, i) \quad \text{avec} \quad \delta L' / \delta (Y/P) > 0 \quad \text{et} \quad \delta L' / \delta (i/P) < 0$$

pour les encaisses réelles.

La question qu'on se pose c'est : « Quelle est la vraie fonction de demande d'encaisses, la fonction monétaire ou la fonction réelle ? »

Si les agents économiques ne sont pas sujets à l'illusion monétaire, s'ils prennent en compte toute l'inflation, c'est la demande réelle qui est importante, et c'est le point de vue des économistes "classiques" et des monétaristes. Par contre, si on suppose que les agents accordent de l'importance à leur revenu et à leur richesse exprimés en monnaie, plus qu'à leur pouvoir d'achat, c'est-à-dire à leur valeur en biens, alors il est logique de considérer la demande d'encaissements monétaires. Ce point de définition sépare, dès l'abord, monétaristes et keynésiens. La courbe LM est définie en considérant que les agents économiques détiennent toujours les encaisses qu'ils désirent, compte tenu de la quantité globale de monnaie à leur disposition, de l'offre de monnaie (égalité offre-demande). On aura donc, par exemple avec les encaisses monétaires :  $M_o = M_d = L(Y, i)$ , c'est-à-dire une fonction implicite de  $Y$  et  $i$  :

$$\psi(Y; i) = L(Y, i) - M_o$$

Cette fonction implicite est équivalente à une fonction explicite de type  $Y = Y(i)$ , dont la dérivée

$$\psi(Y; i) = - (\delta\psi/\delta i) / (\delta\psi/\delta Y)$$

Ceci implique que  $dY/di > 0$ . La courbe LM (figure I.2) décrit cette fonction  $Y(i)$  ;

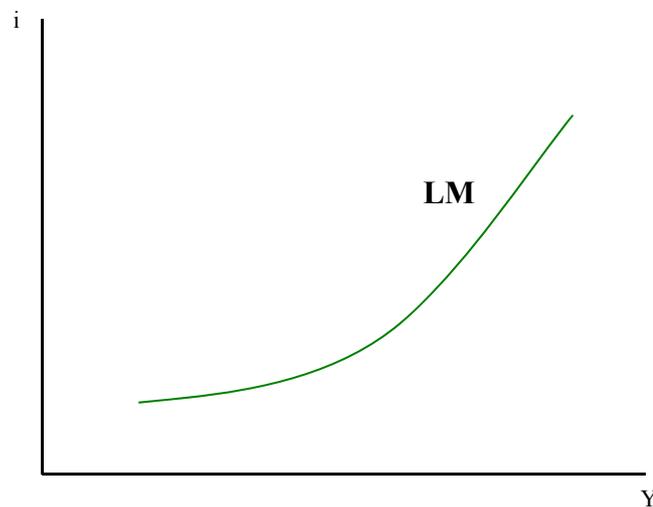


Figure I.2 : La courbe LM

Sa forme croissante est entièrement contenue dans la définition de  $\psi(Y, i)$ , et sa position dépend de la valeur de l'offre de monnaie. Cette remarque permet de voir quel peut être le rôle de la politique monétaire, en déplaçant la courbe LM. Une augmentation de l'offre de monnaie, par exemple, a pour conséquence de déplacer LM vers la droite : à taux d'intérêt constant, une augmentation de  $M_o$  aboutit à une augmentation du revenu  $Y$  ; et pour un niveau de revenu constant, une expansion monétaire diminue le taux d'intérêt.

## 2. L'équilibre sur le marché des biens (IS)

Cet équilibre sur le marché des biens et services est simplement la condition *épargne = investissement*. Cette condition permet de définir le revenu d'équilibre. L'épargne dépend du revenu, à partir de la fonction de consommation :

$$Y = C + E = C(Y) + E$$

d'où

$$E = Y - C(Y) = E(Y)$$

et

$$dE/dY = 1 - c > 0$$

L'investissement, dans le modèle IS-LM, est traité comme une variable endogène, c'est-à-dire, déterminée par les conditions d'équilibre, et non pas prédéterminée comme dans le modèle keynésien élémentaire. Il est supposé dépendre négativement du taux d'intérêt :  $I = I(i)$ , avec  $dI=di < 0$ .

L'égalité  $I = E$  Soit  $\Phi(Y, i) = E(Y) - I(i)$  une fonction implicite satisfaisant à  $\Phi(Y, i) = 0$ . Alors,

$$dY/di = -(\delta\Phi/\delta i)/(\delta\Phi/\delta Y)$$

Compte tenu du signe des dérivées partielles, on conclut que cette fonction  $Y = Y(i)$  est décroissante. La relation IS est une relation décroissante entre  $Y$  et  $i$ .

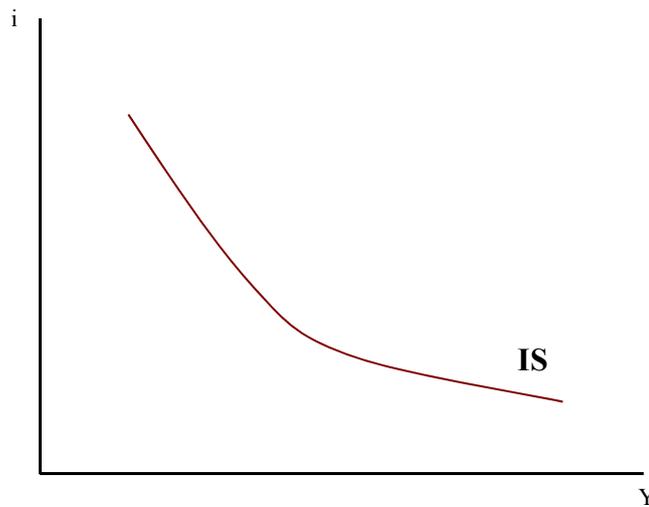


Figure I.3 : La courbe IS

### 3. L'équilibre IS-LM

Cet équilibre résulte de la confrontation des deux courbes IS et LM; un seul point du plan  $(Y, i)$ , le point  $(Y_E, i_E)$ , se trouve à la fois sur IS et sur LM (figure I.4). C'est l'équilibre macroéconomique. Il y a cependant plusieurs interprétations de cet équilibre, les keynésiens offrant une version de base, l'équilibre de courte période à prix fixes, et les courants classiques ou monétaristes un certain nombre de versions dans lesquelles la flexibilité des prix joue toujours un rôle.

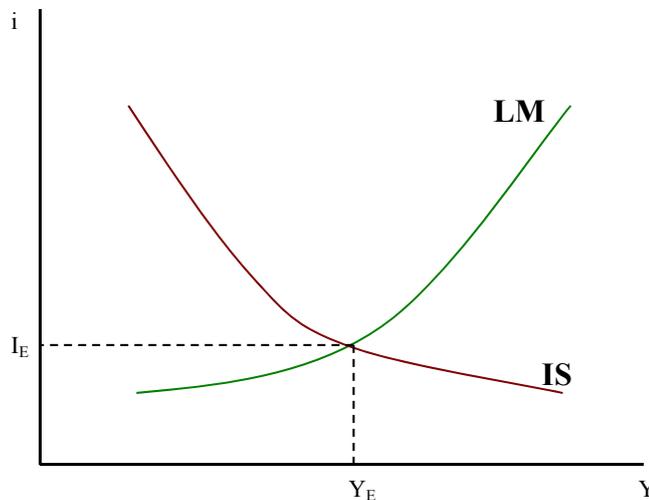


Figure I.4 : L'équilibre IS-LM

### 3.1 Version keynésienne

Les prix relatifs et le niveau général des prix sont considérés comme invariables (il n'y a pas de différence entre variables nominales et variables réelles) ; on peut interpréter le modèle comme un système de 5 équations indépendantes et 5 inconnues ; les inconnues sont :  $Y$  ;  $C$  ;  $I$  ;  $i$  ;  $M_d$ , et il y a deux variables « exogènes » ou plutôt discrétionnaires, c'est-à-dire fixées par la politique économique,  $G$  et  $M_0$ .

Les équations sont :

$$\begin{aligned} Y &= C + I + G \\ C &= C(Y) \\ I &= I(i) \\ M_d &= L(Y; i) \\ M_d &= M_0 \end{aligned}$$

Il résulte de ce petit système un équilibre unique. Cet équilibre keynésien ne sera généralement pas un équilibre de plein-emploi, puisque rien ne garantit – c'est déjà le cas dans le modèle keynésien du revenu d'équilibre – dans ce modèle que le marché du travail est en équilibre ; une question souvent posée aux keynésiens est de savoir si un tel équilibre peut ou non être durable ; selon les néo-classiques et les monétaristes, des forces économiques à l'œuvre sur ce marché doivent s'opposer à cette persistance du déséquilibre sur le marché du travail. Les keynésiens répondent :

- En citant les facteurs qui s'opposent au jeu de la concurrence sur ce marché : l'illusion monétaire, la rigidité des salaires à la baisse (pouvoir syndical, effet de cliquet).
- En montrant pourquoi, selon eux, la concurrence, si elle jouait sur le marché du travail, ne permettrait pas le retour à l'équilibre : supposons, disent-ils, que le chômage soit résorbé à la suite d'une baisse du salaire nominal. Le montant total des salaires augmente, parce que l'augmentation du nombre de salariés est plus forte que la baisse du taux de salaire. Le revenu national augmente donc, et la consommation augmente ; mais cette nouvelle valeur de  $Y$  n'est pas une valeur d'équilibre, car tout le revenu additionnel ne sera pas consommé ( $c < 1$ ), et le mécanisme d'équilibration sur le marché du travail n'implique pas de nouveaux investissements. On aura donc un  $\Delta E$  auquel ne correspondra aucun  $\Delta I$ . Les producteurs se rendront bientôt compte que leur production n'est pas totalement achetée, qu'il s'agisse de biens de production ou de bien final ; et ils licencieront, alors, ramenant le chômage qui avait disparu.

On voit bien avec ce raisonnement que le modèle keynésien est fondé sur la causalité suivante : l'investissement détermine le revenu qui détermine l'emploi, et non l'inverse ; et qu'il est totalement incompatible avec la loi de Say.

### 3.2 Versions classiques

Les versions classiques du modèle IS-LM sont assez variées. Elles reposent en général sur la loi de Say ; les unes sont dichotomiques, c'est-à-dire séparent totalement les variables réelles des variables monétaires ; d'autres ne le sont pas, mais introduisent le niveau général des prix comme variable de choix des agents : tous ces modèles sont construits avec la demande d'encaisses réelles. On peut considérer ces modèles comme des systèmes de 6 équations à 6 inconnues. Les inconnues sont :  $Y$ ;  $C$ ;  $I$ ;  $i$ ;  $M_d$ ;  $P$ , et il y a les deux mêmes variables exogènes  $G$  et  $M_0$ . Les équations sont :

$$\begin{aligned} Y/P &= C/P + I/P + G/P \\ C/P &= C(Y/P) \\ I &= I(i)/P \\ m_d &= L(Y/P; i) \\ M_d/P (= m_d) &= M_0/P \\ P &= P(M_0) \end{aligned}$$

La dernière équation exprime la théorie de la détermination du niveau général des prix, la théorie quantitative de la monnaie.

**Versión dichotomique** : Dans le modèle dichotomique de plein-emploi, l'équilibre sur le marché du travail est toujours réalisé, et le revenu réel est le revenu réel de plein-emploi ; on a alors :  $Y/P = C(Y/P) + I(i)/P + G/P$  ;  $G$  étant une variable exogène, cette équation détermine  $I(i)/P$ , c'est-à-dire (par l'équation  $I = I(i)/P$ ) le taux d'intérêt, qui ne dépend alors que des facteurs réels et pas du marché de la monnaie.

La relation :  $m_d = m_d(Y/P, i)$  n'a comme arguments que des variables réelles ; la demande de monnaie dépend des seuls facteurs réels.

**Modèle non dichotomique** Patinkin a introduit ce type de modèle en posant la question de savoir par quel mécanisme une variation de la quantité de monnaie influence le niveau général des prix (la liaison  $\Delta M \leftrightarrow \Delta P$  n'est pas automatique). On suppose que c'est à travers les comportements des agents que se fait la propagation ; l'hypothèse de Patinkin est l'effet d'encaissements réelles : les encaissements réelles sont un argument des fonctions de demande (microéconomiques) des biens : plus les encaissements réelles sont élevées, plus l'agent achète de chaque bien. Pour le bien  $j$ , on a donc  $D_j = f_j(p_1, p_2, \dots, p_n, R/P, M/P)$  ; les  $p_j$  sont les prix des biens,  $R/P$  est le revenu réel de l'agent,  $M/P$  les encaissements réelles.

On a donc :

$$\frac{\delta f_j}{\delta(R/P)} > 0 \quad \text{et} \quad \frac{\delta f_j}{\delta(M/P)} > 0$$

L'agrégation des diverses fonctions donnerait une fonction de consommation globale (keynésienne) de type :  $C/P = F(Y/P, M/P)$  ; on note que les prix relatifs disparaissent du fait de l'agrégation des différents marchés. La fonction  $F(\cdot)$  est telle que  $\delta F/\delta(R/P) > 0$ , et  $\delta F/\delta(M/P) > 0$ . Supposons alors, à partir du plein-emploi, une expansion monétaire  $\Delta M$  (qui déplace  $LM$  vers la droite en  $L'M'$  ; voir la figure I.5), les prix n'augmentant pas immédiatement ; les encaissements réelles augmentent donc, et la consommation finale croît ; l'effet d'encaissements réelles équivaut à un déplacement de la courbe  $IS$  vers la droite, en  $I'S'$ .

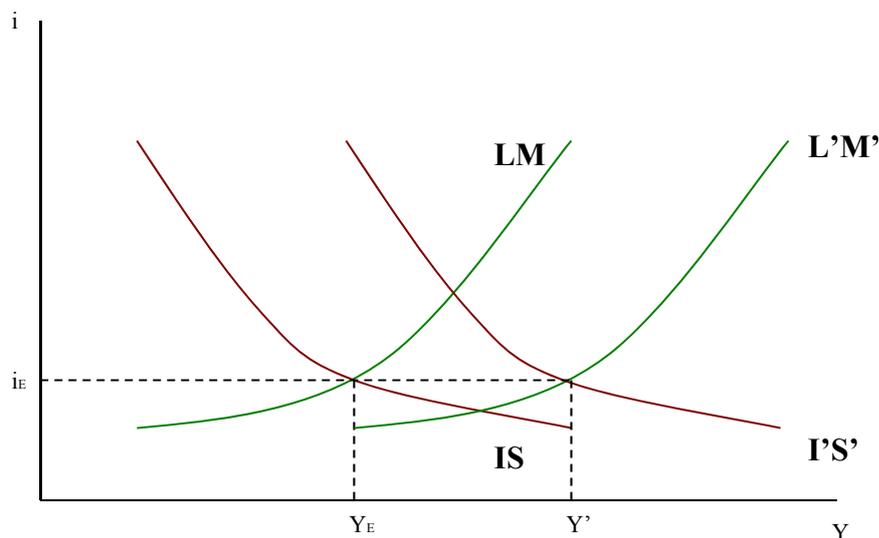


Figure I.5 : Équilibre IS-LM et écart inflationniste

Le nouveau revenu d'équilibre est  $Y'$ . La demande réelle, qui a augmenté à partir de la situation initiale de plein-emploi, ne pourra cependant pas être satisfaite (on ne peut pas produire plus), et

l'augmentation de revenu ne peut se faire que par augmentation des prix (pas par augmentation des quantités) : d'où un écart inflationniste (inflationary gap) entre  $Y'$  et  $Y$ .

→ L'expansion monétaire aboutit donc à l'inflation à travers ce mécanisme.

En cas de sous-emploi, l'accumulation de stocks (gap déflationniste) aboutit sur les marchés à des baisses de prix ( $\Delta P < 0$ ), et donc gonfle les encaisses réelles  $M/P$ . Il en résulte une baisse du taux d'intérêt qui relance l'investissement, jusqu'à ce que le plein-emploi se rétablisse. Seul le mécanisme de trappe à la liquidité pourrait s'opposer à la baisse du taux d'intérêt.

Une hypothèse alternative à celle de Patinkin est l'effet Pigou ; celui-ci considère que la fonction de consommation dépend (positivement) de la richesse réelle des agents,  $A/P$  (dont les encaisses réelles ne sont qu'une partie).

Une diminution du niveau général des prix augmente la richesse réelle des agents, et provoque un accroissement de la demande. Selon Pigou, le niveau général des prix en période de sous-emploi devrait baisser tant que l'effet de richesse réelle n'a pas rétabli le plein-emploi.

L'effet d'encaisses réelles, et l'effet de richesse réelle, sont des mécanismes de retour automatique à l'équilibre de plein-emploi. Ainsi, selon ces modèles, la politique économique n'est pas nécessaire en principe, car le retour à l'équilibre est automatique ; pourtant, on ignore combien de temps est nécessaire pour ce retour au plein-emploi, et c'est pourquoi certains économistes non-keynésiens (mais pas tous) ont admis que la politique économique a sa place pour stimuler le plein-emploi.

Les débats des années 60 et 70 entre budgétaristes (keynésiens) et monétaristes opposent ainsi des économistes qui sont d'accord sur la nécessité d'une politique de stimulation, mais divergent quant à la bonne politique à suivre.

Quant à ce qui en est du modèle IS-LM et la politique économique, une question fondamentale est de savoir si l'on doit tenter d'augmenter le revenu national à travers un déplacement de la courbe IS, de la courbe LM, ou des deux. Un déplacement de la courbe IS sera effectué grâce à une politique budgétaire, en augmentant ou en diminuant les dépenses publiques  $G$ .

Les keynésiens voient deux raisons pour préférer l'arme budgétaire :

- Ils pensent que l'investissement est peu sensible aux variations du taux d'intérêt. Cela implique que la courbe IS est proche d'une verticale. Dans ces conditions (figure I.6), un mouvement de la courbe LM (politique monétaire) n'aura que peu d'effet sur le revenu d'équilibre, qui ne pourra être modifié substantiellement que par un déplacement de IS (le jeu classique du multiplicateur).

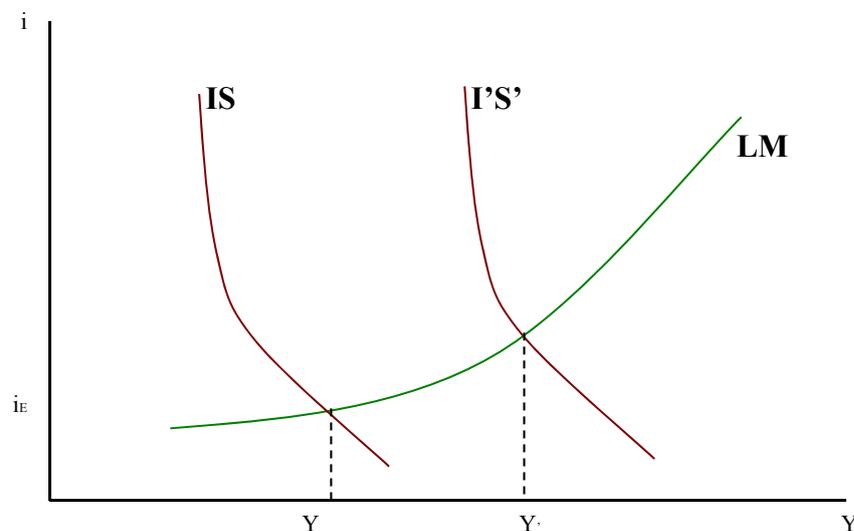


Figure I.6 : Efficacité de la politique budgétaire

- Ils avancent le phénomène de trappe à la liquidité. Si le taux d'intérêt est à sa valeur plancher, aucune politique monétaire ne peut le faire diminuer ; ici encore  $Y$  ne peut être accru que par un déplacement de IS.

La politique monétaire favorisée par les monétaristes repose sur la conviction contraire, selon laquelle la demande de monnaie dépend essentiellement du revenu et très peu du taux d'intérêt. Un déplacement de IS n'aura pas l'effet sur  $Y$ , il faut déplacer LM, recourir à la politique monétaire (figure I.7). Le débat entre budgétaristes et monétaristes, plus qu'un débat entre keynésiens et non-keynésiens, est alors un débat sur les paramètres des fonctions impliquées dans le modèle IS-LM. C'est une question de fait plus que de théorie économique.

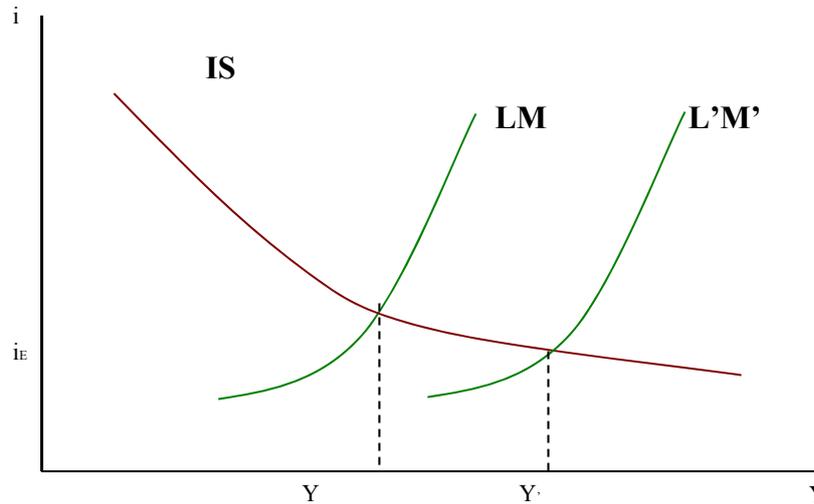


Figure I.7 : Efficacité de la politique monétaire

#### IV. Modèle DSGE

Sous l'impulsion des travaux de la Cowles Commission et de l'Université de Pennsylvanie réalisés au début des années cinquante, les modèles macro-économétriques s'étaient d'abord révélés comme des outils exceptionnels d'aide à la décision. L'une des ambitions de ses promoteurs était de s'en servir pour mieux maîtriser la description des mécanismes sous-jacents à l'activité économique dans son ensemble. Ceci devait leur permettre, entre autres, de réaliser par la suite des prévisions ou des exercices de simulations plus complexes que ceux menés jusqu'alors.

Des critiques de ces outils sont toutefois apparues dans le courant des années soixante-dix, faisant apparaître qu'ils n'avaient pas toutes les qualités qu'on leur prêtait. Les macro-économistes ont alors proposé différentes approches afin de prendre en compte ces critiques. Les modèles dynamiques et stochastiques d'équilibre général (DSGE) constituent une étape très importante dans cette démarche. Ces derniers sont devenus des outils indispensables pour l'analyse macroéconomique et l'évaluation des politiques économiques et sont de plus en plus utilisés pour la prévision macroéconomique.

##### 1. La critique des modèles macroéconomiques traditionnels

La synthèse néo-classique (combinaison du schéma keynésien de court terme et de la théorie de la croissance), jointe aux progrès de l'économétrie, de la statistique et de l'informatique, a suscité l'apparition de modèles macro-économétriques de grande taille dans les pays développés (L. Klein est considéré comme le créateur du premier modèle macro-économétrique des temps modernes [Gol 55]). De fait, dans les années soixante/soixante-dix, l'analyse macroéconomique appliquée s'appuyait souvent sur une utilisation intensive de ces outils, couplant des représentations de l'offre et de demande agrégées à une courbe de Phillips.

Des maquettes de plus en plus détaillées ont ainsi été développées (multisectorielles, multinationales, etc.). Toutefois, l'analyse de leurs performances, notamment de leur capacité à fournir des prévisions ou à décrire certains phénomènes, a conduit à un certain désenchantement tant des constructeurs que des utilisateurs. Cette évolution a eu pour conséquence, leur moindre utilisation, voire, leur abandon progressif dans les milieux académiques et, dans une moindre mesure, dans les institutions ou organismes spécialisés.

### 1.1 Des critiques empiriques

La première critique a été motivée par l'apparition, vers la fin des années soixante-dix, du phénomène de stagflation, c'est-à-dire la coexistence d'un chômage et d'une inflation élevés. Ce phénomène est difficilement réconciliable avec la courbe de Phillips qui suggère l'existence d'un arbitrage entre inflation et chômage à plus ou moins court terme. Il a donc fallu admettre que la courbe de Phillips n'était pas stable dans le temps, ce que les modèles macroéconomiques traditionnels étaient mal armés pour prendre en compte.

Une autre critique empirique importante, développée par Sims [Sim 80], met en cause la pratique qui impose le caractère exogène de certaines variables intervenant dans la résolution des modèles macroéconomiques traditionnels (i.e. ces variables sont déterminées « à l'extérieur » du modèle). Cette hypothèse n'est pas toujours satisfaisante d'un point de vue théorique et peut même apparaître ad hoc.

### 1.2 Une critique théorique

La seconde critique, due à Lucas [Luc 76], est d'ordre théorique et s'attaque à l'usage des modèles pour analyser l'impact de la politique économique. En effet, les modèles traditionnels contiennent des équations de comportement qui relient les variables d'intérêt à des facteurs explicatifs, dont des variables de politique économique. L'un des emplois des modèles consiste ainsi à étudier l'impact d'une modification de la politique économique sur les variables d'intérêt, toutes choses égales par ailleurs. Lucas critique cette utilisation car si les agents privés avaient des comportements dynamiques d'optimisation et exploitaient rationnellement l'information disponible, ils devraient, suite à l'annonce d'une décision de la politique économique, modifier leur comportement pourtant supposé invariant.

### 1.3 Une critique pratique

À côté de ces critiques fondamentales, on peut mentionner :

- Les problèmes de gestion des modèles de grande taille qui nécessitent, en général, la mobilisation d'une équipe à effectif important ;
- Les difficultés d'actualisation des équations qui se traduisent souvent par le maintien d'équations obsolètes.

### 1.4 La méthodologie de l'équilibre général dynamique

Pour échapper à la critique de Lucas, il est possible de construire des modèles dans lesquels les équations résultent d'objectifs microéconomiques que les agents visent à atteindre tout en étant soumis à des contraintes. Ainsi, une mesure de politique économique peut modifier les contraintes et, par conséquent, les décisions des agents. C'est la méthodologie de l'équilibre général dynamique ou la discipline de l'équilibre général, comme l'ont énoncé Kehoe et Prescott dans [Keh 94]. Dans celle-ci, le système économique résulte de l'interaction entre des agents dont les objectifs et les contraintes sont modélisés et interprétés au moyen d'outils empruntés à la théorie microéconomique.

C'est la voie de recherche que suggèrent Lucas dans [Luc 76] et Lucas et Sargent dans [Luc 79]. C'est aussi le point de rupture le plus tranché entre la recherche académique et la pratique macro-économétrique adoptée, en général, dans les institutions économiques.

### **2. Modèles DSGE : Présentation des modèles et de leurs spécifications**

Le renouveau de la modélisation macroéconomique appliquée commença avec les modèles des cycles réels, connus sous le nom de modèles « RBC » pour Real Business Cycles. Il s'agissait de véritables modèles d'équilibre général, avec des comportements dynamiques cohérents et des prévisions rationnelles des agents. Les cycles provenaient de chocs stochastiques indépendants qui se répercutaient dans les agrégats économiques sous une forme transformée par les interdépendances des comportements et des marchés que formalisait le modèle. Cependant, les initiateurs de cette nouvelle approche avaient complètement tourné le dos à ce qui précédait telles que les politiques de stabilisation conjoncturelle qui n'avaient plus lieu d'être. L'absence de frictions et d'imperfections a, en effet, pour corollaire que les actions des agents parfaitement informés et rationnels suffisent pour que l'économie se place en permanence sur la meilleure trajectoire possible compte tenu des chocs de productivité qu'elle subit.

Par la suite, les économistes enrichirent cette démarche, en ajoutant au cadre néo-classique initial perturbé par des chocs de productivité, les nombreuses imperfections des marchés, les rigidités économiques et les perturbations variées que connaît toute économie et qui sont donc nécessaires pour une analyse correcte du cycle des affaires, des politiques de stabilisation et des réformes. On peut considérer que cette démarche avait à peu près abouti, avec les modèles de Christiano, Eichenbaum et Evans [Chr 05], et de Smets et Wouters [Sme 03]. Ces modèles, ainsi que leurs ancêtres de modélisation du cycle réel, sont aujourd'hui connus sous le nom de modèles DSGE (Dynamic Stochastic General Equilibrium ou, en français, modèles d'équilibre général dynamiques et stochastiques).

La formulation des modèles du cycle réel était très simple, cette dernière permettait de rendre compte de la transmission de chocs aléatoires de productivité aux grands agrégats économiques. En dépit de leur simplicité ces modèles permettaient de reproduire des caractéristiques essentielles du cycle des affaires, comme par exemple l'amplitude des fluctuations de la consommation relativement à celle de l'investissement au cours du cycle. Cependant, ils échouaient dans la reproduction d'autres caractéristiques, comme par exemple l'évolution de l'emploi ou des heures travaillées au cours du cycle. Cette insuffisance a conduit progressivement les économistes concernés par la pratique à introduire dans les modèles du cycle réel des imperfections de marché et des rigidités réelles et nominales, de façon à obtenir un modèle reproduisant les caractéristiques observées les plus importantes du cycle des affaires. Les économistes ont également ajouté au choc de productivité de la théorie des cycles réels, un grand nombre d'autres perturbations aléatoires, portant sur la demande, les imperfections des marchés, les politiques, etc.

Afin d'évaluer les spécificités de ces modèles, dans ce qui suit, une synthèse du modèle proposé par Christiano, Eichenbaum et Evans, ainsi que celui de Smets et Wouters.

#### **2.1 Modèle de Christiano, Eichenbaum et Evans / Smets et Wouters**

Dans ce modèle, on considère que l'économie est peuplée par un continuum de ménages indexés sur l'intervalle  $h \in [0, 1]$ . Les ménages sont en concurrence monopolistique et diffèrent entre eux par le fait qu'ils offrent un type de travail différencié. Chaque ménage a un pouvoir monopolistique sur son offre de travail. Il existe également un continuum de producteurs de biens intermédiaires (ils sont appelés entreprises intermédiaires) indexées sur l'intervalle  $z \in [0, 1]$ . Ils agissent en concurrence monopolistique et offrent chacun un bien qui est un substitut imparfait des autres types de biens. Les ménages et les entreprises intermédiaires font face à une restriction de type Calvo [Cal 83] lorsqu'ils

fixent leurs salaires et leurs prix de manière optimale. Il existe enfin un producteur de bien final qui agit, quant à lui, en concurrence parfaite. Les prix visqueux sont introduits afin d'obtenir des effets réels de court terme de la politique monétaire. L'introduction des salaires visqueux a deux motifs :

- Le mélange de prix et de salaires nominaux visqueux crée automatiquement des salaires réels visqueux, ce que l'on observe dans les données ; et
- Dans un modèle d'optimisation, l'inflation dépend des coûts marginaux réels de la production.

De ce fait, afin de limiter la volatilité de l'inflation, il faut lisser le comportement des coûts marginaux réels, ce que les salaires visqueux aident à produire. De plus, d'autres rigidités nominales et réelles, sont également introduites afin de reproduire la persistance des variables macroéconomiques clés (inflation, consommation, investissement, etc.).

### 2.1.1 Travail agrégé

Il existe une « agence pour l'emploi » qui agrège le travail en combinant le travail offert par les ménages,  $L_t(h)$  avec  $h \in [0, 1]$ , afin de répondre parfaitement aux demandes des entreprises [Erc 00]. La demande agrégée pour chaque offre de travail d'un ménage correspond ainsi à la somme des demandes de l'ensemble des entreprises.

### 2.1.2 Les ménages

Chaque ménage  $h$  a des préférences définies sur un bien de consommation composite,  $C_t(h)$ , et son offre de travail,  $L_t(h)$ . Il maximise une fonction d'utilité intertemporelle sous une contrainte budgétaire réelle, cette contrainte s'exprime en fonction du salaire nominal  $W_t(h)$ , du taux d'intérêt nominal  $i_t$ , d'une taxe forfaitaire réelle (ou transferts gouvernementaux)  $T_t(h)$ , de la somme des dividendes émanant des entreprises intermédiaires  $\Pi_t(h)$ , du montant des titres  $B_t(h)$ , d'une constante qui permet d'ajuster le nombre d'heures travaillées à l'état stationnaire  $\sim L$ , d'une taxe stochastique sur le travail  $\tau_{w,t}$ , d'un choc de préférence qui affecte la substitution intertemporelle des ménages  $\varepsilon_{bt}$  et d'un choc d'offre de travail  $\varepsilon_{L,t}$ . Ces chocs sont communs à tous les ménages et suivent des processus autorégressifs d'ordre un et de termes d'erreur gaussien.

**Rigidité réelle n°1** (la formation d'habitude) Les préférences de consommation prennent une forme non séparable capturant ainsi l'idée que les ménages peuvent avoir de la formation d'habitude dans leurs choix de consommation. La formation d'habitude peut être « externe » ou « interne ». Dans le premier cas, c'est une référence sociale (le niveau de consommation moyen) qui a des effets sur les comportements de consommation alors que dans le second cas c'est la consommation individuelle passée.

**Rigidité réelle n°2** (le taux d'utilisation du capital) Il existe également un taux d'utilisation du capital,  $u_t(h)$  ainsi qu'un coût par unité de capital,  $\Phi(u_t(h))$ , associé aux variations dans le degré d'utilisation du capital. La fonction  $\Phi(\cdot)$  satisfait  $\Phi(1) = 0$ , et  $\Phi'(1), \Phi''(1) > 0$ .

Enfin, l'existence de titres contingents  $A_t(h)$  assure que tous les ménages ont des profils de consommation identiques quel que soit leur niveau de salaire.

**Rigidité réelle n°3** (coûts d'ajustement de l'investissement) La fonction  $S(\cdot)$  est une fonction de coût d'ajustement telle que  $S(1) = 0$  et  $S''(\cdot) = \varphi$ . Cette hypothèse implique l'absence de coûts d'ajustement à l'état stationnaire déterministe.

### 2.1.3 Bien agrégé

Le bien final,  $Y_t$ , est produit par une entreprise représentative qui agit sur un marché parfaitement concurrentiel. Ce bien final est la combinaison d'un continuum de biens intermédiaires,  $Y_t(z)$ , avec  $z \in [0, 1]$ .

### 2.1.4 Les entreprises intermédiaires

Chaque entreprise  $z$  produit un bien intermédiaire,  $Y_t(z)$ , à l'aide d'une fonction de production de type Cobb-Douglas.

Tout comme pour la modélisation des salaires, la décision de fixation des prix des entreprises est modélisée à travers une version modifiée des contrats à la Calvo. Ceci étant, Les entreprises qui ne peuvent pas fixer leur prix de façon optimale, peuvent néanmoins l'ajuster sur les niveaux de l'inflation passée et de l'inflation tendancielle.

### 2.1.5 Politiques fiscale et monétaire et conditions d'équilibre

Le modèle est bouclé en spécifiant le comportement du gouvernement. Celui-ci conduit les politiques fiscale et monétaire. Les dépenses gouvernementales sont supposées exogènes et sont financées par une taxe forfaitaire, une taxe sur le travail, une taxe sur la production et l'émission de titres.

## 2.2 Evaluation du Modèle de Christiano, Eichenbaum et Evans [Moy 07]

Ce modèle, développé au cours de la première décennie de ce millénaire, a été évalué par S. Moyen et J.G. Sahuc [Moy 07], comme cas particulier des modèles DSGE, cette évaluation révèle les différentes insuffisances et incohérences de ce dernier en particulier et comme on le verra dans la section suivante, critiques qui seront généralisées à tous les modèles de ce type.

L'un des résultats mis en évidence par cette évaluation est l'incapacité du modèle à s'ajuster aux données sans recourir à un degré de rigidités nominales irréaliste.

Le problème est que les données microéconomiques et macroéconomiques suggèrent des résultats différents du comportement des prix. Les données microéconomiques indiquent que les entreprises changent fréquemment leur prix. Par exemple, Bils et Klenow dans [Bil 04] et Dhyne et al. Dans [Dhy 06] ont montré que les durées de changement de prix étaient comprises entre six mois et un an. Pour ce modèle, Smets et Wouters donnent une durée moyenne de fixation des prix d'environ deux ans.

## V. Insuffisance des modèles d'équilibre général et nécessité d'une nouvelle approche

Les modèles DSGE sont employés par certaines banques centrales, telle que la banque centrale européenne, qui utilise le modèle présenté dans la section précédente, mais aussi par le FMI, et d'autres institutions étatiques. Ces modèles furent présentés avant la dernière crise financière (août 2007) qui s'est vite transformée en crise économique, comme capables de leur fournir des prévisions robustes. Les avantages et avancées de ces modèles ont été mis en avant par de nombreux auteurs Smets et Wouters [Sme 05], Walsh [Wal 06], Sahuc et Smets [Sah 07], Woodford [Woo 09]. Par contre leurs limites sont peu mises en avant et restent dispersées dans la littérature. Effectivement, ce n'est qu'après cette crise que les économistes se sont penchés sur ces modèles qui n'ont pas pu la prévoir, afin d'évaluer leur robustesse au vu de ces derniers événements qui ont secoué l'environnement financier et économique.

Ainsi, les limites des modèles DSGE standards ont été regroupées en trois blocs. En premier celles touchant l'économie monétaire et financière avec des questions sur l'économie « cashless (économie sans monnaie) », le crédit, les banques et enfin la finance et le prix des actifs. Ces problématiques sont au centre du déclenchement et de la propagation de la dernière crise financière. Le second bloc de limites concerne les politiques économiques (monétaire et fiscale). Des politiques monétaires non conventionnelles ont, en effet, été menées pendant la crise à cause de la grande instabilité financière. D'amples plans de relance budgétaire ont aussi été mis en œuvre, d'où des questions de « policy-mix (présenté comme étant l'« art » de combiner de manière optimale, en fonction de la position dans le cycle économique, les principaux moyens d'action de la politique économique : la politique budgétaire et la politique monétaire) ». Enfin, le troisième ensemble porte sur l'adaptation à la crise des méthodes et hypothèses de ces modèles, par exemple l'agent représentatif ou la linéarisation.

Les dernières générations de modèles DSGE développées suite à la crise réduisent ces limites. Les analyses qui y ont été faites, mettent en évidence que de nombreuses déficiences sont atténuées, mais que des limites majeures demeurent.

### **1. Les limites en économie monétaire et financière**

La croissance de prêts bancaires risqués accordés aux agents privés ont été au centre de la crise bancaire et financière récente entraînant notamment la perte de confiance des banques et un rationnement du crédit. Pourtant la monnaie, le crédit et les banques sont absents des modèles DSGE standards. De même, les innovations financières ayant permis la titrisation et ayant conduit à des actifs « toxiques » détériorant le bilan des banques ne sont pas intégrées dans ces modèles. Ils ne prennent pas en compte l'instabilité financière et ses effets de contagion systémique sur l'économie réelle, alors qu'ils sont centraux.

#### **1.1 Une économie « cashless »**

Woodford dans [Woo 03] défend une économie « cashless » où la monnaie n'est pas présente comme moyen d'échange ou de réserve de valeur, mais uniquement comme unité de compte. Les fonctions de la monnaie comme réducteur des coûts de transaction à la Caisse, d'intermédiaire des échanges (contrainte de Clower), de moyen de financement ou de liquidité en incertitude (rapporté par Keynes, [Key 36]) ne sont pas retenues. Dès lors sa présence dans la fonction d'utilité ou comme « cash in advance » n'est pas requise : elle est « imposée plutôt qu'expliquée » (Kiyotaki et Moore dans [Kiy 08]). En effet, ces modèles retiennent la condition de « transversalité » : toutes les dettes sont payées in fine. La monnaie n'est pas requise pour payer en avance de crainte qu'un agent n'honore pas sa dette.

L'économie « cashless » détache la monnaie de tout contexte social ou étatique. Ainsi les problèmes rencontrés pendant la crise financière comme l'attaque de l'euro suite aux dettes de la Grèce, de l'Espagne et du Portugal ne sont pas appréhendables.

La réponse des Etats, de l'Union européenne et de la BCE face à ces attaques spéculatives est extérieure au cadre « cashless ». La monnaie chez Woodford est totalement désincarnée. Dans les faits la monnaie apparaît garantie par la confiance dans les institutions (étatiques) derrière les cadres de gouvernance de la monnaie.

Au final ces modèles standards à la Woodford sont souvent jugés non monétaires. Lorsque la monnaie est enfin réintroduite par des frictions ad hoc telles que les contraintes de « cash in advance » ou de participation limitée aux marchés financiers, Woodford conclut que ces modifications sont d'une importance mineure.

La visée anti-monétariste de Woodford d'une politique monétaire débarrassée des agrégats monétaires et des règles monétaires est en phase avec la pratique de la plupart des banques centrales ayant abandonné le « Monétarisme » dans les années 1980. Mais ce rejet du monétarisme se fait au prix de la sortie de la monnaie du modèle, ce qui est en décalage avec les faits.

### 1.2 L'absence du crédit, des banques commerciales et de l'intermédiation financière

La monnaie est rendue facultative dans les modèles DSGE standards, la courbe LM étant remplacée par la règle de taux d'intérêt. Dans le modèle à la Woodford, suivant une théorie de la monnaie endogène, l'équation de demande de monnaie ne fait que retracer la demande de monnaie compatible avec le taux d'intérêt de la règle.

Dans les modèles DSGE standards « les firmes maximisent la valeur de leurs revenus affluant vers un ménage représentatif, de sorte qu'il n'y a pas besoin de flux de crédits à l'équilibre ; ces modèles impliquent qu'un effondrement des marchés de crédit n'aurait pas d'influence allocative » [Cur 09]. La monnaie de crédit avec création monétaire par les banques commerciales n'est donc pas présente dans les modèles DSGE standards : « le secteur bancaire, cependant, a été ignoré de la plupart des modèles DSGE » [Dib 09]. La condition de transversalité implique que le risque n'existe pas vraiment, faisant disparaître la mission des banques commerciales en la matière ainsi que les banques elles-mêmes qui sont absentes de Woodford. Les problèmes d'asymétrie d'information entre les banques et les agents, de gestion du risque des prêteurs et du crédit sont absents. Les fonctions et rôles des banques dont la raison d'être est l'évaluation du risque et des primes de risque sont donc évacués. Au contraire, la crise actuelle a mis en exergue que le risque de défaut de paiement des firmes existaient, indiquant que la condition de transversalité ne tenait pas toujours. Par ailleurs, l'économie « cashless » est censée être proche de l'économie de Wicksell. Mais dans la théorie de ce dernier les banques jouent un rôle dans l'écart entre les deux taux. Ensuite la théorie de Wicksell signifie en termes modernes que la monnaie ne circule pas, et non qu'elle n'existe pas.

Comme dans les modèles Néo-Classiques type RBC, les modèles DSGE ne considèrent pas des chocs monétaires type rationnement du crédit. Ils n'envisagent pas non plus des paniques bancaires et des risques de défaut des banques générant le blocage du marché interbancaire et un tarissement de l'offre de monnaie. Les intermédiaires bancaires ne sont qu'un voile : « ces modèles ne traitent pas explicitement de la banque comme une activité » [Bes 09].

Ainsi les frictions concernent les firmes non financières, et non les firmes financières (banques), impliquant que les limites des modèles DSGE en matière d'offre de crédit par les banques ne sont pas résolues. En somme, ce modèle porte sur certains canaux de transmission de la politique liés à la « crédit view » (bilan des firmes et cash flow) mais pas tous : les canaux du « bank lending channel » ou du bilan des banques étant mis de côté. Aussi le financement des banques à la banque centrale, important pendant la crise, n'est pas pleinement intégré. Enfin, ce modèle « n'étudie pas le rôle des banques dans les fluctuations cycliques » [Ber 98]. Christiano et al. Dans [Chr 03] modélisent le comportement des banques mais elles sont supposées identiques. En outre, le paramètre de friction financière est fixe, et non endogène comme pendant la crise. Ensuite, ce modèle ne permet pas aux banquiers centraux d'identifier précisément le rôle des frictions financières dans la propagation du choc, le rendant peu utile pour appréhender la crise actuelle. Enfin, le rôle du collatéral, présent pendant la crise, est absent. Les non linéarités et la crise sont donc difficilement pris en compte. Par conséquent, le comportement des banques, cruciale dans la crise actuelle, demeure incomplet. Les contraintes de régulation des bilans bancaires comme le ratio de capital type Bâle II (Les normes Bâle II constituent un dispositif prudentiel destiné à mieux appréhender les risques bancaires et principalement le risque de crédit ou de contrepartie et les exigences en fonds propres), ayant eu un effet pro-cyclique dans la crise ne sont pas non plus explicitées. Dans ces modèles, les perturbations proviennent du financement externe des firmes alors que pendant la crise une partie du problème découlait des difficultés de financement des banques du fait de contraintes sur le marché interbancaire. Plus largement, le « business model » des banques avec transfert du risque de crédit n'est pas pris en

compte alors qu'il a joué un grand rôle pendant la crise. Enfin, les interactions entre banques ne sont pas présentes, empêchant l'analyse des phénomènes de contagion bancaire pourtant prégnants pendant la crise. Christiano et al. [Chr 05] ajoutent aussi un intermédiaire financier où les ménages font des dépôts contre rémunération. Cependant le comportement microéconomique de ces banques n'est pas explicite, elles demeurent encore un « voile ». Aussi ce modèle n'incorpore pas de friction financière type « credit crunch ».

→ Ainsi la théorie de monnaie endogène des modèles DSGE est sans contrainte monétaire alors qu'elle fut une source majeure de la crise actuelle.

### 1.3 Des limites en matière de finance et prix des actifs

Les lacunes des modèles DSGE standards en matière de finance ont été mises en exergue par les banquiers centraux pendant la crise : « les modèles macroéconomiques ayant été utilisés par les banques centrales pour éclairer leurs décisions sont clairement inadéquats. Ces modèles incorporent peu, voire aucune relation complexe entre les institutions financières et les effets de l'accélérateur financier et autres interactions du crédit désormais sources de stress sur les marchés financiers débordant sur l'économie réelle. Ces modèles font abstraction des arrangements institutionnels et se concentrent sur quelques arbitrages de titres simples, les rendant incapables d'expliquer les développements récents du volume du crédit et des primes de risques » [Koh 08].

Les modèles DSGE standards s'inscrivent dans les conditions du théorème de Modigliani et Miller [Mod 58] avec les hypothèses de complétude et d'efficience des marchés financiers. Ces modèles sont donc sans choc financier, sans friction financière. En outre, la vérification de ce théorème impliquerait que les conditions sur les marchés financiers n'influencent pas les résultats de l'économie réelle, ce qui semble en décalage avec les faits stylisés de la crise financière récente. En particulier, le recours à un monde à la Modigliani-Miller conduit à une absence de frictions du crédit en supposant que les effets de leviers des firmes n'influencent pas leur capacité d'emprunt tandis que du côté des banques leur capacité à faire des prêts est sans rapport avec leur ratio de capital. Ces propriétés des modèles DSGE ont été vivement critiquées : « Peut-on vraiment attendre de modèles sans un secteur financier explicite et développé qu'ils expliquent un monde économique dans lequel les marchés financiers jouent un rôle toujours croissant ? » [Iss 06]. Sur le plan théorique, la présence du théorème de Modigliani et Miller dans le cadre Nouveau Keynésien de Woodford est d'autant plus surprenante que la plupart des membres de cette école de pensée réfutent ce théorème [Ber 98].

Il s'ensuit également qu'il n'existe qu'un seul taux d'intérêt qui est à la fois le taux directeur de la banque centrale, le rendement reçu par toutes les firmes et ménages et le taux auquel tous les agents empruntent contre leur revenu futur. Cette unicité prévaut en raison de l'hypothèse de marchés financiers complets impliquant que tous les taux d'intérêt doivent être égaux afin d'éliminer toute opportunité d'arbitrage [Cur 09].

D'autres carences dans le secteur financier sont à relever au niveau des modèles DSGE.

Les actifs financiers n'étant pas pris en compte [Fer 09], ils ne forment pas un canal de transmission de la politique monétaire.

Les effets de levier au cœur de la crise actuelle ne sont pas non plus présents ; de même que les comportements de portefeuille ou les problèmes liés au collatéral des agents. Ainsi la dégradation du collatéral, comme dans le cas de la crise immobilière et du prix des habitations, centrale dans la crise, n'est pas intégrée. Comme le souligne [Tuc 08], les prix des actifs ne sont pas des « acteurs » dans l'économie des modèles DSGE standards, ils ne font que refléter les variables macroéconomiques. Pendant la crise, au contraire, ils ont été des acteurs centraux.

En conclusion, l'intégration de la finance et de la macroéconomie marquant la crise financière récente est peu présente dans les modèles DSGE standards pratiquant une dichotomie

économie/finance. Ces incomplétudes expliquent en partie pourquoi les politiques économiques régulant l'instabilité financière ne sont pas explicitées dans ces modèles.

### 2. Des limites en matière de politiques économiques

L'instabilité financière n'étant pas au centre des préoccupations des modèles DSGE standards, les politiques de stabilisation de court terme qu'ils préconisent concernent principalement les fluctuations de l'inflation et de la production. Ces modèles modélisent une politique monétaire basée sur les règles d'instrument de taux d'intérêt (règle de Taylor) poursuivant la stabilité des prix comme objectif prioritaire. Les politiques économiques ne sont donc pas destinées spécifiquement à réduire l'instabilité financière venue du cycle du crédit, et encore moins des ruptures de tendance (non linéarité). C'est pourquoi les politiques monétaires de bilan menées pendant la crise sont qualifiées de « non conventionnelles » tant en raison de leur instrument que de leur objectif de stabilité financière. Quant aux politiques de relance budgétaire anticrise, elles sont non pertinentes dans ces modèles où l'équivalence ricardienne prévaut. Par conséquent, ils ne peuvent rendre compte de la coordination de ces deux politiques pendant la crise et sont donc peu adaptées aux politiques économiques mises en place pendant la crise.

Dans les faits, la crise financière a été en partie régulée par des politiques de relance keynésiennes, réhabilitant ainsi la politique budgétaire [Bla 10]. Or, cette dernière est absente des modèles DSGE standards. Effectivement, Les modèles DSGE standards ne comportent pas de référence à la politique budgétaire et au gouvernement : « jusqu'ici peu de travaux ont été consacrés au rôle de la politique fiscale dans le modèle Nouveau Keynésien » [Rat 09]. Ces modèles suivent, en effet, l'hypothèse d'équivalence ricardienne, stipulant que les politiques budgétaires ne sont pas retenues, car elles n'influencent ni la détermination de l'inflation, ni celle de la production, ni celle des taux d'intérêt. Dans le détail, les chocs de dépenses publiques ont tendance dans les modèles DSGE standards à conduire à une contraction de la consommation. Cette même réponse négative est obtenue dans les modèles RBC, le cœur des modèles DSGE. Cela découle de l'effet de richesse négatif produit par la dépense publique, les ménages consomment moins et travaillent plus car ils anticipent des impôts. Cette propriété résulte donc, des hypothèses faites sur les agents (comportement intertemporel, anticipations rationnelles et comportement prospectif). Sous ces hypothèses, les ménages lissent leur consommation dans le temps, elle est donc fonction de leur revenu permanent et non du revenu courant disponible.

D'autres limites en termes de politiques économiques sont à noter, tel que le rôle de l'Etat contre la crise financière, qui se traduit par l'absence de dépense publique de l'équation de production IS des modèles DSGE standards.

Les modèles DSGE standards ne se préoccupent pas du policy-mix : la seule politique économique est la politique monétaire. Or, la crise financière récente, comme indiqué par Keynes dans sa « Théorie Générale », a attesté de l'impossibilité de la politique monétaire à réguler à elle seule l'impact du financier sur l'économie réelle. La politique budgétaire a été active pendant la crise, bousculant le Pacte de Stabilité de la zone euro avec le non respect des critères. Le policy-mix a donc été bouleversé, au moins temporairement, avec une politique budgétaire moins contrainte et une politique monétaire moins dominante car moins efficace, selon les banquiers centraux eux-mêmes. Ce retour de la politique budgétaire peut, cependant, être expliqué par les modèles DSGE non conventionnels avec agents non ricardiens suggérant que la dépense publique peut avoir un impact positif sur la consommation, donc aider à sortir de la récession. Les extensions des modèles DSGE standards à des fins d'analyse de l'interaction entre les deux politiques (monétaire et budgétaire) indiquent que leur caractère antagonique ou complémentaire dépend des chocs, elles sont en harmonie pour les chocs de production, mais en opposition pour les chocs inflationnistes ou d'instrument de politique monétaire [Mus 04].

### 3. Des limites des méthodes

Les modèles DSGE reposent sur des méthodes et hypothèses faisant consensus dans la NNS « New Neoclassical Synthesis ». Des approches consensuelles chez les Nouveaux Keynésiens comme les Néo-classiques, et pour partie héritées de l'ossature RBC de ces modèles. C'est le cas notamment des hypothèses 1) d'agent représentatif et 2) d'anticipations rationnelles. Du point de vue technique, ils recourent aussi 3) à la linéarisation et supposent le plus souvent une incertitude limitée au niveau additif (4). Ces techniques simplifient les calculs, notamment car l'équivalent certain prévaut. Ces quatre fondements ont été questionnés par la crise financière soulignant l'hétérogénéité des agents, leur rationalité limitée ainsi que les non linéarités de la dynamique du crédit et l'incertitude radicale sur le modèle de l'économie. Ces quatre limites sont examinées par certains économistes.

#### 3.1 Les limites de l'hypothèse d'agent représentatif

Les modèles DSGE standards retiennent l'hypothèse d'agent représentatif pour les ménages comme pour les firmes, « ce qui est un inconvénient important. A mon sens ce qui amène de nombreux phénomènes macroéconomiques particulièrement intéressants est l'hétérogénéité des agents économiques » [Mis 07]. Cette hypothèse simplificatrice empêche des évaluations du risque différentes, ainsi que les risques de défaut de certains agents. La crise est donc difficilement explicable dans ces modèles conduisant à des analyses quasiment binaires, où soit aucun agent ne fait défaut, soit tous (tout le système s'écroule). Ainsi l'hypothèse d'agent représentatif, couplée à la condition de transversalité des modèles DSGE standards, impliquent que tous les agents empruntent au même taux. Dans les faits, les agents empruntent à des taux différents car les agents ne sont pas tous sûrs : certains peuvent subir des contraintes financières.

#### 3.2 Les limites de l'hypothèse d'anticipations rationnelles

Les modèles DSGE standards font l'hypothèse d'anticipations rationnelles, de sorte que les comportements irrationnels des agents, pourtant présents pendant la crise, ne sont pas pris en compte. Ainsi les « esprits animaux » des banques ne sont pas traités, de même que ceux des marchés financiers. Les agents sont supposés être efficaces et ne pas faire d'erreur. La crise actuelle a discrédité cette hypothèse apparaissant comme une théorie pauvre et peu réaliste de la formation des anticipations et du comportement microéconomique diversifié des agents. La crise a démontré que cela supposait une rationalité et une connaissance informationnelle trop forte des agents : ils ne connaissent pas nécessairement la structure du vrai modèle de l'économie. D'où la nécessité d'introduire l'hypothèse d'hétérogénéité des agents dans les modèles DSGE, via une part d'agents non rationnels. Par ailleurs, cette hypothèse d'anticipations rationnelles a empêché ces modèles de tenir compte de l'incertitude endogène venue de la rationalité limitée des agents. Or, elle est apparue décaplée pendant la crise, montrant que l'incertitude issue de l'interaction entre agents à rationalité limitée peut être considérable. Enfin, le relâchement de l'hypothèse d'anticipations rationnelles rend possible l'appréhension de phénomènes holistes allant au-delà de la simple agrégation des comportements microéconomiques. La banque centrale et les régulateurs doivent avoir une vision globale et gérer les phénomènes collectifs néfastes de paniques financières ou d'esprit animaux que les agents ne peuvent intégrer à leur niveau micro. Les agents n'ont pas toujours les capacités cognitives pour intégrer les conséquences macroéconomiques générées par leurs comportements microéconomiques ; d'autant plus que les conséquences macroéconomiques peuvent être plus que la somme des comportements microéconomiques.

#### 3.3 Le problème des non linéarités et de la linéarisation

En l'absence de contrainte monétaire et de rationnement du crédit dans les modèles DSGE standards, les non-linéarités générées par ces phénomènes ne sont pas pris en compte [Bui 09]. De

même, le risque de défaut des banques commerciales, source de non linéarités sur le marché interbancaire pendant la crise, n'est pas analysé. Ces modèles ne seraient pas en mesure d'expliquer pourquoi des variations limitées dans la richesse des emprunteurs ou dans la perception du risque peuvent entraîner de larges discontinuités dans l'économie [Eva 08]. Ces non linéarités mettent au défi la technique des modèles DSGE, consistant à recourir à une approximation locale autour d'une tendance de croissance équilibrée, donc n'intégrant pas les sauts d'équilibre et non linéarités observés pendant la crise financière. Ainsi, même si l'intégration de la monnaie dans les modèles DSGE est désormais classique, les problèmes de non linéarité ou de contrainte monétaire s'étant manifestés pendant la crise ne sont pas pour autant abordés. De même, la linéarisation ne permet pas d'expliquer les primes de risque variables dans le temps, alors qu'elles ont été centrales dans la crise financière [Sim 07].

En ce qui concerne les limitations techniques, ces modèles sont log-linéarisés autour d'un état stationnaire [Sme 07], de sorte qu'ils traitent moins que les modèles non linéaires des déviations larges de l'état stationnaire : « la linéarisation peut être une approximation imprécise si les non linéarités du modèle sont importantes ou si l'on se déplace loin de l'état stationnaire du modèle » [Fer 05]. En outre, la linéarisation élimine par construction les primes de risque : elle est de zéro dans le cas de l'approximation de 1<sup>er</sup> ordre, et constante dans le cas de l'approximation de 2<sup>nd</sup> ordre. Les approximations de 3<sup>ème</sup> ordre induisent une prime de risque variable, mais la variabilité est faible, alors qu'elle a été grande durant la crise. Ce problème calculatoire limite donc l'application de ces modèles au prix des actifs, et plus généralement rend complexe l'analyse de la courbe des taux, information pourtant centrale pour la politique monétaire. Plus largement, la linéarisation ne permet pas de rendre compte de manière satisfaisante des prix des actifs et de leurs implications pour l'économie. Elle conduit en effet à des rendements égaux pour tous les actifs, quel que soit leur risque.

### 3.4 Le traitement de l'incertitude

Les modèles DSGE standards prennent le plus souvent en compte une incertitude additive (choc exogène) où l'équivalent certain prévaut, de sorte que l'incertitude ne compte pas vraiment. Les techniques de robustesse à l'incertitude de ces modèles concernent donc une incertitude limitée, ne portant que sur les chocs. Certaines techniques de robustesse à la Hansen et Sargent [Han 07] considèrent un niveau d'incertitude plus élevé, l'incertitude paramétrique (multiplicative), en supposant un pourcentage de déviation par rapport à un modèle de référence.

La crise financière s'est traduite par des non linéarités engendrant une incertitude radicale à la Keynes sur le modèle de l'économie, i.e. portant sur le modèle de l'économie, et pas seulement sur les chocs (incertitude additive) ou sur les paramètres ou canaux de transmission (incertitude multiplicative). L'incertitude était à un niveau plus élevée que celle prise en compte par les modèles DSGE. A ce niveau d'incertitude les calculs d'optimisation en équivalent certain (incertitude additive) sont inopérants. Même les techniques de robustesse à la Hansen-Sargent sont mises en échec, car le modèle de référence devient caduc, les déviations au modèle de référence ont été d'une ampleur telles qu'il n'était plus valable. Le passé et les moyennes historiques devenaient alors des guides peu fiables pour le futur, et l'incertitude n'était pas seulement exogène (choc) mais aussi endogène.

Afin de réduire les limites mises en exergue, les générations plus récentes de modèles DSGE ont procédé à des extensions. Certaines d'entre elles ont eu lieu avant le déclenchement de la crise financière, mais la plupart ont été réalisées après. Ces limites étaient pourtant connues avant la crise. Cette inertie dans le raffinement des modèles DSGE avant la crise, s'expliquerait en partie par leur domination entre 2002 et 2007. Elle n'incitait pas les universitaires, et dans une moindre mesure les banquiers centraux, à l'intégration dans ces modèles d'hypothèses plus réalistes ou plus hétérodoxes. Ainsi, la crise financière a bien été une crise des modèles DSGE standards. Leur faillite a conduit à leur évolution rapide, notamment en direction de la prise en compte du crédit, des banques, de la prime de risque et des politiques non conventionnelles. La crise financière a été un catalyseur de ces modifications.

Malgré que les dernières générations de modèles DSGE, suite à la crise financière, intègrent bon nombre d'hypothèses nécessaires pour rendre compte de la crise : rôle des banques, du crédit, des politiques monétaires non conventionnelles ou des politiques de relance budgétaire, il s'agit encore de prémisses dont les résultats sont parfois différents d'un modèle à l'autre.

Actuellement, même les banquiers centraux se montrent critiques des modèles DSGE standards, et mêmes de la plupart de leurs développements récents qu'ils jugent encore inadaptés à la crise. Dans [Cha 08], il est considéré que le modèle DSGE standard de Smets et Wouters n'est pas utilisable pour l'analyse de politique monétaire. Bean critique les développements récents des modèles DSGE [Bea 09].

### **VI. Conclusion**

A travers ce chapitre, nous avons retracé l'évolution de la macroéconomie, comme discipline à part entière, des premiers modèles pré-keynésiens aux derniers modèles d'équilibre général « DSGE ». On a ainsi fait ressortir les spécificités de la modélisation macroéconomique, ainsi que les raisons qui ont fait que des modèles de plus en plus sophistiqués ont dû voir le jour. Nous avons ainsi, aboutit aux différentes limites mises en relief par les économistes / banquiers, suite à la dernière crise financière / économique. Ce qui nous intéresse le plus dans les différentes limites exposées, c'est que les multiples carences relevées, sont dû au fait que leurs considérations dans les modèles, les compliqueraient d'avantage, au point même, de les rendre inopérable.

L'objectif de ce travail, n'est pas de proposer des améliorations vis-à-vis des modèles existant, afin qu'ils intègrent ces limites, mais de proposer une autre approche de modélisation, qui lèverait les complexités combinatoires générées par la prise en considération des contraintes de tous les agents en parallèle. Pour répondre à cette nécessité, une approche basée sur les systèmes multi-agents « *ABM* » (Agent Based Modeling) sera proposée.

Dans le prochain chapitre, nous allons passer en revue les systèmes multi-agents, à travers l'exposé de leurs caractéristiques et spécificités, afin d'aboutir à leur utilisation dans la modélisation macroéconomique.

## **CHAPITRE II : Systèmes multi-agents et leur utilisation dans la modélisation macroéconomique**

- I. Introduction
- II. Systèmes multi-agents
  - 1. L'agent
    - 1.1 L'éco-agent
    - 1.2 L'agent BDI
    - 1.3 L'agent AOP
  - 2. L'environnement
    - 2.1 Point de vue du système multi-agent
    - 2.2 Point de vue de l'agent
    - 2.3 Point de vue du concepteur du système
  - 3. L'interaction
  - 4. La communication
  - 5. L'organisation et les rôles
- III. Déroulement de l'approche coopérative
  - 1. Point de vue général de la résolution coopérative
  - 2. Protocoles de rôles : point de vue de l'agent perturbé
  - 3. Protocoles de rôles : point de vue de l'agent coopérant
  - 4. Mise à jour des connaissances
  - 5. Les formes de coopération
- IV. Les systèmes multi-agents en économie
  - 1. Intérêt des systèmes multi-agents en économie
  - 2. Quelques tentatives d'application des systèmes multi-agents en économie
    - 2.1 Investigation du potentiel des SMA dans l'analyse économique [Can 09]
      - 2.1.1 Interaction Entreprise-Banque au niveau macroéconomique
      - 2.1.2 Interprétation de certains concepts clés de la théorie générale de Keynes
      - 2.1.3 Evaluation de l'impact de la politique monétaire sur l'hypothèse d'agents à rationalité limitée
    - 2.2 Un modèle macroéconomique multi-agents avec monnaie endogène [Sep 09]
      - 2.2.1 Caractéristiques générales de ce modèle
      - 2.2.2 Le cycle du modèle
      - 2.2.3 Conclusions relatives à ce modèle
- V. Conclusion

### I. Introduction

Après avoir exposé l'évolution de la macroéconomie, ainsi que, les limites auxquelles ont abouti les modèles macroéconomiques classiques, nous allons présenter dans ce chapitre, une nouvelle approche de modélisation, issue de l'évolution des systèmes du domaine de l'IAD (Intelligence Artificielle Distribuée). Cette approche a déjà démontré son efficacité dans la résolution de problèmes combinatoires NP-difficile, tel que dans les systèmes de production. Plus récemment, c'est les sciences sociales et économiques qui s'y intéressent. Effectivement, nous allons retrouver dans la définition même des systèmes multi-agents (produits de l'IAD), les raisons de cette nouvelle adoption.

Afin d'atteindre cet objectif, ce chapitre sera structuré comme suit : nous allons commencer par présenter les systèmes multi-agents à travers l'exposé des définitions et principes de ces derniers. Par la suite, nous allons voir, plus en détail, la démarche opérationnelle via laquelle les systèmes multi-agents démontrent tout leur intérêt, et qui est l'approche coopérative. Une fois cet aspect théorique de la démarche appréhendé, nous allons passer aux quelques tentatives d'application des systèmes multi-agents aux systèmes économiques, à travers des travaux qui ont été menés ces derniers mois (plus particulièrement, suite à la crise économique de 2007), cela va nous permettre d'évaluer les avantages qu'ils ont apportés aux sciences économiques, et à quels types de besoins ont-ils répondu.

### II. Systèmes multi-agents

Issus de l'évolution des systèmes du domaine de l'IAD, les systèmes multi-agents sont apparus avec la décentralisation du contrôle de l'exécution [Gas 87]. Les systèmes multi-agents peuvent être observés selon deux points de vue :

- Le macro-niveau : qui correspond au point de vue d'un observateur extérieur. Il considère le système dans son ensemble et ignore tout mécanisme interne.
- Le micro-niveau : qui correspond au point de vue d'un observateur considérant le système au niveau des agents. À ce niveau, on peut observer le comportement des agents ainsi que leurs interactions.

La description d'un SMA commence par la définition des agents qui le composent et des modes d'interactions qui les relient.

#### 1. L'agent

L'agent est le composant principal des systèmes multi-agents. Selon la définition communément admise, il s'agit d'une entité physique ou virtuelle autonome, capable de percevoir partiellement son environnement et d'agir sur celui-ci de façon à atteindre un certain but [Fer 95].

Pour être autonome, un agent doit posséder les propriétés suivantes :

- Son existence ne dépend pas de la présence d'autres agents ;
- Il est capable de maintenir sa viabilité dans des environnements dynamiques, sans contrôle extérieur ;
- Son comportement est régi uniquement par un contrôle interne. Ce comportement est par conséquent uniquement fonction des perceptions de l'agent, de ses connaissances et de sa représentation du monde (l'agent est ainsi capable de refuser la requête d'un autre agent) ;
- Aucun contrôle extérieur ne peut accéder à ses représentations internes ;

Un agent fonctionne selon le cycle classique Perception, Décision, Action. Tout d'abord, l'agent perçoit son environnement. Il décide, par la suite, de l'action qu'il effectuera en fonction de ses perceptions, de ses connaissances et de ses buts. Enfin, il exécute l'action choisie tendant généralement à le rapprocher de son objectif s'il en possède un, voire à l'atteindre.

Deux systèmes d'agent existent, les agents réactifs et les agents cognitifs. Les systèmes d'agents réactifs s'appuient sur une conception émergente de l'intelligence, à l'instar des sociétés d'insectes, un grand nombre d'agents de faible Granularité (faible degré de détail des connaissances de l'agent) peut présenter un comportement global cohérent et efficace. Au contraire, les systèmes d'agents cognitifs sont constitués d'un petit nombre d'agents de forte granularité (chaque agent est apparenté à un système expert plus ou moins évolué). Les actions de ces agents seront ainsi « réfléchies » en ce sens qu'elles sont basées sur les connaissances de l'agent (sur lui-même, sur les autres et sur son environnement) et les objectifs qui le guident. La première étape pour la conception d'un SMA, est la définition des proportions des caractères cognitifs et réactifs constituant les agents de ce système.

Ce qui est central dans la définition et la modélisation d'un agent, c'est son comportement. En se basant sur le comportement, trois modèles nous semblent représentatifs, à savoir, l'éco-agent, l'agent BDI et l'agent AOP.

### 1.1 L'éco-agent

L'éco-agent est un modèle d'agent réactif proposé par Ferber dans [Fer 95]. Il est basé sur trois modes de comportement : chercher la satisfaction, satisfaire et fuir. Un éco-agent cherche constamment à atteindre l'état de satisfaction guidé par sa fonction de satisfaction. S'il est gêné dans sa recherche par un autre agent, il l'agresse. Ce dernier est alors dans l'obligation de fuir. Un ensemble de règles simples prédéfinies permettront à un agent d'associer à un signal reçu un comportement particulier.

### 1.2 L'agent BDI

Les architectures BDI (Belief - Desire - Intention) expliquent le comportement d'un agent cognitif par la propension de ce dernier à satisfaire des désirs ou buts, se traduisant par des intentions (plans d'action intermédiaires) à partir de ses croyances (connaissances supposées vrai d'un agent sur lui-même et son environnement) [Had 96]. Le comportement d'un agent résulte alors de l'influence de plusieurs « attitudes » vis-à-vis du monde qui l'entoure.

### 1.3 L'agent AOP

La démarche de Programmation Orientée Agent (POA) a été proposée par Shoham dans [Sho 93]. Elle est, également, basée sur des postures intentionnelles. Un agent est perçu comme étant une entité dont l'état est considéré comme constitué de composantes mentales telles que croyances, compétences, choix et engagements. Les compétences regroupent les différentes tâches qu'un agent peut accomplir et les choix correspondent aux capacités décisionnelles de l'agent. Les engagements sont les actions qu'un agent promet à un autre de réaliser et sont la base de toute coopération. Les croyances définissent, comme pour les architectures BDI, les connaissances d'un agent. Shoham formalise ces notions en un langage qui intègre également les notions d'actions (sur quoi portent les engagements) et de temps.

La plupart des SMA proposent des architectures d'agents *particulières* empruntant des concepts à l'une ou plusieurs de ces approches. Les architectures d'agents reflètent les besoins particuliers d'un domaine d'application donné, car il est très difficile, voire impossible d'élaborer une architecture générale et universelle [Huh 98].

## 2. L'environnement

Le type d'environnement varie selon le point de vue que l'on adopte (SMA, agent, concepteur).

### 2.1 Point de vue du système multi-agent

L'environnement correspond à l'ensemble des entités extérieures au système. Par exemple, si l'on considère une fourmilière, l'environnement est tout ce qui est présent dans la nature à l'exception des fourmis appartenant à la fourmilière : cailloux, végétaux, nourriture, lois physiques, etc.

### 2.2 Point de vue de l'agent

L'environnement est tout ce qui est extérieur à lui-même. Par exemple, l'environnement d'une fourmi est composé de l'environnement de la fourmilière et de toutes les autres fourmis.

### 2.3 Point de vue du concepteur du système

De ce point de vue, on peut considérer plusieurs sortes d'environnements :

- L'environnement d'exécution du programme : qui correspond à l'état du système informatique sur lequel s'exécute le SMA.
- L'environnement de simulation : qui représente l'ensemble des outils logiciels permettant de simuler, de visualiser et d'évaluer l'exécution du SMA.
- L'environnement de développement : qui est l'ensemble des outils logiciels facilitant le développement du système.

## 3. L'interaction

Selon la définition communément admise, l'interaction est la mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques. L'interaction peut, ainsi, être vue comme une sorte de communication, de moyen pour mettre en œuvre une activité commune entre plusieurs agents.

L'interaction peut être directe, via l'envoi d'un message à un ou plusieurs destinataires, ou être indirecte via un dépôt d'informations dans l'environnement. Par exemple, les fourmis communiquent selon ces deux modes, de façon directe lorsqu'elles interagissent par contact antennaire (échange de messages) et de façon indirecte en déposant des phéromones dans l'environnement de façon à créer des chemins balisés vers la nourriture.

La représentation des interactions entre agents dans un SMA conduit à définir des modes d'interaction standards ou du moins génériques. Ainsi, la FIPA avec ACL (Agent Communication Language) préconise non seulement un langage de communication mais également des modèles d'échanges de messages formant des protocoles d'interaction. Ces modèles se limitent à des cas généraux (requête, appel d'offre, ...) et surtout s'appuient sur une schématisation restrictive.

Dès lors, la spécification des modes d'interaction entre agents, qu'on appelle protocoles d'interaction ou protocoles de conversation, doit dépasser le stade normatif pour devenir un outil de conception SMA à part entière. Pour cela, un outil d'aide à la spécification de tels protocoles doit vérifier les propriétés suivantes [Cos 99], [Maz 99]:

- Spécification : avant de commencer l'implémentation d'une plate-forme multi-agents, cet outil doit permettre de spécifier ce que devront faire les agents et dans quel ordre ;
- Communication : une spécification graphique ou semi-formelle, facilite la communication entre concepteurs dès la phase de spécification des comportements d'agents ;
- Vérification : il doit être possible de détecter les incohérences existant dans les spécifications des activités des agents, avant même la phase d'implémentation, ceci soit par une analyse syntaxique, soit par simulation ;

- Implémentation : de manière connexe, l'outil doit pouvoir guider l'implémentation de ces comportements. Notons qu'une approche BDI s'adapte facilement à une telle approche du fait que la notion de plan recouvre celle de description de comportement.

### 4. La communication

La communication est la forme d'interaction consciente (interaction contrôlée, désirée et connue explicitement de(s) l'agent(s) initiateur(s) de l'interaction) la plus élémentaire dans un SMA et constitue l'ossature sur laquelle des modes d'interaction plus évolués s'appuient. La communication dans un SMA suppose l'existence d'un médium physique (un réseau informatique par exemple), d'un médium linguistique (langage d'expression) et un mode de diffusion. Le médium physique dépendant davantage de choix techniques d'implémentation (architecture du réseau, types de connections, protocoles de communication).

Le médium linguistique nécessite la spécification d'un langage commun à un ensemble d'agents leur permettant d'interpréter un message. Les recherches en communication inter-agents ont mis en valeur l'apport de la théorie des actes de langage (speech act theory [Sea 72]). Le langage KQML (Knowledge Query Manipulation Language), développé dans le cadre du projet DARPA [Fin 94], largement utilisé dans les SMA ainsi que le langage ACL (Agent Communication Language) proposé par la FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents [Fip 97]), reposent sur cette théorie. Brièvement, chaque acte de discours (un envoi de message dans un SMA) est considéré comme une action convoyant des informations sur l'intention de son émetteur et le résultat attendu.

Les modes de diffusion se distinguent en deux grands types : les modes anonymes et les modes nominatifs. Le mode de diffusion anonyme peut s'effectuer au travers d'un tableau noir (ou Blackboard System) ou par des envois multiples (broadcasting). Dans le premier cas, les agents envoient leurs informations ou requêtes à une zone de connaissance (ou mémoire) partagée que chaque agent consulte [Dur 95]. Les agents lisent ainsi tous les messages inscrits dans le tableau noir mais ne réagissent qu'à ceux qui les concernent (spécifications de compétences ou d'informations qu'ils possèdent).

Le mode de diffusion anonyme par envoi multiple est assez similaire quant aux réactions des agents. Il s'appuie sur l'envoi d'un message à tous les autres agents sans destinataire spécifique (broadcasting).

A l'opposé, dans le mode de diffusion nominatif ou par message, un agent envoie "personnellement" un message à chaque agent identifié dans sa base d'acointances (agents connus par celui-ci).

Aussi est-il nécessaire de prévoir un mécanisme permettant à chaque agent de savoir comment contacter un agent spécifique (de connaître son "adresse"). Précisons que loin de s'opposer, les modes de communication par envoi multiples de message et par un message sont souvent utilisés de *paire* : le premier permettant d'établir une liste de correspondants privilégiés, utilisée ensuite par le second.

### 5. L'organisation et les rôles

L'organisation est la description, au macro-niveau, des interactions et des relations du micro-niveau, mises en place entre les agents d'un système. Grâce à l'observation de ces relations, il est possible d'identifier des rôles. Ainsi, par exemple, dans une fourmilière certains agents s'occupent de recruter d'autres fourmis (rôle de recruteurs), alors que d'autres s'adonnent à la recherche de nouvelles sources de nourriture (rôle de fourrageur).

Ainsi, l'activité des agents au sein du système fait apparaître une certaine organisation et, par conséquent, un certain nombre de rôles.

### III. Déroulement de l'approche coopérative

Ce type de résolution met en jeu un agent perturbé (à l'origine de la coopération et responsable du bon déroulement de la coopération), et p agent(s) coopérant(s) ( $p \geq 1$ ). L'étude des comportements des agents en coopération a révélé une grande similitude dans leur gestion du processus d'obtention d'une solution coopérative (recueil des propositions, sélection, etc.) [Tra 01].

Dans cette section, nous illustrons comment se déroule une résolution par approche coopérative, à travers la description des différentes étapes la constituant.

#### 1. Point de vue général de la résolution coopérative

Les grandes étapes par lesquelles passent les deux types d'agents, perturbé et coopérant sont décrites dans la figure II.1. On peut identifier à travers elle, les points d'entrée et de sortie des flux de communication entre les agents ainsi que les actions effectuées par ces mêmes agents pour traiter une perturbation.

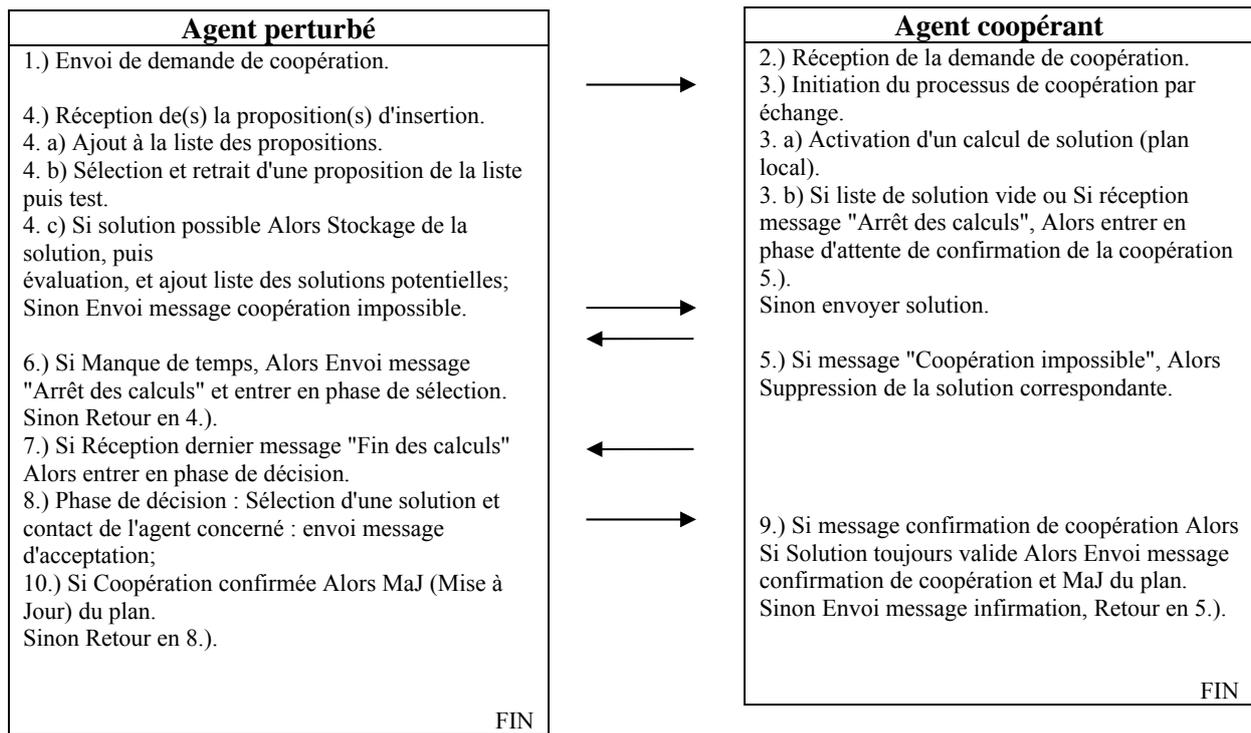


Figure II.1 : Point de vue général d'une résolution coopérative [Tra 01]

A partir de là, deux protocoles de rôles émergent : selon le point de vue de l'agent perturbé et selon le point de vue de l'agent coopérant.

#### 2. Protocoles de rôles : point de vue de l'agent perturbé

La gestion de la coopération est assurée par l'agent perturbé (initiateur de la résolution coopérative), ainsi, il envoie un appel d'offre aux agents adéquats et sélectionne la solution la plus

efficace ou du moins la moins perturbatrice. C'est un rôle de coordinateur qu'on peut identifier clairement via la figure II.2.

Il s'agit pour cet agent, de sélectionner les destinataires des appels d'offre (sélection des contractants potentiels) en fonction de ses croyances sur les compétences des agents du système. Ainsi, il ne s'adresse qu'aux agents possédant la fonctionnalité nécessaire à l'accomplissement de la tâche à effectuer, les autres ne pouvant pas physiquement le faire.

Pour accomplir cette tâche, l'agent perturbé fait appel à l'aide d'un R-agent (Le R-agent remplit le rôle d'un agent Pages Jaunes maintenant une liste d'agents et de leurs compétences, il connaît l'ensemble des agents ainsi que leurs compétences. Il a deux fonctions : la gestion de ces connaissances et l'envoi multiple de message).

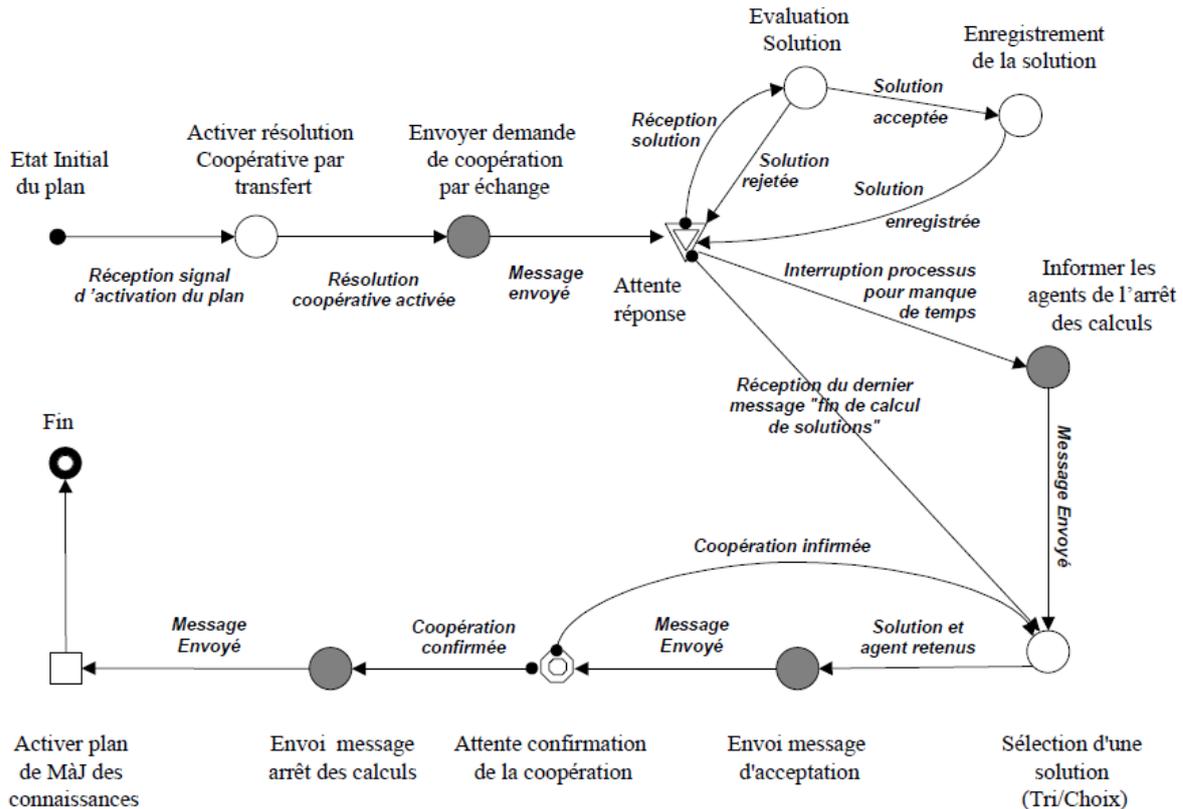


Figure II.2 : Protocole de rôle de résolution coopérative : point de vue de l'agent perturbé [Tra 01]

### 3. Protocoles de rôles : point de vue de l'agent coopérant

On peut considérer l'agent coopérant comme étant le véritable moteur de la coopération, de par sa contribution à l'alimentation du processus de résolution coopérative en solutions potentielles permettant d'absorber la perturbation. La figure II.3, décrit son comportement.

### 4. Mise à jour des connaissances

Aussitôt une stratégie de résolution réussit, une coopération informationnelle est engagée pour évaluer si les modifications de connaissances chez les agents impliqués peuvent en concerner d'autres. Les figures II.3 et II.4, décrivent la mise en application de la mise à jour des connaissances du point de vu émetteur et destinataire respectivement.

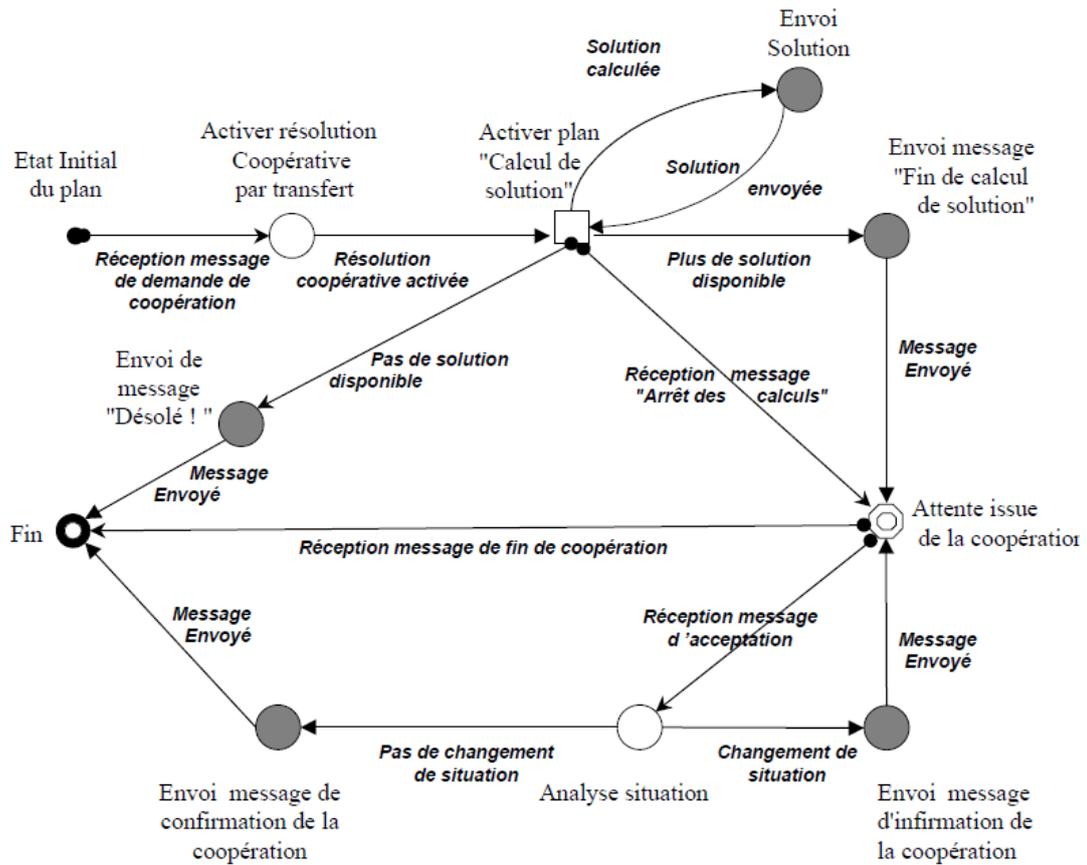


Figure II.3 : Protocole de rôle de résolution coopérative : point de vue de l'agent coopérant [Tra 01]

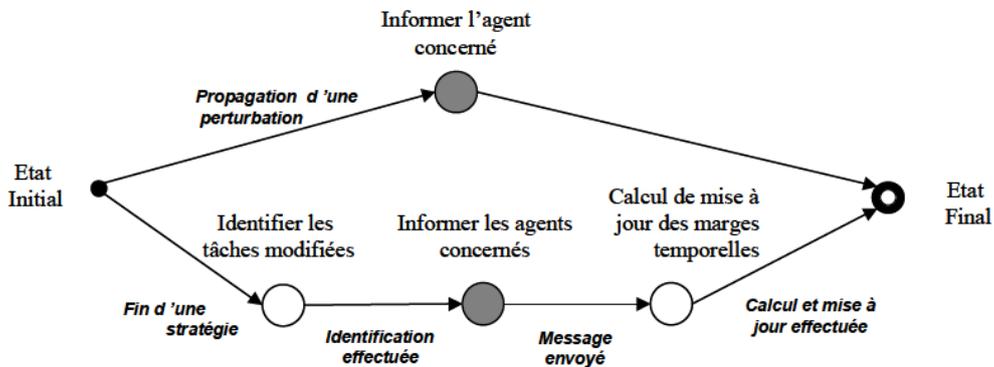


Figure II.4 : Protocole de rôle de mise à jour des connaissances : rôle émetteur [Tra 01]

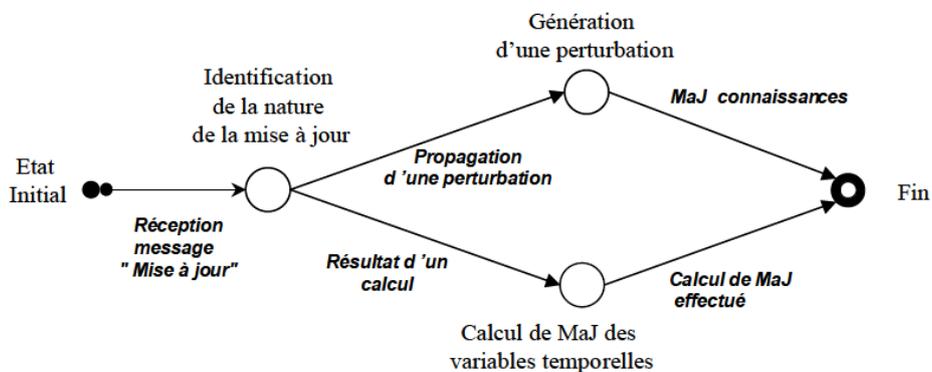


Figure II.5 : Protocole de rôle de mise à jour des connaissances : rôle destinataire [Tra 01]

## 5. Les formes de coopération

Trois formes de coopération ont été recensées [Cam 00] : La coordination, la collaboration et la codécision.

- La coordination : vise à synchroniser les actions dans le temps en exploitant un référentiel temporel commun, et à gérer la cohérence des actions individuelles par rapport à l'ensemble des activités. La coopération a pour objet de faciliter la coordination d'activités étroitement complémentaires pour la réalisation des processus.
- La collaboration : signifie travailler ensemble à l'exécution d'une certaine action pour produire un résultat final. Dans [Bou 02], la collaboration implique le partage d'informations à l'intérieur d'un groupe donné, sans prise de décision collective. Le terme collaboration s'utilise à la place de coopération lorsque les actions individuelles ne sont pas différenciables.
- La codécision : signifie la collaboration de plusieurs acteurs en vue de prendre des décisions. Cette codécision peut être le résultat de mécanismes de négociation ou de renégociation. Ces mécanismes visent à trouver un compromis acceptable entre les objectifs locaux de chaque entité qui peuvent être contradictoires. Si aucune codécision n'a été prise au préalable, on parlera de négociation. Au contraire, on parlera de renégociation si l'objet de la collaboration entre partenaires est la remise en cause d'une décision passée.

## IV. Les systèmes multi-agents en économie

### 1. Intérêt des systèmes multi-agents en économie

L'application de la démarche multi-agents à l'économie (Agent-based Computational Economics ou ACE) ne constitue pas un simple complément à l'économie néoclassique mais bien un mouvement significatif de la pensée économique.

L'utilisation des systèmes multi-agents a acquis une grande notoriété et un grand intérêt en économie ces dernières années. Elle est de plus en plus utilisée. « Elle fournit une réponse au manque de modèles qui étudient les dynamiques dans une société composée d'agents artificiels ayant une rationalité limitée » [Hoo 05]. Les systèmes multi-agents permettent de représenter les individus et leur comportement. En modélisant les comportements des individus, ils permettent de considérer les effets non linéaires des interactions entre les différents acteurs du système [Ben 03]. Durand [Dur 97] montre que l'intérêt d'une simulation moyennant les systèmes multi-agents pour les modèles économiques est triple : théorique, méthodologique et technique. Sur le plan théorique, la simulation multi-agents constitue un prolongement essentiel de la réflexion qui peut être menée dans le cadre du courant des ressources. Sur le plan méthodologique, à la différence des méthodologies classiques, la simulation ne nécessite pas d'hypothèses fortes sur le comportement optimal ou rationnel de l'agent économique. Sur le plan technique, elle donne le maximum de liberté à la définition idiosyncrasique de la firme. Elle permet de représenter la firme par un agent capable d'agir en fonction des variations du marché.

La simulation multi-agents apporte des solutions aux limites de l'approche mathématique. Elle permet de [Dur 97] :

- Représenter les phénomènes inter-temporels en économie,
- Représenter, à travers les systèmes multi-agents, des comportements hétérogènes,
- Ne pas tenir compte de l'hypothèse de bouclage de modèle et de représenter par exemple l'évolution sans avoir une contrainte de demande ou de budget,
- Représenter un système continuellement évolutif et évite par conséquent la considération de l'équilibre ; elle permet de relier la décision de la firme et son action,

- Prendre en considération les conséquences du choix stratégique sur les propriétés des ressources engagées par l'agent dans le processus concurrentiel.

La simulation multi-agents permet aussi de préserver l'hétérogénéité du système à simuler, puisqu'elle représente plusieurs niveaux de granularité dans des systèmes hétérogènes [Fer 95]. Les économistes ont besoin de tels outils pour représenter leur vision du monde réel. Cette vision est souvent composée d'acteurs qui appartiennent à des niveaux de hiérarchisation différents et dont le comportement dépend de leurs niveaux de définition [Ben 03]. Elle se distingue des autres approches par le fait qu'elle permet de tenir compte à la fois de plusieurs niveaux d'analyse : le niveau micro et le niveau macro. Dawid [Daw 05] souligne que la simulation multi-agents lie, d'une part, les stratégies individuelles, la structure du marché et les effets micro et d'autre part, le développement de certaines variables économiques au niveau macro tels que la croissance économique et le nombre de firmes. Lopez-Peredes [Lop 02] indique que les résultats des simulations multi-agents utilisées confirment qu'il est possible de reproduire les comportements humains et ouvrent ainsi une voie prometteuse pour la simulation et l'ingénierie de la compétition stratégique. Cette approche de simulation des systèmes économiques par des systèmes multi-agents a suscité l'intérêt de plusieurs chercheurs. Une approche nommée ACE (Agent Computational Economics) a été créée. Cette approche considère les systèmes économiques comme des systèmes adaptatifs complexes [Tes 01]. Elle est pluridisciplinaire puisqu'elle fait intervenir les études en sciences cognitive, informatique et économique. Les recherches inhérentes à cette méthodologie s'orientent vers plusieurs axes de recherche pour :

- Comprendre les régularités dans le comportement global du système et démontrer que ces régularités sont le résultat des interactions entre les agents. Ce qui revient à étudier les systèmes économiques par une approche ascendante,
- Etudier l'impact de l'apprentissage sur l'économie,
- Développer des simulations afin d'étudier les processus économiques à travers des expérimentations contrôlées,
- Etudier le lien entre l'individu et les groupes sociaux.

## 2. Quelques tentatives d'application des systèmes multi-agents en économie

Durant la dernière décennie, on a recensé quelques tentatives d'application des systèmes multi-agents en économie, avec plus ou moins de réussite. Dans le cadre de ce travail, nous avons retenu deux études qui nous ont semblé intéressantes. La première, concerne une investigation sur le potentiel des SMA dans l'analyse économique menée par G. Canzian dans le cadre d'une thèse de doctorat [Can 09], la seconde est une application d'un modèle macroéconomique multi-agents avec l'hypothèse d'une monnaie endogène, travail réalisé par P. Seppecher dans le cadre de recherche postdoctorale [Sep 09].

### 2.1 Investigation du potentiel des SMA dans l'analyse économique [Can 09]

L'analyse économique en tant que système dynamique complexe, peut faire appel aux SMA pour absorber une partie de cette complexité. L'investigation réalisée dans [Can 09] avait pour objectifs d'évaluer cette éventualité et de faire ressortir le potentiel des SMA, dans ce type de système. Pour cela, trois questions principales ont été soulevées et analysées moyennant une réflexion multi-agents, et qui consiste en :

- Interaction Firme-Banque au niveau macroéconomique
- Interprétation de certains concepts clés de la théorie générale de Keynes
- Evaluation de l'impact de la politique monétaire sur l'hypothèse d'agents à rationalité limitée

#### 2.1.1 Interaction Entreprise-Banque au niveau macroéconomique

L'interaction Entreprise-Banque peut être définie comme «un contrat implicite à longue durée, entre une banque et son débiteur » [Els 05].

### ➤ Présentation de la relation « Entreprise-Banque »

La relation bancaire peut être interprétée comme un accord particulier dans lequel la connaissance des deux parties vient de l'interaction, une telle connaissance ne pouvant être achetée ou obtenue de toute autre manière externe.

Dans le marché du crédit, la relation bancaire est importante car elle facilite l'échange d'informations entre les banques et les emprunteurs, et elle facilite par conséquent la résolution des problèmes d'asymétrie d'information.

La banque, ayant accès à une information que les autres financiers ne peuvent pas avoir, elle est en mesure de faire face aux périodes de difficultés, et d'atténuer les problèmes d'aléa moral par une surveillance continue. En outre, grâce à cet avantage des banques, les entreprises qui sont en relation avec la banque ont plus de facilité d'accès au crédit, puisque l'interaction étroite implique la construction de réputation [Pet 95], [Ber 95] : « les prêts répétés à partir d'une banque fournissent une certification crédible de la capacité de paiement de l'entreprise, les emprunteurs peuvent établir une relation afin de gagner une réputation de payer le crédit dans les temps » [Ong 00].

Sharpe [Sha 90] soutient que l'avantage informationnel des banques, leur donne un pouvoir monopolistique, défiant leurs clients de trouver des financements moins onéreux ailleurs. Ainsi, les entreprises qui renoncent à leur relation actuelle et essaient d'avoir un crédit de l'extérieur de la banque, ne peuvent avoir un service de meilleure qualité ni un meilleur taux d'intérêt, étant donné qu'ils auront affaire à des entités mal informées sur leurs besoins. De cette façon, les banques bien informées sont en mesure de fournir un meilleur service aux entreprises, avec un taux d'intérêt moins important, aussi longtemps que ces taux sont inférieurs à ceux pratiqués à l'extérieur, ce qui les fait percevoir une rente « monopolistique ».

Ainsi, le modèle théorique décrivant l'interaction Entreprise-Banque décrit par [Can 09], est fondé sur la robustesse de l'information disponible au niveau de la banque. Dans ce modèle, deux cas sont identifiés : le cas d'une information asymétrique pure se caractérisant par l'impossibilité pour les banques de faire la différence entre les entreprises « honnêtes » vis-à-vis de la banque, qui utiliseront le prêt octroyé dans sa totalité pour l'accomplissement de leur projet, et les entreprises « opportunistes », qui utilisent une partie ou la totalité de l'emprunt pour financer des projets personnels, dont la banque n'a pas de visibilité. Le second cas est celui d'une information symétrique se caractérisant par une relation de longue durée entre la banque et l'entreprise, tel que, l'entreprise et la banque partagent une même information, en particulier, sur l'utilisation de l'emprunt, sa rentabilité, ... ce type de relation donne suite à une relation à longue durée avec la banque, bénéficiant ainsi, d'un accès plus simple au crédit avec un taux d'intérêt moins important.

### ➤ Conclusion sur le modèle développé pour considérer l'interaction Entreprise-Banque

Le modèle développé, a pour objectif l'analyse de la macro dynamique du système économique, caractérisé par une information asymétrique, sur lequel on a introduit l'hypothèse d'entreprises hétérogènes : celles qui investissent en usant de leurs fonds propres, et celles qui contractent un prêt auprès de la banque pour le financement de leurs projets. L'introduction de cette hypothèse a été, entre autre, facilitée par l'utilisation des systèmes multi-agents, qui prennent en charge, plus facilement les problèmes de type combinatoire.

Les paramètres considérés pour la simulation du modèle sont des constantes, en particulier, la proportion d'entrepreneurs opportunistes qui est, en plus, connu par la banque, le taux d'intérêt sans risque (en ce qui concerne les entreprises « honnêtes ») ainsi que la probabilité de succès de l'emprunt parmi tous les emprunts octroyés.

Ainsi, grâce aux systèmes multi-agents et à la simulation, les suppositions théoriques ont été prises en défaut. Effectivement, le résultat des relations bancaires dans le cas d'une information symétrique

ne sont pas supérieures au résultat dans le cas d'une information asymétrique pure. Cela est dû à l'hypothèse d'hétérogénéité qui a été introduite sur le modèle. En effet, la présence d'entreprises pratiquant un autofinancement annule la contribution positive des Relations Banque – Entreprise.

### 2.1.2 Interprétation de certains concepts clés de la théorie générale de Keynes

Comme exposé dans le point II.2 du chapitre I, Keynes n'a donné qu'une présentation littéraire de la macroéconomie, c'est à ses successeurs, qu'on doit son interprétation sous forme de modèles mathématiques. Ceci étant, ces modèles ont été pris à défaut, à plusieurs reprises, à travers les différentes crises économiques redondantes, qu'a connu l'économie mondiale, et que ces modèles n'ont pu prévoir.

L'objectif recherché par Canzian, est d'utiliser les systèmes multi-agents, afin de prendre en charge, les difficultés rencontrées par ceux qui ont essayé de traduire ce modèle littéraire en un modèle mathématique. Effectivement, dans les précédents modèles, il était nécessaire de faire appel à des abstractions dites traditionnelles, telles que celles qui considèrent les agents représentatifs comme étant parfaitement rationnels ; rien que cette hypothèse, va à l'encontre du modèle keynésien, qui suggère la présence d'un sentiment du marché, d'une incertitude dans la prise de décision,... Ces abstractions ont conduit à une évaluation biaisée du modèle keynésien, donc Canzian essaye de rectifier cela, en introduisant les hypothèses de « non rationalité » prônées par Keynes, afin d'évaluer la dynamique des fluctuations économiques résultantes.

Les trois fondements des premières normalisations de la théorie keynésienne sont : l'efficacité marginale du capital (MEC), la propension marginale à consommer (MPC) et la préférence pour la liquidité (LP), fondements qui ont trouvé leur place dans le modèle IS-LM, mis en avant par Hicks dès 1937. Sur ces fondements, la construction de la macroéconomie keynésienne a été érigée dans les années cinquante et soixante grâce aux travaux de Modigliani, Klein, Hansen, Samuelson et beaucoup d'autres, qui ont contribué à l'émergence de la «synthèse néoclassique».

#### ➤ Modèle développé et conclusion sur ce dernier

La modélisation multi-agents de ces concepts, s'est essentiellement basée sur le cadre d'analyse du modèle IS-LM. Afin de saisir l'effet de l'incertitude et de la rationalité limitée des décisions des entreprises (entrepreneurs) et des consommateurs, le modèle se concentre sur ce qu'on appelle « Market Sentiment » ou « le sentiment du marché », ce sentiment est engendré par l'interaction d'agents optimistes et d'agents pessimistes. C'est la confiance vis-à-vis du marché, des entrepreneurs et des consommateurs qui, en passant par la MEC, MPC et LP, alimente les relations macroéconomiques, déterminant par conséquent l'investissement, la consommation et le taux d'intérêt.

L'économie est considérée comme étant un système fermé, peuplé par des entrepreneurs et des consommateurs, qui sont en interaction et peuvent changer de sentiment (passer d'optimiste à pessimiste et vice versa) vis-à-vis du marché, lors de cette interaction. Ajouté à cela, une fonction d'offre globale qui, en s'appuyant sur la représentation du marché du travail de Keynes, relie les changements dans l'activité économique avec les changements dans le niveau général des prix (GPL).

Le modèle a été développé conformément à l'architecture suivante : d'abord la modélisation des trois fondements du système IS-LM, puis l'algorithme de Kirman, qui génère les interactions Optimiste / pessimiste, et enfin la fonction d'offre globale.

Ce modèle a été évalué via la simulation sur un plan qualitatif, i.e., c'est le comportement du modèle qui a été au centre de cette analyse (les paramètres du modèle n'ayant pas été définis). Dans cette optique, trois types de traitement ont été réalisés :

- 1) D'abord, il a été considéré que le sentiment du marché évolue sans aucune corrélation avec la dynamique du Produit Intérieur Brut (PIB), i.e. : la probabilité qu'un agent  $a$ , de devenir pessimiste ou optimiste n'est pas influencée par l'augmentation ou la diminution du PIB.

Dans ce cas la simulation a montré que ce modèle est capable de prendre en charge les fluctuations économiques irrégulières, même si à long terme, la production globale semble reproduire un cycle économique classique. De plus, il s'avère que la consommation est moins volatile que la production, tandis que l'investissement est presque trois fois plus volatile que le PIB. Néanmoins, la structure de corrélation croisée montre que l'investissement ne conduit pas le cycle des affaires mais il accuse un retard par rapport à ce dernier.

Globalement, le modèle prend en charge la plupart des intuitions de Keynes. En particulier, il montre que la dynamique du sentiment du marché est effectivement, le moteur de l'instabilité économique, de plus c'est elle qui entraîne le cycle économique, ce qui confirme l'hypothèse d'avoir un cycle économique tirée par la dynamique sociale. Et non pas par l'investissement.

- 2) Deuxièmement, le modèle original a été enrichi par la corrélation du sentiment du marché à l'évolution du PIB, de telle sorte que la probabilité qu'un agent devienne optimiste ou pessimiste dépend de l'augmentation ou de la diminution du PIB.

Cette hypothèse supplémentaire n'a pas d'impact sur la relation qualitative entre les variables. Cependant, une variation sur le plan quantitatif a été identifiée.

Néanmoins, la dynamique de sortie qui en résulte est hautement irréaliste, puisque la production oscille harmonieusement autour de sa valeur moyenne. En effet, il a été montré que cela est une conséquence des caractéristiques internes de l'algorithme de Kirman.

- 3) Bien que les deux traitements précédents sont capables de recréer les principales caractéristiques de l'économie keynésienne, elles aussi échouent à reproduire le phénomène de sous-production.

D'après Keynes, il est possible d'avoir une sous production, en supposant qu'il y a eu une longue période de pessimisme. Afin d'évaluer cette hypothèse, le modèle précédent a été enrichi, en fixant le nombre d'agent optimiste, à un bas niveau, pendant une longue période.

### 2.1.3 Evaluation de l'impact de la politique monétaire sur l'hypothèse d'agents à rationalité limitée

Considéré comme la suite logique des deux modèles développés précédemment, l'objectif du dernier modèle développé, est de tester les performances des règles de la politique monétaire dans les situations où l'hypothèse d'anticipations rationnelles est abandonnée.

#### ➤ Modèle développé et conclusion sur ce dernier

Afin d'atteindre cet objectif, le modèle mathématique de base, du système économique [Can 09] (ci-dessous) a été enrichi par l'intégration de certains nouveaux paramètres ainsi que certaines nouvelles équations.

$$C_t = \begin{cases} \bar{C} \frac{O_t}{N} (Y_t - Y_{t-1}) & \text{si } Y_t - Y_{t-1} > 0 \\ \bar{C} \frac{(N-O_t)}{N} (Y_t - Y_{t-1}) & \text{si } Y_t - Y_{t-1} < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$I_t = d \cdot I_{t-2} + \lambda \cdot (q_{t-2} - 1) \quad \text{quand } q_t = \frac{\rho_t}{\bar{r}_t} \quad (2)$$

$$Y_t = C_t + I_t + \varepsilon_{Y,t} \quad (3)$$

$$r_t = \frac{\mu}{\theta} Y_t + \frac{1}{\theta} (m - p_t) + v_t \quad \text{et} \quad \bar{r}_t = r_t - \pi_{t+1}^e \quad (4)$$

$$\pi_t = \beta \pi_t^e + \phi \Delta Y_t + \varepsilon_{\pi,t} \quad (5)$$

$$\text{quand} \quad \rho_t = \frac{O_t}{N} \cdot (1+\eta) \cdot \widehat{\rho}_{t-1} + \frac{(N-O_t)}{N} \cdot (1-\eta) \cdot \widehat{\rho}_{t-1} \quad (6)$$

$$\text{et} \quad v_t = \frac{O_t}{N} \cdot v^O + \frac{N-O_t}{N} \cdot v^P \quad \text{avec} \quad v^O < v^P$$

En ce qui concerne les nouveaux paramètres, on note l'intégration de deux termes aléatoires  $\varepsilon_{Y,t}$  et  $\varepsilon_{\pi,t}$  sous forme de bruits blancs. Ces termes vont servir à l'analyse de la stabilité du système dans les différents scénarios, dans le cas d'occurrence de choc. Par ailleurs, ces termes d'erreur rendent le cadre d'étude plus comparable à celui plus traditionnel, adopté pour étudier les alternatives de politique monétaire.

$O_t$  représente le nombre d'agents optimistes. Dans le cadre de ce modèle, il a été supposé que ces agents ne sont pas des personnes économiquement formés, de sorte qu'il ne leur est pas possible d'adopter un comportement tel que des économistes.

La dernière hypothèse venant consolider le modèle de base (à travers deux nouvelles équations), est celle relative à la manière dont les anticipations d'inflation globale sont formées. Il est admis dans le cadre de ce modèle, que ces dernières sont influencées par le sentiment du marché, à travers la façon dont les agents analysent l'information économique, ainsi que la façon dont interviennent leurs sentiments dans la formulation de leurs attentes, ainsi, l'inflation attendue augmente lorsque le sentiment du marché est à prédominance pessimiste et diminue, lorsqu'il est à prédominance optimiste. Globalement, la démarche adoptée est celle décrite par les auteurs Leiser and Aroch dans [Lei 08].

Le modèle ainsi implémenté, a pour objectif principal de répondre à une question de base, qui consiste en : « si l'on assume que la rationalité limitée des agents, prévaut dans toutes les prises de décisions économiques, comment la politique monétaire peut affecter l'économie ? ». Il s'agira de montrer que la performance des interventions monétaires dépend fortement de la manière dont les agents forment leurs attentes et si l'autorité monétaire a accès à des anticipations d'inflation des agents. L'expérimentation sur ce modèle s'est faite à travers deux régimes monétaires différents, le premier dit « Ancien Régime » caractérisé par l'intervention de la banque centrale, dans la gestion des flux monétaires (qui sont fixés par cette dernière), ceci détermine le taux d'agents Optimistes / Pessimistes et ainsi contrôle la dynamique de l'inflation. Tandis que, dans le second régime dit « Régime Moderne », le taux d'agents Optimistes / Pessimistes dépend de l'inflation actuelle ainsi que la trajectoire qu'elle emprunte.

La simulation a montré que l'inflation dans le cadre de l'« Ancien Régime » est plus volatile que dans le cas du « Régime Moderne », mais aussi, que dans le cas de l'« Ancien Régime » le système met beaucoup plus de temps pour s'ajuster dans le cas de choc économique.

Afin de consolider les conclusions, et grâce aux spécificités des système multi-agents (plus particulièrement, leur flexibilité), ainsi que, les avantages non-négligeables apportés par le fait d'avoir eu recours à la simulation, pour l'évaluation des différentes hypothèses, G.Canzian a retiré l'hypothèse d'un flux monétaire fixe, fixé par la Banque centrale sous l'« Ancien Régime », elle a, ainsi, laissé la banque centrale décider de la meilleure politique à mettre en œuvre en fonction de la dynamique de l'inflation, à travers, l'augmentation de la masse monétaire à chaque fois qu'il est constaté une baisse de l'inflation et une diminution de cette dernière dans les autres cas. Le résultat obtenu suite à cette modification du modèle est comme suit :

- 1) Si la banque centrale change de 1% l'approvisionnement de la masse monétaire, en réponse à l'inflation, la volatilité reste la même que précédemment, ceci étant, la capacité du système, ainsi obtenu (traduit par ce modèle), à faire face aux chocs économiques s'en trouve améliorée.
- 2) Maintenant, si la banque centrale met en place des politiques plus sévères pour faire face à l'inflation, avec des changements de l'ordre de 5% dans l'approvisionnement de la masse monétaire, la volatilité de l'inflation augmente considérablement par rapport à ce qui a été obtenu précédemment, sans que la capacité du système, ainsi obtenu (traduit par ce modèle), à faire face aux chocs économiques ne s'en trouve améliorée.

Ces résultats démontrent que le « Régime Moderne » est, incontestablement, meilleur que l'« Ancien Régime » que ce soit, dans le cas d'une banque centrale ayant mis en place des politiques passives, ou dans le cas contraire, même si dans ce second cas, le « Régime Moderne » n'est plus performant, qu'en terme de volatilité de l'inflation. Par ailleurs, il faut noter que la simulation a démontré aussi, qu'une politique trop stricte n'est d'aucune aide pour stabiliser l'économie.

En conclusion sur ce modèle, nous pouvons dire que le recours aux systèmes multi-agents, dans l'évaluation des politiques monétaires et l'hypothèse d'agents à rationalités limitées, a permis de confirmer plusieurs hypothèses rapportées par la littérature précédemment, de façon beaucoup plus vigoureuse, à travers, entre autre l'analyse des cas extrêmes, des régimes transitoires et permanents dans les changements de politiques monétaires, mais aussi, l'introduction de nouvelles hypothèses pour la prise en charge de certaines lacunes théoriques constatées lors des expérimentations. Effectivement, une fois le modèle de base figé et implémenter, la flexibilité apportée par les systèmes multi-agents et le recours à la simulation pour l'évaluation, ont rendu cela possible. Une autre conclusion importante, qui a été mise en évidence par ce modèle, c'est l'importance des mécanismes psychologiques qui régissent les décisions économiques, mécanismes qui peuvent être pris en charge plus aisément grâce aux systèmes multi-agents.

### **2.2 Un modèle macroéconomique multi-agents avec monnaie endogène [Sep 09]**

Dans le cadre de ce modèle, la démarche post keynésienne traduisant la pensée keynésienne, refusant l'isolation de la théorie monétaire du reste de l'analyse macroéconomique, est considérée comme étant essentielle, si ce n'est indispensable au modélisateur multi-agents [Bru 99]. Ceci étant, tous les principes de cette démarche, ne pouvant être transposés à un modèle multi-agents, il est nécessaire de retenir un certain nombre d'hypothèses.

Les trois hypothèses fondamentales de la théorie post keynésienne de la monnaie, retenus par [Sep 09] sont :

- La production prend du temps : les entreprises doivent payer les salaires avant d'avoir vendu le produit, elles doivent donc s'endetter auprès des banques pour pouvoir produire,
- La monnaie est une monnaie de crédit : elle est créée par les banques lorsqu'elles prêtent aux entreprises, détruite lorsque ces crédits sont remboursés,
- Le profit est monétaire : les entreprises doivent retirer de la vente du produit plus de monnaie qu'elles n'en ont avancée dans le processus de production.

La première hypothèse permet de qualifier l'économie à modéliser comme une économie monétaire de production c'est-à-dire une économie dans laquelle la production commence et finit en monnaie [Wra 03].

La seconde hypothèse permet de caractériser le modèle à construire comme un modèle de la monnaie endogène, c'est-à-dire un modèle dans lequel l'offre de monnaie est déterminée de manière endogène par la demande de crédit bancaire émanant des forces du marché [Moo 03].

La troisième hypothèse correspond à la notion d'économie d'entrepreneurs, c'est-à-dire une économie dans laquelle les entreprises n'ont pas d'autre objectif au monde que d'obtenir au bout du compte plus d'argent qu'elles n'en avaient au départ (Keynes, cité dans [Gno 03], traduction [Sep 09]).

La modélisation mathématique (algébrique) conduit irrémédiablement à un raisonnement au niveau méso-économique [Lav 04] avec un seul agent représentant l'ensemble des entreprises, un seul agent représentant l'ensemble des ménages, un seul agent représentant l'ensemble des banques. Dans [Sep 09] un modèle informatique supportant plusieurs centaines d'agents (entreprises et ménages) hétérogènes en interaction est proposé. Seul le secteur bancaire est représenté par une banque unique. De même, dans la modélisation classique, le raisonnement est basé sur une période abstraite unique et refermée sur elle-même, dans laquelle se confondent la durée du crédit à la production et la durée d'un cycle de production. Seppacher propose un modèle dans lequel les périodes s'enchaînent les unes aux autres selon un processus irréversible et sont définies concrètement comme le laps de temps séparant deux paiements consécutifs des salaires. La durée du cycle de production et la durée du crédit sont des variables du modèle, et peuvent différer l'une de l'autre.

### 2.2.1 Caractéristiques générales de ce modèle

Les hypothèses du modèle ainsi que défini dans [Sep 09], sont :

- Le crédit bancaire est la seule source de création monétaire,
- Le financement de la production est le seul motif du crédit,
- Les salaires sont le seul coût de production (pas de consommation intermédiaire),
- Les entreprises ne produisent qu'un seul bien, qui est un bien de consommation,
- Le stock de capital productif est donné (pas d'investissement, pas d'obsolescence),
- La propriété du capital est figée (pas de marché financier),
- Le nombre d'agents est donné,
- Il n'existe pas d'échanges réels ou monétaires avec le reste du monde.
- Le modèle est peuplé de trois classes d'agents, chacun assumant différents rôles au cours d'une même période (Figure II.6). l'interaction des agents dans les deux plans : réel et monétaire est représentée par la figure II.7.

Emetteur	Rôle	Flux	Récepteur	Rôle
Banque	prêteur dépositaire	Monétaire Monétaire	entreprises ménages	emprunteur épargnant
Entreprises	employeur fournisseur débiteur	monétaire réel monétaire	ménages ménages banque	salarié consommateur créancier
Ménages	travailleur consommateur épargnant	réel monétaire monétaire	entreprises entreprises banque	producteur fournisseur dépositaire

Figure II.6 : rôles des agents [Sep 09]

Pour chaque classe d'agents, un comportement de type « éco-agent » a été développé, tel que :

#### ➤ Pour la banque :

La banque gère l'ensemble des moyens de paiement des agents (entreprises et ménages). Elle prête aux entreprises pour financer la production et tente de recouvrer ces crédits à l'échéance. Elle constitue une réserve de fonds propres et verse l'excédent aux ménages sous forme de dividendes. Donc, elle arbore quatre comportements distincts définis comme suit :

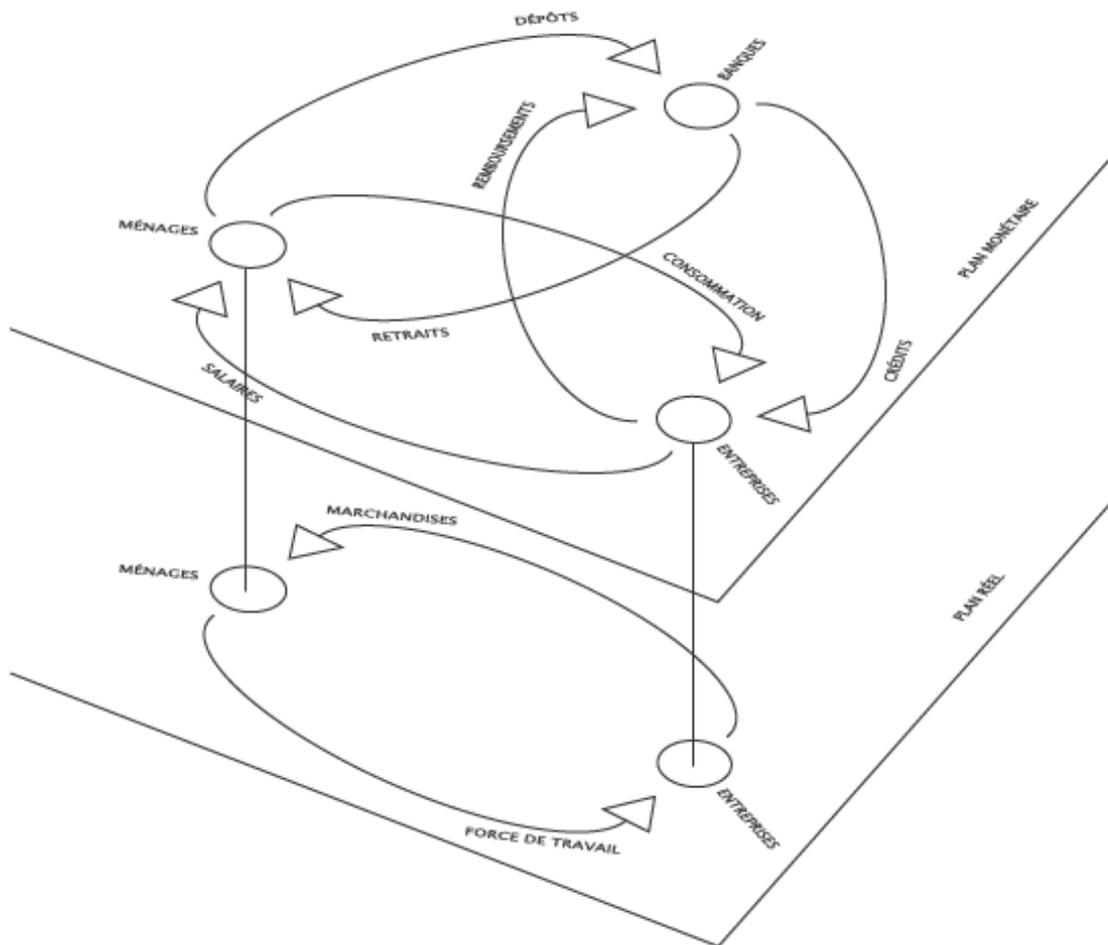


Figure II.7 : Interaction des agents [Sep 09]

**C1 → Gestion des moyens de paiement**

Dans son rôle de gestionnaire des moyens de paiement, la banque ne dispose d'aucune autonomie. Elle se contente d'exécuter les ordres de paiement que lui transmettent les titulaires des comptes, sous réserve toutefois que les comptes soient suffisamment approvisionnés.

**C2 → Financement de la production**

Dans son rôle de financier de la production, la banque est parfaitement accommodante : elle accepte toutes les demandes de crédit des entreprises. Le nouveau crédit, destiné au financement de la production, est accordé pour une durée  $d_c$  au taux d'intérêt  $r$ .

**C3 → Recouvrement des créances**

Lorsqu'une entreprise se trouve incapable de rembourser un crédit à l'échéance  $d_c$  la banque lui accorde automatiquement un nouveau prêt. Le montant de ce nouveau prêt est tel qu'il permet à l'entreprise de rembourser immédiatement le prêt initial (principal et intérêt). Un prêt est donc finalement toujours remboursé à l'échéance. Toutefois, les contraintes liées au nouveau prêt diffèrent de celles du prêt initial :

- Le taux du nouveau prêt est le taux majoré  $r_m$ ,
- Alors que la créance initiale, correspondant au financement de la production, est notée Good-Debt, la créance seconde est notée doubtfulDebt,
- La banque tente chaque période de procéder au recouvrement, même partiel, de la créance,
- L'entreprise ne peut donc distribuer aucun profit tant qu'une créance notée doubtfulDebt n'est pas remboursée.

Lorsqu'une entreprise se trouve incapable de rembourser une créance notée *doubtfulDebt*, la banque considère que l'entreprise est en situation de faillite. Néanmoins, l'entreprise n'est pas mise en liquidation, la situation de faillite potentielle est seulement enregistrée dans les statistiques, et la banque accorde un nouveau prêt au taux  $r_m$  à l'entreprise (créance notée *badDebt*).

### C4 → *Affectation du résultat*

A la fin de chaque période  $t$ , le revenu de la banque  $Y_{b,t}$  est constitué par le versement par les entreprises des intérêts sur les prêts remboursés. La banque conserve une part de ces recettes pour la constitution d'une réserve de fonds propres proportionnelle à l'encours des crédits accordés par la banque [Des 03], et verse l'excès aux actionnaires (certains ménages) sous forme de dividendes.

### ➤ **Pour les entreprises**

Les entreprises déterminent leurs plans de production en fonction de la demande observée et s'adressent à la banque pour obtenir les financements nécessaires à leur mise en œuvre. Elles embauchent, payent les salaires, produisent et offrent leur production sur le marché. Elles remboursent les crédits échus et versent aux actionnaires une part des profits enregistrés.

Une entreprise doit déterminer successivement :

- Le niveau de sa production et le nombre d'emplois offerts,
- Le niveau du salaire unitaire d'embauche,
- Le prix de vente du produit,
- La part des profits qui sera distribuée aux actionnaires.

Plus en détail, les différents comportements qu'arbore l'agent « Entreprise » :

### C1 → *Détermination du niveau de production*

Régulièrement (pour un certain nombre de périodes écoulées), l'entreprise détermine son objectif de production pour les périodes suivantes en fixant son objectif d'emploi. Elle ne connaît l'état du marché des biens que par le niveau de son stock de marchandises invendues.

### C2 → *Fixation du salaire d'embauche*

Le salaire unitaire à l'embauche proposé par l'entreprise est réévalué. Il dépend de la perception de l'état du marché du travail par l'entreprise qu'elle ne connaît qu'à travers ses éventuelles difficultés précédentes de recrutement : si pendant plusieurs périodes consécutives l'entreprise a connu des difficultés pour recruter des salariés, alors elle augmente son salaire d'embauche ; si pendant plusieurs périodes consécutives l'entreprise n'a connu aucune difficulté pour recruter des salariés, alors elle baisse son salaire d'embauche. Le nouveau salaire d'embauche reste limité par le salaire minimum légal.

### C3 → *Financement de la production*

L'entreprise est alors en mesure de calculer sa masse salariale prévue après embauche, somme des salaires des travailleurs effectivement employés et des salaires des travailleurs à embaucher. Elle détermine ensuite son besoin de financement externe, qui est l'excès de la masse salariale prévue sur la trésorerie de l'entreprise.

### C4 → *Fixation du prix*

Une fois la phase de production terminée, l'entreprise détermine son prix de vente unitaire. Le prix est révisé chaque période. Le nouveau prix dépend de la représentation que se fait l'entreprise du niveau de son offre par rapport à la demande exprimée sur le marché des biens. Elle forme cette représentation à partir du niveau des stocks après production.

### C5 → *Commercialisation de la production*

L'entreprise poste ensuite son offre sur le marché des biens. Le volume de marchandises proposé sur le marché des biens est limité par la capacité de commercialisation de l'entreprise. A l'issue de la

phase de commercialisation des marchandises, il peut rester dans les stocks de l'entreprise une quantité de marchandises invendues soit parce que l'entreprise n'a pas pu mettre ces marchandises sur le marché du fait de sa capacité de commercialisation limitée, soit parce que ces marchandises offertes sur le marché n'ont pas trouvé preneur.

### C6 → *Affectation du résultat*

Le revenu de l'entreprise est formé par les recettes de la période moins les charges de la période (les salaires et l'intérêt sur les prêts remboursés). Le résultat à affecter est formé du revenu de la période et de la réserve de fonds propres de la période. Lorsqu'il est positif, l'entreprise constitue une nouvelle réserve de fonds propres proportionnelle au résultat, s'il est négatif il est intégralement reporté à la période suivante.

La part restante du résultat après constitution de la réserve de fonds propres sera distribuée sous la forme de dividendes aux ménages propriétaires de l'entreprise, au début de la période suivante, l'entreprise connaît alors le montant de la trésorerie dont elle disposera après ce versement.

### ➤ **Pour les ménages**

Les ménages cherchent un emploi, travaillent, épargnent et consomment. Un ménage doit successivement :

- Déterminer son salaire de réservation et rechercher un emploi satisfaisant,
- Déterminer la part de son revenu consacré à l'épargne et dépenser l'autre.

Plus en détail, les différents comportements qu'arbore l'agent « Ménage » :

### C1 → Détermination du salaire de réservation

Le niveau du salaire de réservation dépend du nombre de périodes passées au chômage. Passé le délai, le ménage accepte une baisse.

### C2 → Recherche d'un emploi

Comme les entreprises, les ménages n'ont qu'une connaissance limitée du marché. Chaque ménage sans emploi effectue une recherche sur le marché du travail. Pour cela, il consulte l'offre de son ancien employeur (si elle existe) et celles de n-1 autres employeurs choisies au hasard parmi toutes les offres postées sur le marché du travail. Le ménage retient l'offre de l'entreprise dont le salaire d'embauche est le plus élevé parmi les offres consultées. Il compare alors ce salaire à son salaire de réservation. S'il est supérieur ou égal, il accepte l'emploi et il est immédiatement embauché par l'entreprise. Il restera employé de cette entreprise pendant un certain nombre de périodes (la durée du contrat de travail) sauf si l'entreprise le licencie à l'occasion d'une réduction des effectifs. Si le ménage n'a pas trouvé d'offre supérieure ou égale à son salaire de réservation, il reste sans emploi pour cette période.

### C3 → Détermination du budget

Une fois clos le marché du travail, les entreprises paient les ménages employés. Ceux-ci dépensent en échange leur force de travail dans la mise en œuvre du processus de production. Le revenu des ménages est formé par le salaire de la période et les éventuels dividendes versés par les entreprises et la banque.

### C4 → Dépense sur le marché des biens

Lorsque le ménage a déterminé sa consommation désirée, il se porte sur le marché des biens. Comme sur le marché du travail, il n'a qu'une connaissance partielle du marché. Il commence par consulter l'offre du dernier des fournisseurs dont il a gardé la mémoire, ainsi que les offres de n-1 autres entreprises parmi l'ensemble des offres postées. Le ménage retient l'offre de l'entreprise dont le prix unitaire de vente est le moins élevé parmi les offres consultées. Le ménage achète les marchandises proposées. Après cet achat, si la dépense n'a pas atteint l'objectif de consommation, alors le ménage consulte à nouveau n offres sur le marché, jusqu'à avoir atteint son objectif de consommation, ou jusqu'à ne plus trouver d'offre sur le marché.

### 2.2.2 Le cycle du modèle

Le cycle / La période de base du modèle est le mois. Huit étapes principales au cours d'une période, ont été définies dans [Sep 09] :

- 1) Ouverture de la période. Les agents héritent des dépôts monétaires qu'ils ont constitués à la fin de la période précédente ( $M_{H,t} \rightarrow$  Ménages,  $M_{F,t} \rightarrow$  Entreprises,  $M_{B,t} \rightarrow$  Banques).
- 2) Les entreprises et la banque versent aux ménages propriétaires les dividendes calculés sur la base des profits réalisés lors de la période précédente ( $D_{F,t}$ ,  $D_{B,t}$ ). Une part des dépôts est conservée par les entreprises pour le financement de la production ( $T_{F,t}$ ) et par la banque comme réserve de fonds propres ( $K_{B,t}$ ) pour faire face à l'éventuelle défaillance d'un débiteur.
- 3) Les entreprises décident du niveau de la production, évaluent leur besoin de financement et obtiennent de la banque le financement complémentaire nécessaire ( $L_{B,t}$ ). Ce prêt bancaire est une création monétaire.
- 4) Les entreprises postent sur le marché du travail leurs offres d'emploi. Les ménages répondent à ces offres.
- 5) Les entreprises paient les salariés ( $W_{F,t}$ ). Une part de la trésorerie des entreprises peut éventuellement rester inemployée ( $U_{F,t}$ ). Les salariés travaillent pour l'entreprise. Les entreprises décident du prix de leur production.
- 6) Les entreprises postent sur le marché des biens, leurs offres de marchandises. Les ménages utilisent une part de leurs ressources monétaires ( $M_{H,t} + D_{F,t} + D_{B,t} + W_{F,t}$ ) pour acheter les marchandises offertes ( $C_{H,t}$ ) et épargnent l'autre part ( $M_{H,t+1}$ ).
- 7) La banque recouvre les créances échues. Le remboursement des sommes dues au titre du principal se traduit par une destruction monétaire ( $R_{F,t}$ ). Les sommes payées au titre de l'intérêt sont versées au compte de la banque ( $\Phi_{F,t}$ ).
- 8) Fermeture de la période. Les dépôts monétaires des agents sont transférés à la période suivante ( $M_{H,t+1}$ ,  $M_{F,t+1}$ ,  $M_{B,t+1}$ ).

### 2.2.3 Conclusions relatives à ce modèle

Ce modèle a été implémenté via un modèle informatique, afin de procéder à la simulation d'un certain nombre de scénarios. D'abord, un scénario de base est défini, une première simulation est effectuée sur ce dernier, dont les résultats serviront de référence pour les simulations suivantes, ensuite, des chocs isolés sur certaines variables sont introduit sur le scénario de base, afin d'évaluer la robustesse du modèle.

Dans le cadre du scénario de base, le modèle débouche sur des résultats réalistes, tant sur certaines grandeurs relatives (vitesse de la monnaie, répartition des revenus...) que dans les relations entre les grandeurs (salaires et prix, emploi et salaires, salaires et inflation...). Mais surtout, le scénario de base confirme l'hypothèse principale : « il est possible de construire un modèle dynamique d'économie monétaire de production, dans lequel la monnaie est créée de façon endogène pour financer la production, et ce modèle permet d'observer le paiement de l'intérêt comme la formation d'un profit monétaire au niveau macroéconomique » [Sep 09].

Le modèle est soumis à une série d'expérimentations simples, à travers la modification des différents paramètres du scénario et en comparant les résultats du scénario modifié aux résultats du scénario de base. Trois paramètres sont les sujets de cette modification, et qui consiste en :

- Durée du crédit
- Choc de productivité
- Choc de la demande

Les résultats obtenus dans les trois cas, sont plutôt cohérents avec les prévisions de la théorie sur laquelle s'est basé ce modèle, à savoir, le modèle post keynésien avec monnaie endogène, dit

aussi : « théorie du circuit ». Ceci étant, on peut regretter le fait qu'il n'y a pas eu de combinaison entre les trois paramètres.

Ce modèle est un très bon exemple d'une modélisation macroéconomique de type multi-agents, qui, d'ailleurs, n'est qu'à ses débuts de développement. Le travail présenté ci-dessus, étant lui-même en cours de développement.

### **V. Conclusion**

Dans ce chapitre, on a vu que ces dernières années, les systèmes multi-agents ont suscité beaucoup d'intérêt de la part des économistes, afin de répondre à des besoins, de plus en plus complexes, de modélisation, d'évaluation et de proposition de nouvelles politiques économiques. Effectivement, les systèmes multi-agents s'adaptent parfaitement, aux spécificités de l'économie, globalement et la macroéconomie, plus particulièrement, qui sont régis par ce qu'on appelle des agents économiques.

Jusqu'à maintenant, les économistes se sont attelés à vérifier les théories économiques existantes, grâce à ce nouvel outil très puissant que sont les systèmes multi-agents. Plusieurs hypothèses ont été confirmées et d'autres rejetées. Ceci étant, depuis la dernière crise économique, qui est toujours en cours, et avec la remise en question des modèles existants, les systèmes multi-agents sont appelés à répondre à un nouveau besoin qu'est la proposition d'une nouvelle économie, plus robuste et pouvant faire face aux chocs économiques tels que ceux que nous connaissons.

Notre présent travail, se démarque des optiques de recherche déjà développées, telles que celles présentées dans ce chapitre. Effectivement, en proposant de passer directement, à la modélisation multi-agents d'un modèle macroéconomique, non pas théorique, mais en cours d'utilisation par un pays, qu'est l'Algérie, nous nous proposons de développer un modèle, qui permettra par la suite (dans le cadre de travaux à venir), d'évaluer les performances du modèle macroéconomique national et de proposer, éventuellement, des ajustements qui seraient nécessaires à l'amélioration de ce dernier.

## **CHAPITRE III : Economie nationale - Caractéristiques et hypothèses**

- I. Introduction
- II. Spécificités de l'économie Algérienne
  - 1. Evolution historique de l'économie algérienne
  - 2. L'économie algérienne face aux défis du nouveau millénaire
    - 2.1 Secteur de l'industrie
    - 2.2 Secteur de l'agriculture
    - 2.3 Secteur de l'énergie et des hydrocarbures
      - 2.3.1 Caractéristiques du pétrole
      - 2.3.2 Evolution des prix du pétrole
      - 2.3.3 Place des hydrocarbures dans l'économie nationale et leur gestion
    - 2.4 Marché du travail et chômage
      - 2.4.1 Structure de la population active et du chômage
      - 2.4.2 Structure de l'emploi par type d'employeur (Privé / Public) et par secteur d'activité
- III. Evolution et état des indices macroéconomiques de l'Algérie
  - 1. Valeur de l'activité économique : le Produit Intérieur Brut « PIB »
  - 2. Coût de la vie : l'indice des prix à la consommation
  - 3. Mesure du chômage : le taux de chômage
- IV. Intérêt d'une modélisation multi-agents de l'économie nationale
- V. Conclusion

### **I. Introduction**

Dans les deux chapitres précédents, nous avons vu, qu'après plusieurs décennies de développement, la modélisation macroéconomique a considérablement évolué, et l'introduction, très récemment, de l'approche multi-agents, initialement destiné à une branche beaucoup plus pointu qu'est l'intelligence artificielle, n'est qu'un exemple de plus de l'intérêt porté à cette récente discipline. Néanmoins, la démarche étant définie, les processus de modélisation étant bien établis, il est nécessaire d'avoir des données fiables du système économique à étudier pour pouvoir bénéficier pleinement, des atouts de l'utilisation de l'approche multi-agents. Pour ces raisons, et essayant de démontrer la possibilité d'usage de cette approche sur l'économie nationale, dans ce chapitre, nous allons décrire la structure de cette économie, ses spécificités et ses caractéristiques.

Afin d'atteindre ces objectifs, nous allons commencer par présenter les spécificités de l'économie algérienne, à travers une revue historique de cette dernière, qui sera suivi, par une description de l'état actuel, des secteurs majeurs composant la structure économique du pays, en plus du marché de l'emploi / chômage. Nous passerons par la suite à l'analyse des indices macroéconomiques du pays et leur évolution. Ce chapitre sera conclu par une synthèse sur l'intérêt de l'utilisation d'une modélisation multi-agents, dans l'optique de l'évaluation de l'économie nationale.

### **II. Spécificités de l'économie Algérienne**

Depuis l'indépendance, le modèle économique algérien a subi d'innombrables mutations, ces dernières, étant motivées, soit par un contexte international, divisé entre socialisme et capitalisme, ou national, dû à la jeunesse d'une nation se cherchant une place, dans un monde en constante évolution. Ces changements d'orientations ont eu un certain nombre de conséquences, dont la plus importante, une crise économique chronique, liée à une économie mono-exportatrice et entièrement dépendante de la rente pétrolière, mais aussi, fortement dépendante des importations. Néanmoins, l'étude des différentes tentatives peut nous éclairer sur certains aspects de l'environnement socioéconomique national, nous permettant ainsi, de poser les bonnes hypothèses relatives à l'économie algérienne.

Il ne s'agira pas donc, de remettre en question les choix économiques adoptés, ou de se lancer dans des critiques non constructives, mais d'en tirer les meilleurs enseignements et de rentabiliser cette expérience.

#### **1. Evolution historique de l'économie algérienne**

Le premier modèle économique algérien, qu'on peut considérer comme modèle abouti, a vu le jour en 1971. Ce modèle avait pour fonction d'accompagner le développement d'une économie naissante, sur les bases d'un modèle socialiste, ainsi, l'Algérie avait choisi de se lancer dans l'industrie industrialisante, dans la perspective de développer en amont, le traitement et la valorisation des matières premières local, et en aval, le développement d'une industrie répondant aux besoins national, avec un fort taux d'intégration. C'est ainsi que l'industrie sidérurgique ainsi que celle des hydrocarbures ont été sélectionnés. Le secteur agricole n'était pas en reste, puisqu'il s'agissait de le hisser avec le développement industriel. Le développement de ce modèle devait répondre à un besoin, non pas qu'économique, mais aussi, sociale et politique, ce qui compliqué un peu plus la tâche à ce dernier.

Durant la décennie qui suivi, on a constaté un rendement très faible des importants investissements consentis. Effectivement, l'Algérie qui avait bénéficié des prix soutenus du pétrole durant cette période, a même eu recours à l'endettement extérieur pour accélérer son développement. Echec total, un point sur lequel plusieurs experts sont d'accord aujourd'hui avait été omis, et qui consiste en la non disponibilité d'une ressource humaine qualifié pour accompagner le développement recherché, même

si l'Algérie s'était dotée des dernières technologies en matière d'outils industriels, son exploitation efficace ne pouvait être atteinte. De même, l'agriculture ne s'est pas mieux débrouillée, puisque la politique dans ce secteur, consistant à créer des coopératives étatiques, ainsi que le développement d'une hypothétique agriculture saharienne, n'ont abouti qu'à une dépendance de plus en plus forte vis-à-vis des importations en terme de produit agricole.

La situation économique n'étant pas à son aise, même très loin des prévisions de croissance annoncée, le changement politique du début des années 1980 se voulait être un nouveau souffle à l'économie nationale, mais c'était sans compter sur la chute des prix du pétrole, qui réduisait considérablement les entrées de capitaux du pays, et qui donnait une nouvelle dimension aux dettes extérieures souscrites précédemment, ce qui allait rendre toute tentative de changement d'orientation économique, vouée à l'échec. Le changement majeur qui a été fait, c'est la libéralisation du tissu économique, principalement, à travers la privatisation d'un certain nombre d'activités. Ceci étant, l'économie nationale n'était pas prête à subir cette mutation (marché du travail caractérisé par une sous-qualification de la ressource humaine. Financement requis pour accompagner ce changement de direction radical, non disponible...). Donc ce changement, n'a pas réussi à atteindre les objectifs recherchés, depuis deux décennies déjà, ni même s'en approcher.

Les orientations économiques qui suivirent, durant les années 1990, ne peuvent être appréciées à leur juste valeur, en raison d'une situation globale du pays, qualifiée comme étant assez trouble.

Maintenant, il serait intéressant, de voir en profondeur le modèle économique en vigueur depuis la fin des années 1990 à nos jours, considérant, que c'est notre point de départ pour bien identifier les caractéristiques de l'économie nationale et poser les bonnes hypothèses sur cette dernière.

### **2. L'économie algérienne face aux défis du nouveau millénaire**

Depuis la fin des années 1990 et jusqu'à aujourd'hui, l'économie algérienne a connu de nombreux changements, plusieurs tentatives d'amélioration, dans les différents secteurs de l'économie ont été accomplies, dans le seul objectif, d'aboutir à un modèle macroéconomique équilibré et performant. Néanmoins, il n'est toujours pas évident d'atteindre cet objectif. Effectivement, il faut noter que l'économie nationale, est toujours soumise aux deux dépendances, désormais devenues historiques, à savoir, la rente pétrolière (économie mono-exportatrice de produit énergétique, principalement, de pétrole brut), ainsi que les importations de tous les types de produits (denrées alimentaires, produits manufacturés et même des produits pétroliers raffinés).

Afin de pouvoir caractériser l'économie algérienne, et de pouvoir poser les bonnes hypothèses sur cette dernière, nous allons faire une synthèse, de la situation prévalant dans les composantes majeures de l'économie nationale.

#### **2.1 Secteur de l'industrie**

Le secteur de l'industrie est celui qui s'est imposé naturellement aux suites de l'indépendance, pour accompagner le développement national. Effectivement, la rente pétrolière, porteuse de fonds pour accompagner les investissements à venir, ne peut être considérée comme source de développement, ni le secteur agricole qui, dès le début avait affiché sa volonté de ne répondre qu'à un seul objectif (pour commencer) qui est la recherche d'une autosuffisance nationale. De plus, l'expérience des pays développés, a démontré que la meilleure voie pour se développer, est d'avoir un secteur industriel performant. Les attentes placées dans ce secteur, par les décideurs, peuvent être résumées par les points suivants :

- L'activité industrielle doit être un élément puissant de structuration de l'économie nationale.

- L'industrie doit permettre la diffusion, mais aussi la création de progrès technique ainsi qu'un stimulant pour l'innovation.
- Une industrie performante conduit à un accroissement de la compétitivité et du pouvoir de négociation des entreprises, mais aussi de l'Etat.
- L'industrie est considérée comme l'un des moyens le plus puissant d'intégration, dans l'économie mondiale.

En s'appuyant sur les avantages du pays (surtout les hydrocarbures : comme produits énergétiques, mais aussi, source de ressource financière) et sur le parc industriel existant. En tirant profit des avantages de la globalisation (qui donne accès à la technologie, aux marchés ainsi qu'à l'expertise), tout en réalisant un réajustement profond des structures industrielles. Ce secteur d'activité vise l'atteinte des objectifs cités précédemment. Les principes adoptés pour la relance industrielle, peuvent être résumée comme suit :

- Le maintien de la substitution aux importations si le marché le permet.
- Adoption de politiques d'incitation pour une orientation vers les marchés extérieurs.
- Faire appel aux IDE pour soutenir et développer les industries intermédiaires.
- Promotion d'un secteur privé compétitif et citoyen.
- S'inscrire dans le cadre d'un espace régional à trois dimensions : supranational, euro-méditerranéen, maghrébin.
- Généralisation de l'innovation, de l'apprentissage et du progrès technique

Ce nouveau modèle, implique d'avoir un Etat, mettant en place des conditions indispensables pour un développement prospère et à long terme d'un secteur aussi stratégique que l'industrie. Pour cela, l'Etat a commencé par identifier les branches industrielles stratégiques à soutenir en priorité, il en est sorti les secteurs prioritaires suivant : les industries de la sidérurgie, de la mécanique, de la métallurgie, de l'électricité et de l'électronique (ISMME). Selon le politique, ces secteurs d'activité, sont en adéquation avec les principes énoncés précédemment. Ceci étant, cette décision d'encourager l'investissement dans ce sens, après plus de deux ans de réflexion, d'affinement et de consultation d'experts et économistes, n'a pas été confirmée dans sa globalité par le politique, ce qui nous ramène à la case départ, soit, pas de substitution aux importation, pas d'IDE, un secteur privé dépendant de la rente, ... cet échec, peut s'expliquer par la non mise en place d'accompagnement pour une période de transition, qui peut être plus ou moins étalée sur la durée, selon un contexte économique national et international dynamique, nécessitant un suivi permanent, afin d'ajuster cet accompagnement. L'Etat doit donner un signe fort aux investisseurs, de sa volonté à encourager le développement industriel.

Après près de 50 années de tentatives de déploiement d'une industrie forte, l'Algérie n'a toujours pas réussi à se doter d'un tissu industriel (Publique et/ou privé) consistant, répondant à la double problématique : substitution aux importations / exportation de l'excédent pour une augmentation de la part de l'industrie dans la balance commerciale. D'après [Chi 09], la rente ainsi que l'informel sont ce qui laisse le secteur de l'industrie à la traîne. Ce secteur a représenté durant ces dernières années, environs 6% du PIB.

- ➔ Ces différentes étapes, par lesquelles est passé ce secteur, n'ont pu être évaluées via les approches classiques. En effet, pour offrir des résultats pertinents, ces dernières nécessitent un cadre plus formel que l'évolution informelle qu'a connu ce secteur, de plus, ils sont assez rigides quant à la prise en charge des multiples changements d'orientation qu'on a relevé, durant une période assez courte à l'échelle économique. Le défi de l'évaluation des futurs politiques économiques, qui ont pour objectif, le développement de ce secteur, risque de se heurter aux mêmes problèmes que précédemment. Dans le but de contourner ces carences, les systèmes multi-agents offrent la meilleure solution. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, en plus d'être adaptés à la prise en charge des problématiques de modélisation économiques, ils ont une structure dynamique, qui leur permet de faire face aux changements d'orientation, aussi nombreuses que brusques, qui risquent d'avoir lieu, avec plus d'efficacité.

### 2.2 Secteur de l'agriculture

La problématique du développement agricole est indissociable des potentialités du secteur, de son devenir, des impacts régionaux avec les autres types d'agriculture et des objectifs qui lui sont assignés dans les orientations économiques du pays. Ces relations et les enjeux qui les sous-tendent confèrent à l'agriculture une dimension stratégique dans la croissance économique.

L'Algérie se classe aujourd'hui parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques. Ses ressources en eau sont limitées, vulnérables et inégalement réparties dans l'espace et dans le temps. Par ailleurs, elles ont subi durant les deux dernières décennies les effets négatifs de la sécheresse, de la pollution et d'une mauvaise gestion.

L'irrigation qui utilise actuellement près de 68 % des ressources en eau mobilisées, continuera à l'avenir à être le plus grand consommateur d'eau. Les cultures irriguées seront donc appelées à produire davantage avec moins d'eau. Pour un bon nombre de pays en voie de développement, il est indispensable d'améliorer les performances de l'agriculture irriguée pour assurer la sécurité alimentaire et éviter les pénuries d'eau. Jusqu'à l'an 2000, la quasi-totalité des surfaces irriguées l'étaient par les techniques d'irrigation par gravité, à la raie ou autres, connue pour leurs faibles efficacités.

L'agriculture algérienne est de type extensif, elle se caractérise par la faiblesse et l'irrégularité de ses rendements. Le secteur agricole concentre aujourd'hui près de 20 % de l'emploi total et assure dans les 8 % du produit intérieur brut (PIB). Les importations de produits alimentaires représentent environ 20% des importations totale du pays, ce qui oblige à reconsidérer la place de l'agriculture dans l'économie nationale [Kes 07]. Depuis l'indépendance le secteur agricole stagne et n'enregistre pas d'amélioration significative, malgré les différentes réformes dont il a fait l'objet.

La distribution de la production du secteur agricole est structurée comme suit :

- Ménages 58%
- Branches productives 35%
- Exportations 0,3%
- Administration 1,2%
- Sociétés et quasi-sociétés 3,2%
- Variations de stocks 2,3%

Donc, la production est orientée, en premier lieu, vers l'alimentation de la population. En second lieu viennent les branches productives, avec 35% de la production globale, qui forme l'input des industries agro-alimentaires. Ce flux est distribué comme suit :

- 52% industrie des viandes et conserves (viandes et poisson).
- 11,49% industries du travail du grain.
- 1,24% industrie des hôtels café et restaurants.
- Le reste est différemment distribué, entre les différentes autres branches de l'industrie agroalimentaire.

et seulement 0,3% à l'exportation.

Le développement agricole se heurte à différentes contraintes d'ordre historique, auxquelles il faut ajouter des contraintes structurelles et organisationnelles [Had 08] :

- La faiblesse des terres cultivables et l'appauvrissement des sols.
- Les conditions climatiques.
- Le problème du foncier.
- Le financement.

Depuis l'année 2000, une nouvelle vision du développement agricole et rural est venue consacrer un nouveau modèle de financement de l'économie agricole et rurale. Cette vision est centrée sur le programme national de développement agricole et rural (PNDAR), un système d'aide publique orienté

vers les exploitations agricoles et les ménages ruraux, dont le fonctionnement est régi par des mécanismes articulés autour d'une matrice institutionnelle fort complexe, impliquant des fonds de régulation, des organismes d'assurance, des organismes bancaires, des organisations professionnelles et des institutions de développement. L'Etat tente alors de mettre en place une politique d'appui et de soutien par les fonds de développement et incite à l'installation de fonds mutualistes par les producteurs. L'évolution du secteur montre que l'état cherche à se désengager de la sphère de la production agricole et à conserver un rôle d'appui et de régulateur. Pour cela il s'agit de mobiliser et d'organiser les producteurs par le biais des institutions locales. Il s'agit à terme, de dépasser les contraintes que connaît le secteur pour générer un développement durable. L'objectif principal de cette nouvelle politique, est d'améliorer la sécurité alimentaire du pays tout en visant [Bou 04] :

- L'amélioration durable du niveau de sécurité alimentaire du pays.
- Une utilisation rationnelle et durable des ressources naturelles.
- La promotion des productions à avantages comparatifs avérés en vue de leur exportation.
- La sauvegarde de l'emploi agricole et l'accroissement des capacités du secteur agricole, en matière d'emploi par la promotion de l'encouragement de l'investissement.
- L'amélioration des conditions de vie et des revenus des agriculteurs.

Pour concrétiser ces objectifs, la stratégie adoptée par l'Etat, est de mettre en place, sur tout le territoire national, des programmes touchant à toutes les activités liées à l'agriculture, parmi lesquels on peut citer [Bou 04] :

- Le programme de développement et d'intensification des filières de production agricole ;
- Le programme d'adaptation des systèmes de cultures ;
- Le plan national de reboisement (boisement utile et économique) ;
- Le programme de mise en valeur des terres par les concessions, (participation active des populations locales) ;
- Le programme de protection et de préservation des parcours steppiques et de lutte contre la désertification ;
- Le programme de développement de l'agriculture saharienne. (réhabilitation des oasis, mise en valeur de la périphérie, grande mise en valeur).

Ces programmes prennent en charge trois préoccupations majeures, le développement de la production agricole et de la productivité, la préservation des ressources naturelles (sol et eau), et l'augmentation de la surface agricole utile [Kes 07].

- ➔ Pour conclure sur le secteur de l'agriculture en Algérie, on peut dire que sa mission principale est de préserver un minimum de sécurité alimentaire pour la population, ce qui bien entendu implique une utilisation efficace des facteurs de production et une allocation optimale des ressources. C'est le seul moyen qu'a ce secteur, de faire face à la compétitivité internationale, et pourquoi pas, dans un second temps, permettre le développement des segments d'exportation. On ajoutera que, tel que pour le secteur industriel, il faut noter, le rôle prépondérant que joue l'Etat dans l'évolution de ce secteur. Mais pour pouvoir mener des politiques efficaces, dans le but d'atteindre ces objectifs, il est indispensable de prendre les bonnes décisions au bon moment, et l'échec des différentes politiques appliquées jusqu'à maintenant, montre l'inefficacité des outils d'évaluation usités jusqu'à maintenant, dans la prise en charge des caractéristiques particulières de ce secteur en Algérie. L'approche multi-agents, pour les mêmes raisons que dans le cas du secteur de l'industrie, présente une alternative intéressante, pour une bonne évaluation des politiques prévues, et en faisant appel à la simulation, avec laquelle cette approche offre une excellente compatibilité, il sera possible d'ajuster ces politiques, pour atteindre les objectifs recherchés.

### 2.3 Secteur de l'énergie et des hydrocarbures

Le secteur des hydrocarbures a toujours occupé une place prépondérante dans l'économie nationale. Ainsi, ces dernières années, il contribue pour plus de 40 % du PIB, 95 % des revenus extérieurs et 60 % des recettes budgétaires.

Les hydrocarbures demeurent pour l'Algérie l'atout économique majeur à court et moyen terme même s'ils constituent pour l'économie du pays un facteur de dépendance réel par les fluctuations des cours pétroliers mais également par l'effet négatif que la disponibilité de ses revenus peut avoir sur la résolution du pays à développer d'autres sources d'exportation.

Cette évolution des hydrocarbures repose sur des investissements de la Compagnie nationale, Sonatrach, et des firmes internationales associées qui sont porteurs d'emplois dans des activités diverses (exploration, production, travaux de réalisation, transports, maintenance et autres services).

Ce secteur, occupant une place importante dans l'économie, et dépendant d'un produit particulier qui est le pétrole, dont les prix sont soumis à une forte volatilité. Il serait intéressant d'étudier un peu plus en détail ce dernier.

### 2.3.1 Caractéristiques du pétrole

Le pétrole sert dans tous les domaines énergétiques, mais c'est dans les transports que sa domination est la plus nette. Seul le transport ferroviaire a su se soustraire à cette dépendance, principalement grâce, à l'électricité, pour tous les autres moyens de transports, les alternatives sont marginales et coûteuses, et ont un potentiel de croissance limité. A nos jours, la part des produits pétroliers employés dans ce secteur, dépasse les 50%, et cette part continue d'augmenter. La situation est différente pour la production d'électricité à partir du pétrole, où sa part a constamment diminué depuis plus de 30 ans, étant à moins de 8 % en 2006. Le charbon, le gaz naturel, le nucléaire et les énergies renouvelables s'y sont largement substitués, sauf pour des cas particuliers (pays producteurs disposant de pétrole bon marché, îles et autres endroits difficiles d'accès). De plus, le pétrole utilisé dans la production d'électricité est en majorité du fioul lourd, difficile à employer dans d'autres domaines (excepté la marine) sans transformation profonde. Quant à l'agriculture, elle ne représente qu'une fraction modeste de la consommation de pétrole, mais c'est peut-être ce secteur qui crée la dépendance la plus vitale. Parmi les engrais fréquemment utilisés, c'est-à-dire ceux basés sur l'azote, le phosphore et le potassium (N, P, K), les engrais azotés sont synthétisés à partir de gaz naturel.

Le pétrole étant le plus gros commerce international de matières de la planète en valeur (et en volume), il a un poids important sur les équilibres commerciaux. Les fluctuations du prix du pétrole, ont un impact direct et très important, sur le budget des états producteurs de pétrole. Ces fluctuations ont, aussi, un impact direct sur la consommation dans les pays développés (sur le budget des ménages,). Elles influent aussi, en proportion variable, sur le prix de tous les biens et services, car tous sont produits en utilisant du pétrole (matière première ou source d'énergie). En effet, le monde est fortement dépendant de cette ressource, que ce soit les pays producteurs, pour subvenir à leurs besoins financiers / économiques, ou bien les pays consommateurs, principalement représentés par les pays dits « développés », pour subvenir à leurs besoins énergétiques, en tout genre.

La compréhension du mécanisme de formation du pétrole laisse entendre que sa quantité totale sur la planète, léguée par des millions d'années de maturation, est limitée. Bien que cette quantité totale soit inconnue, elle laisse présager que l'exploitation qui en est faite s'approchera un jour de cette limite ultime.

Ce qu'on appelle « réserve prouvée » aujourd'hui est, par convention, constitué par un gisement identifié, exploitable avec des techniques disponibles, et à un prix compatible avec le prix de vente en cours. Cette définition est restée la même depuis près d'un siècle ; l'évolution des techniques a donc fait glisser progressivement des gisements considérés inexploitable à une époque, dans la catégorie exploitable dès que les techniques ont été disponibles. Ainsi le pétrole offshore, considéré comme

« non conventionnel » avant 1930, est en 2011 extrêmement répandu, et considéré comme « conventionnel » jusqu'à des profondeurs d'eau de 1500 m. Les sables bitumineux, longtemps considérés inexploitable, sont en 2011 exploités de façon courante avec une production de l'ordre de 2 % de la production mondiale.

En ce qui concerne l'Algérie, l'exploration est considérée comme ayant couvert, que 40% du territoire national (une exploration loin d'être très dense). Les spécialistes admettent que l'Algérie a atteint sa production plateau. Les réserves, ainsi, prouvées sont équivalentes à ce qui a déjà été produit jusqu'à maintenant.

### 2.3.2 Evolution des prix du pétrole

Les prix de cette ressource stratégique sont très volatiles. Dépendant de l'offre et la demande sur le marché, ces prix sont aussi liés aux tensions géopolitiques, accentués par une spéculation sans pareil. En effet, sur le graphique ci-dessous (Figure III.1), on peut voir la variation de ces fluctuations de 1970 à 2011, ainsi que les événements qui en sont la cause.

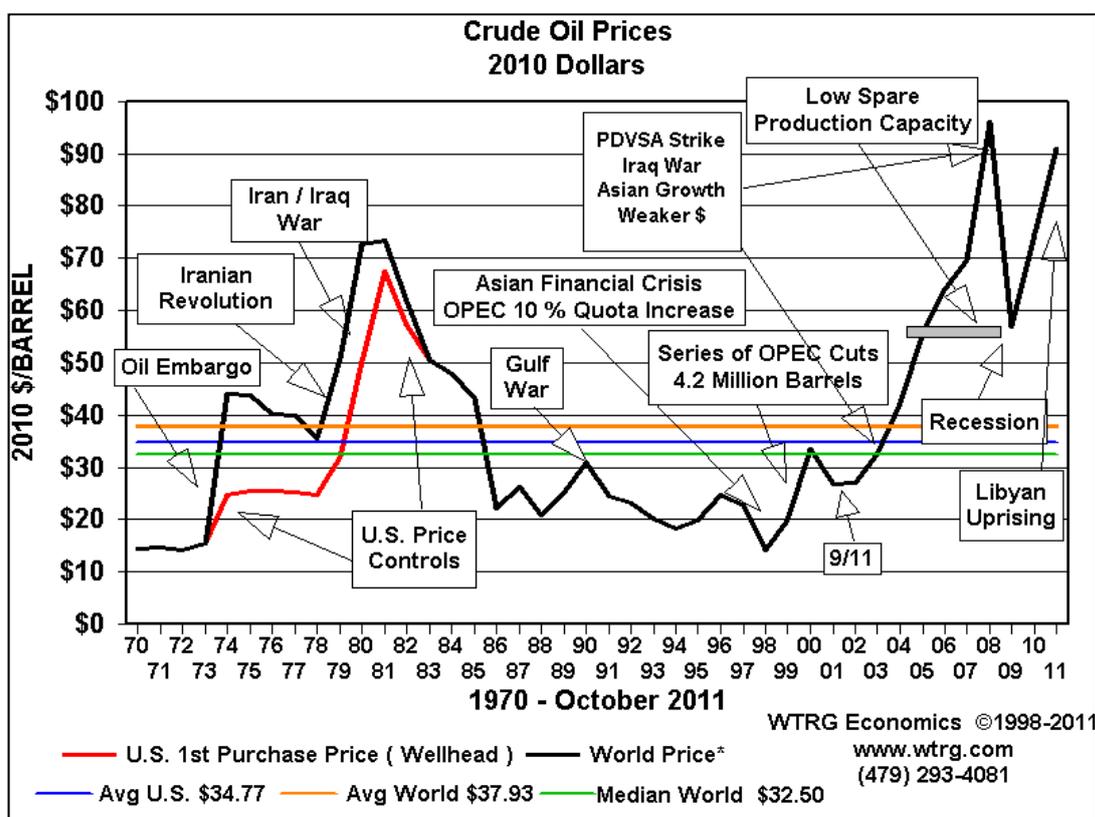


Figure III.1 : Variation du prix de pétrole brut de 1970 à 2011 [Wor 11]

Ce qu'on peut remarquer à partir de ce graphique, c'est que le prix du pétrole, est loin d'être une variable prévisible. La construction d'un modèle économique, avec une seule source de revenu dominante, et qui serait celle du pétrole, aboutira à un modèle non viable, variant aux grés des variations du prix de ce dernier, donnant, ainsi, lieu à une économie très instable. L'expérience faite par l'Algérie dans les années 1980, démontre à quel point il est dangereux pour un pays, de ne baser son économie que sur cette ressource.

Néanmoins, il faut noter que les prix du pétrole ont jusqu'ici affiché une hausse nettement plus forte que ne le laissaient supposer les prévisions, pour dépasser des niveaux (en termes réels) observés dans la deuxième moitié des années 1970 à la suite du premier choc pétrolier, tout en restant très inférieurs au prix réel du pétrole du début des années 1980. Les pics de prix ne sont pas rares sur le

marché du pétrole et dans une certaine mesure, ils reflètent une augmentation progressive de l'instabilité journalière des cours depuis le début des années 1980. A cet égard, depuis 1987, les prix du pétrole brut ont été plus instables que ceux des autres produits de base. La vigueur inattendue de la demande de pétrole a été un important facteur de la flambée récente des cours pétroliers. La prévision de l'activité économique mondiale se heurte à des difficultés évidentes et les erreurs de jugement peuvent parfois avoir une grande incidence sur les prix du pétrole. Comme par exemple le fait d'avoir lourdement sous-estimé la demande pétrolière de la Chine. Les tensions géopolitiques et l'incertitude résultant d'actes de sabotage contre des installations pétrolières au Moyen Orient, ainsi que les craintes d'une rupture des approvisionnements dans d'autres pays producteurs, ont ajouté au prix du pétrole une « prime de risque » supplémentaire, liée à la possibilité d'une forte perturbation des capacités d'approvisionnement, d'une ampleur comparable à celle des grands chocs pétroliers du passé. Dans ce processus de surenchérissement des prix de l'énergie, les États-Unis et la Chine ont été des sources majeures d'accroissement de la demande de pétrole depuis 1995.

### 2.3.3 Place des hydrocarbures dans l'économie nationale et leur gestion

Depuis l'indépendance de l'Algérie, le secteur des hydrocarbures a traversé, de façon alternée, des périodes favorables et des périodes moins favorables [KPMG 07] :

- 1962 à 1965 : de l'Indépendance à l'Accord d'Alger avec le gouvernement français, qui avait continué de gérer le pétrole algérien pendant cette période transitoire. Cette période a vu la création de la Sonatrach.
- 1965 à 1971 : de l'Accord d'Alger aux nationalisations du 24 février 1971.
- 1971 à 1973 : des nationalisations au retournement historique des prix de la guerre d'octobre 1973.
- 1973 à 1986 : du choc au contre-choc pétrolier qui a été à l'origine de la grave crise financière de l'Algérie.
- 1986 à 1993 : enfoncement dans la crise qui a obligé le pays à rééchelonner sa dette et à mettre en œuvre un programme d'ajustement structurel sous l'égide du FMI et de la Banque Mondiale.
- 1998 : alerte de nouveau sur les équilibres financiers du fait de la baisse des prix du pétrole.
- 1999 à 2011 : période relativement favorable avec des prix relativement soutenus, durant pratiquement toute la période.

Le secteur des hydrocarbures occupe une place très importante dans l'économie, mais aussi, la politique nationale, ceci s'explique par le fait qu'il contribue à plus d'un tiers du PIB national, à plus des deux tiers des recettes budgétaires et à la quasi-totalité des recettes en devises (environ 97%). C'est pourquoi, il est intéressant d'apprécier le potentiel de l'Algérie, en terme de réserves prouvées d'hydrocarbures (Pétrole et Gaz) et d'évolution de la production de ces derniers.

Les réserves prouvées de pétrole (figure III.2) représentent des quantités de pétrole non exploité encore et par conséquent, cela constitue une rente future qui assure des réserves financières supplémentaires pour la mise en œuvre d'une économie de l'après pétrole. L'Algérie est un pays ayant des réserves prouvées de pétrole « moyennes ». D'après les statistiques du « World Factbook », l'Algérie se trouve à la 16<sup>ème</sup> place au niveau mondial loin derrière l'Arabie saoudite, le Koweït ou l'Iran, néanmoins, les principaux champs explorés se situent au sud-est du pays, le potentiel énergétique de tout le sud-ouest étant inconnu pour le moment. C'est la raison pour laquelle les spécialistes ne sont pas d'accord quant à la durée future de l'exploitation pétrolière en Algérie. Quant à la production de pétrole, elle est en constante évolution. Depuis 2008, un nouveau seuil a été franchi, en effet, le volume de production a atteint le niveau de 2,1 millions de barils/jour, cette augmentation est principalement due à la hausse de la demande mondiale en produits pétroliers. S'il n'y aura pas des mesures de réduction de la production au sein de l'OPEP pour faire face à d'éventuelles conjonctures politico-économiques défavorables, la production de pétrole se maintiendrait à son niveau actuel et

c'est au niveau du prix du pétrole que les variations seraient plus importantes. Dans la figure III.3, on peut voir la variation de la production ces dernières années.

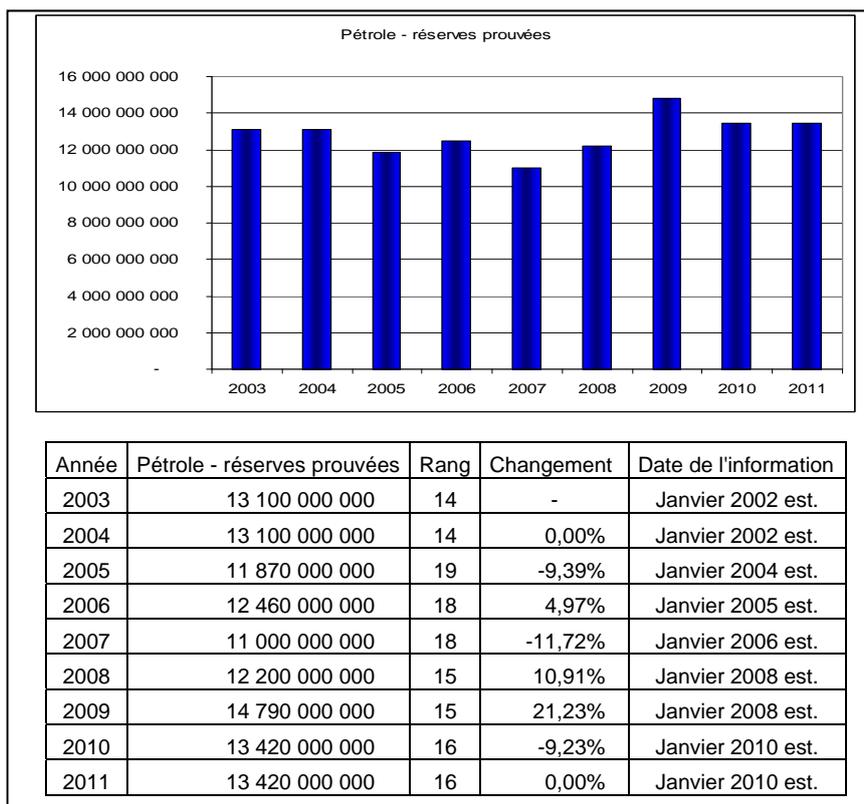


Figure III.2 : Pétrole - réserves prouvées [Wor 11]

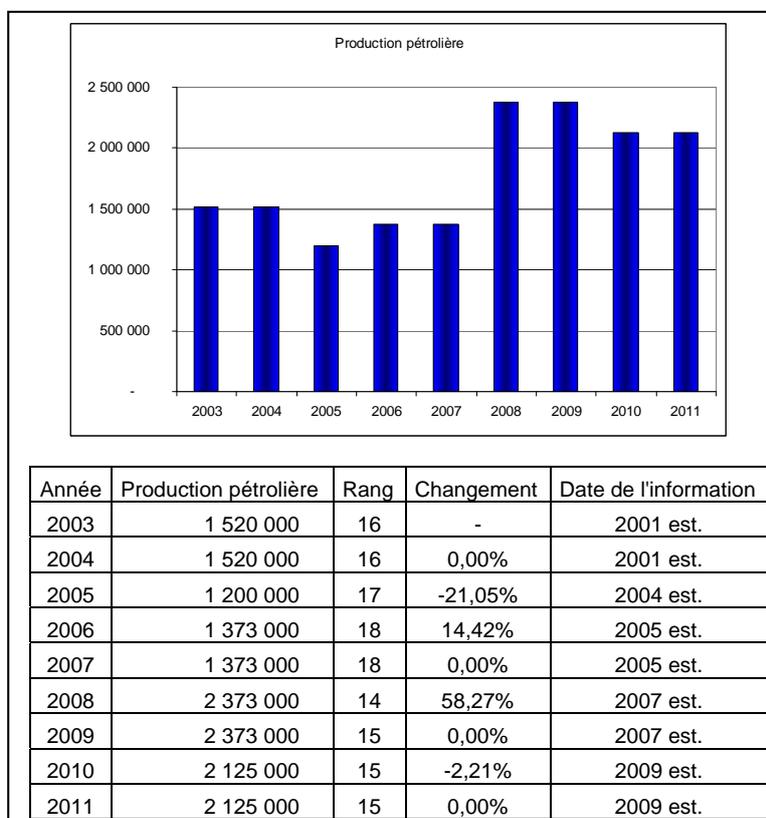


Figure III.3 : Production pétrolière [Wor 11]

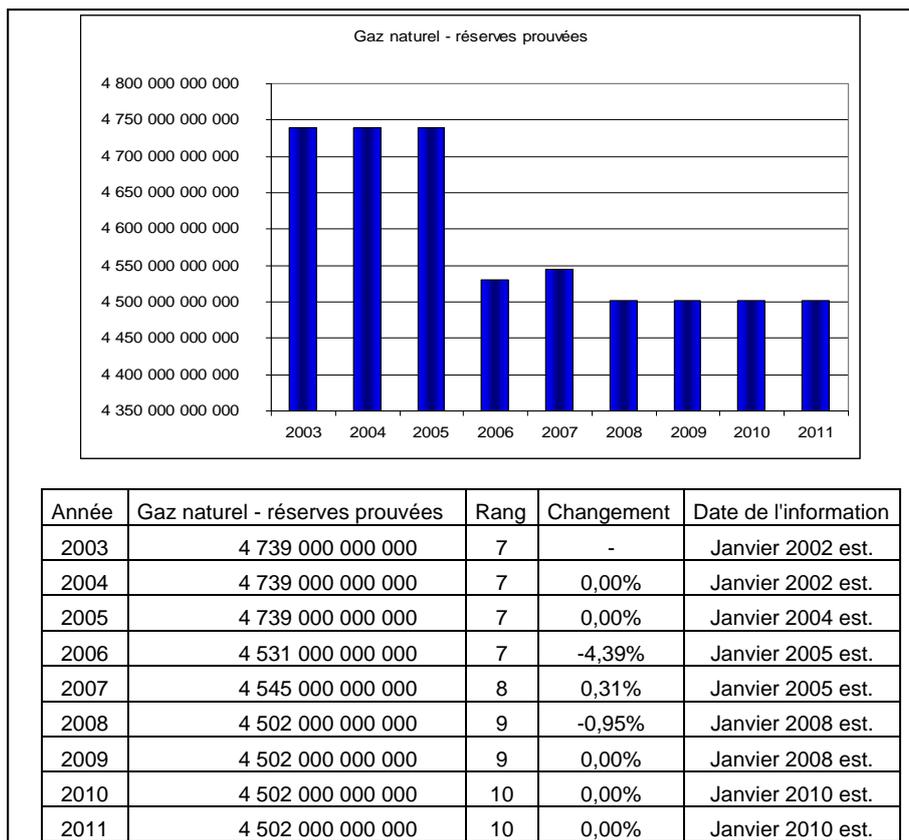


Figure III.4 : Gaz naturel - réserves prouvées [Wor 11]

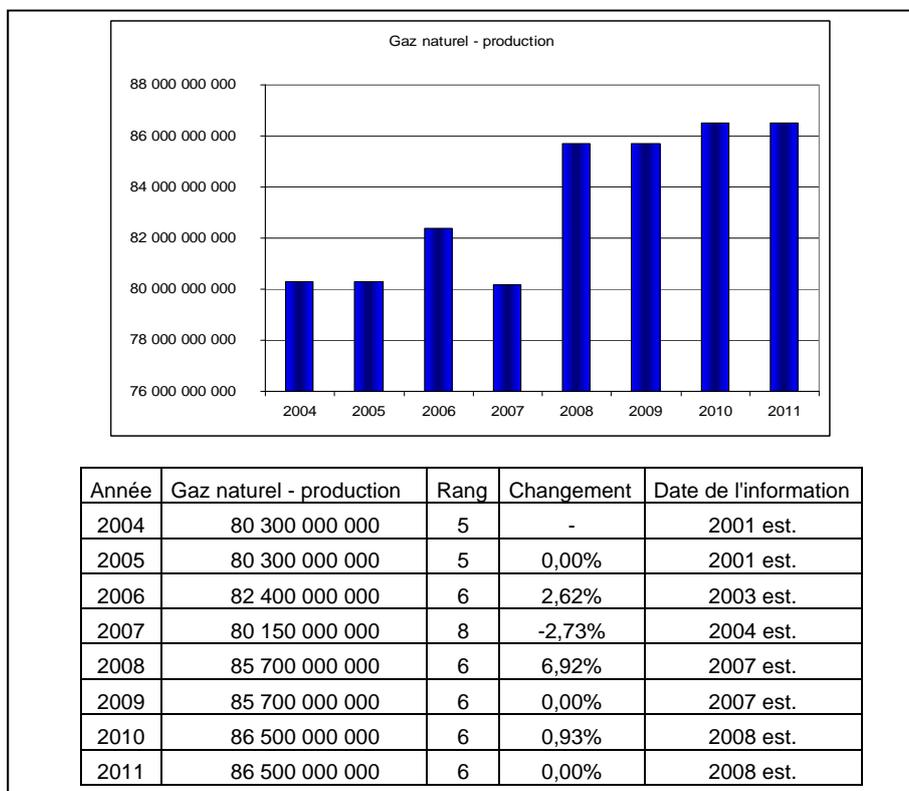


Figure III.5 : Gaz naturel - production [Wor 11]

L'Algérie est un pays gazier plus que pétrolier dans la mesure où les réserves de gaz sont nettement plus importantes que celle du pétrole (figure III.4). Ceci étant, ces réserves ont perdu plus de 4 points durant ces dix dernières années, faisant passer l'Algérie du 7<sup>ème</sup> au 10<sup>ème</sup> rang mondial des pays disposant des plus importantes réserves de gaz naturel. En ce qui concerne la production de gaz naturel (figure III.5), tout en augmentant, elle a pris une place de plus en plus importante dans la production totale d'énergie. Toujours d'après le «World Factbook », l'Algérie se retrouve au 7<sup>ème</sup> rang mondial des pays producteur de gaz naturel.

Si l'on examine l'évolution de la part des hydrocarbures dans le PIB (figure III. 6), l'importance de cette ressource dans l'économie nationale prend tout son sens. En effet, cette part a presque atteint les 50% en 2007 pour revenir aux environs des 40% en 2010 (étant annoncée pour 2011 entre 40% et 45%). On constate que le profil de la part des hydrocarbures dans le PIB, est fortement similaire au profil de l'évolution des prix du pétrole (en figure III.1), en effet, dans un premier temps et au-delà des variations de la production nationale d'hydrocarbures, on peut admettre que la part des hydrocarbures dans le PIB algérien est directement liée au prix du pétrole sur le marché mondial. Dans la troisième section de ce chapitre, nous allons voir plus en détail la structure du PIB.

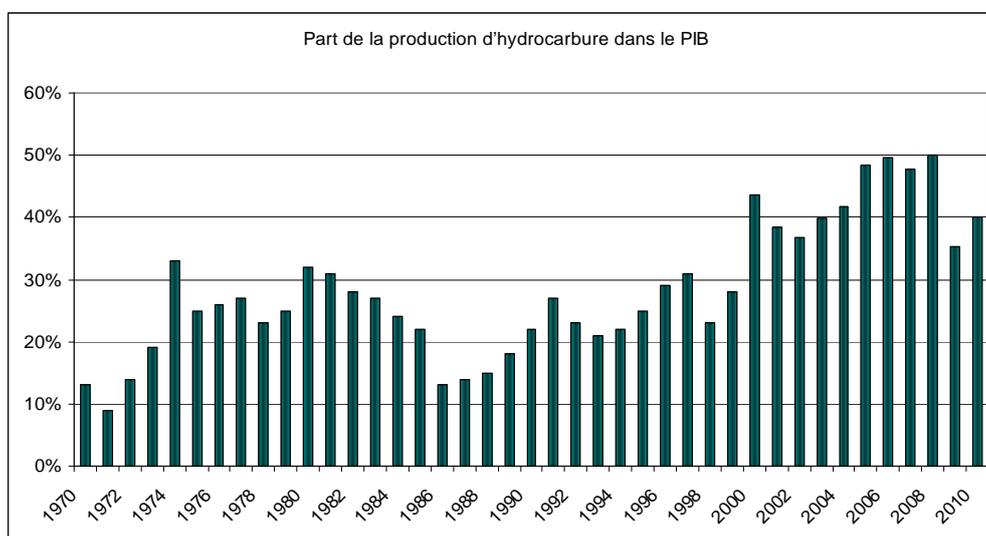


Figure III.6 : Part de la production d'hydrocarbure dans le PIB [ONS 11]

La relation entre les hydrocarbures et le PIB nous fournit un bon aperçu, sur le degré de dépendance de l'économie nationale, envers ce secteur en ayant une idée exacte sur l'évolution de la part de ce dernier dans la production totale du pays.

→ Le secteur de l'énergie et des hydrocarbures a un rôle important dans l'économie nationale. En effet, avec une part direct avoisinant les 50% du PIB, on peut considérer que ce secteur pilote, à lui seul, l'économie algérienne, d'où une première raison d'avoir recours à des approches robuste de contrôle et d'évaluation de ce dernier. De plus, ce secteur est principalement basé sur la production et l'exploitation de pétrole brut, or, nous venons de voir que cette ressource présente un certain nombre de particularités, difficilement appréhendables par le biais des approches classiques, tel que la variation des prix sur le marché, qui sont très volatiles « *L'or noir est caractérisé par la forte fluctuation de son prix. Depuis 1973, les événements historiques ne permettent d'expliquer qu'en partie l'évolution de ce prix...* » [Fat 08], ainsi que l'évolution des réserves prouvées (ressource épuisable), qui ne peut être déterminée à l'avance. Plusieurs études ont montré, que ces particularités ne peuvent être prises en charge par les modèles classiques, « *... plusieurs études ont fait appel à la force physique traditionnelle pour expliquer les comportements des prix sur les marchés. Ils ont observé que les fondamentaux n'ont pas la force suffisante pour prendre pleinement en compte la variation des prix pendant ces dernières années.* » [Mel 12]. Il s'agit dans ce cas, en plus des

fondamentaux, de faire appel à une approche plus dynamique, qui peut s'adapter rapidement, aux changements intervenant dans l'environnement de ce secteur particulier. Les systèmes multi-agents étant plus flexible, et caractérisés par une adaptabilité aux différents changements dans leur environnement, ils peuvent constituer une bonne alternative pour l'évaluation de ce secteur stratégique.

### 2.4 Marché du travail et chômage

Parmi toutes les marchandises disponibles sur le marché, il en est une qui possède un statut bien particulier : il s'agit bien sûr de la force de travail, ou du travail. En effet, le travail est la seule marchandise à protester, parfois violemment, lorsque son prix baisse. C'est aussi, et de loin, celle qui pose le plus de problèmes lorsque des stocks se constituent de manière plus ou moins permanente (i.e. lorsque apparaît du chômage). Comme toute analyse économique de marché, celle du marché du travail présente conjointement deux aspects : prix et quantité. La dimension « prix » concerne plus spécialement la détermination du salaire et la dimension « quantité » davantage le volume de l'emploi, et donc le chômage.

Salaire et emploi sont deux problèmes fondamentaux que non seulement l'actualité met au premier plan des préoccupations des acteurs économiques, mais aussi que l'histoire de la pensée économique a toujours placés au cœur de ses problématiques.

La demande d'emploi est fonction de la structure, des comportements d'activité et de la mobilité de la population. Dans tous ces aspects, la population de l'Algérie a enregistré, ces dernières décennies, des modifications sensibles dont l'impact est à la base des caractéristiques actuelles du chômage dans le pays.

#### 2.4.1 Structure de la population active et du chômage

L'évolution de la population durant la période qui s'étale de 1970 à 1985, a été caractérisée par une forte natalité, considérée comme l'une des principales contraintes à la poursuite du développement économique et l'un des facteurs déterminants de l'accroissement de la demande d'emploi. La politique d'espacement des naissances initiée à partir de 1983, l'élévation du niveau général d'éducation et la crise chronique du logement ont permis une réduction sensible du taux d'accroissement de la population et engagé le pays dans un processus de transition démographique. On est, ainsi, passé d'un taux annuel de près de 3% en 1970 à celui de près de 1% actuellement.

La population active enregistrée en septembre 2010, au sens du Bureau International du Travail « BIT » (La population active dite « au sens du BIT » regroupe la population active occupée et les chômeurs) était évaluée à 10.812.000 personnes. Le taux de participation à la force de travail de la population âgée de 15 ans et plus (ou taux d'activité économique) s'établit à 41.7 % : 68.9 % auprès des hommes et 14.2 % chez les femmes. La partie occupée du moment a atteint, pour sa part, 9 735 000 personnes, le reste, représentant la partie de la population active au chômage, soit près de 10% du total.

Les femmes constituent 15.1 % de la population occupée totale, l'une des spécificités du marché du travail, qui ressort ces dernières années, c'est l'augmentation significative, de la main d'œuvre féminine dont le comportement d'activité a été sensiblement modifié, on est ainsi passé de moins de 2% en 1966 à 15.1% en 2010.

Une autre spécificité du marché du travail algérien, est l'exclusion des jeunes (ceux âgés de 15 à 24 ans) de ce marché là, effectivement, le taux de chômage de cette tranche de la population active, a toujours été plus élevé que celle des adultes, plus encore, alors qu'elle va du simple au double dans le reste du monde, en Algérie, le chômage des jeunes est près de trois fois supérieur à celui des adultes,

avec un taux de 21.5% pour les jeunes, contre 7.1% pour les adultes. Une étude de l'Organisation Internationale du Travail, avait fait ressortir ce phénomène qui, selon cette même étude, montre que les jeunes garçons sont confrontés à une insertion beaucoup plus problématique que les jeunes filles, entre autre, eu égard aux conditions d'embauches liées à l'accomplissement du «service national».

Même constat pour l'insertion au travail des diplômés, on a relevé un taux de chômage des non diplômés de 7.3% alors que pour les diplômés ce taux atteint 21.4%.

Deux autres phénomènes, de moindre mesure, sont à relever, à savoir, le travail des enfants et celui du retour des retraités sur le marché du travail.

Ces changements de la structure sociale de la société, ont fait évoluer le taux de chômage global, de 29% en 2000 à 10% en 2010, soit un taux de réduction moyen de près de 2% par an.

### **2.4.2 Structure de l'emploi par type d'employeur (Privé / Public) et par secteur d'activité**

On distingue deux catégories d'emplois majeures, l'une relevant du secteur public et l'autre du secteur privé.

#### ➤ **Secteur public :**

Le secteur public économique est constitué des entreprises publiques économiques (EPE) et des entreprises publiques locales (EPL), intervenant dans les activités de l'industrie y compris les hydrocarbures, du bâtiment et travaux publics et des services. Ce secteur a enregistré dès la fin des années 1980, d'importantes pertes d'emplois en conséquence des ajustements l'ayant affecté, tout en perdant sa prédominance par rapport au secteur privé dans la contribution à la valeur ajoutée.

##### a. Le secteur des hydrocarbures :

Ce secteur d'activité, comme nous l'avons vu plus haut, occupe une place très importante dans l'économie nationale, ceci étant, il ne compte que 3% de l'emploi national en raison du fort taux capitalistique de ses investissements. « Les hydrocarbures amènent la richesse, mais pas d'emplois... », a estimé le FMI dans son rapport de 2010 sur l'Algérie. « ...L'Algérie doit faire plus pour diversifier son économie et sortir de sa dépendance vis-à-vis des hydrocarbures, notamment pour dynamiser l'emploi surtout parmi les jeunes dont le taux de chômage atteignait 21% en 2009 ».

Donc, la création et la dynamisation du marché de l'emploi, n'est pas un rôle alloué au secteur des hydrocarbures.

##### b. Le secteur de l'industrie hors hydrocarbures :

Le secteur industriel public a dès les départ, été le moteur de la création d'emplois avec ses emplois directs et indirects. Mais depuis la fin des années 1980, et avec la migration de l'économie nationale vers le capitalisme, ce secteur a périodiquement vu, sa part dans la structure nationale de l'emploi, baissée. On est, ainsi, passé de plus de 15.5 % en 1990 à près de 10 % actuellement. Le déclin de la création d'emplois dans le secteur industriel public est attribué à trois raisons essentielles, selon une étude de l'OIT :

- Le ralentissement de l'investissement industriel public à partir de 1985.
- Les compressions d'effectifs (licenciements pour raisons économiques et départs en retraite anticipée) effectuées depuis 1995, et nécessitées par la situation difficile des entreprises confrontées aux nouvelles réalités du marché national ouvert aux produits concurrents, provenant du secteur privé national et de l'importation.

- L'incapacité de ses entreprises en général à opérer les adaptations indispensables de l'outil de production, des qualifications et du management.

Cependant, il y a certaines branches de l'industrie public qui ont su préserver leur compétitivité, on peut citer à titre d'exemple : l'agroalimentaire, les matériaux de construction et l'industrie pharmaceutique. L'avenir du secteur industriel public hors hydrocarbures est l'une des questions déterminantes pour l'emploi dans le pays au double plan du volume et de la qualité de cet emploi.

### c. Le secteur du bâtiment et travaux publics « BTP » :

Comme pour les entreprises publiques de l'industrie hors hydrocarbures, les entreprises publiques du BTP ont vu, depuis la fin des années 1980, leur emploi se réduire sensiblement suite aux dissolutions nombreuses et aux importantes compressions des effectifs ayant concerné aussi bien les petites entreprises locales que les grandes entreprises nationales. On est, ainsi, passé de plus de 14 % en 1990 à moins de 10 % actuellement. Néanmoins, Les privatisations qu'a connu le secteur public durant les années 2000, n'ont pas entamé les emplois de ce secteur d'activité, en effet, ce secteur est encore en mesure, de par son envergure, des moyens techniques et des capacités d'études, de contribuer à la préservation et à la création de l'emploi, grâce aux investissements publics dans les infrastructures (routes et chemins de fer) et aux programmes de logements en cours.

### d. Le secteur des services :

Après la dissolution de la majorité des entreprises publiques d'importation et de distribution, le secteur public des services, est essentiellement constitué aujourd'hui, par les entreprises de transports (transport aérien, maritime, routier et ferroviaire et gestion des ports et des aéroports), les banques et les assurances. Selon une étude de l'OIT, l'emploi dans ce secteur sera limité dans l'avenir, si l'on observe la pénétration rapide de ses activités par l'investisseur privé.

### ➤ **Secteur Privé :**

Hormis les petites exploitations agricoles, le secteur privé en Algérie n'a pris sa place dans l'économie, qu'après le passage vers une économie capitaliste décidé durant les années 1980. C'est ainsi, que le secteur de l'agriculture continu à connaître une croissance dans l'emploi privé, qu'on a enregistré plusieurs milliers d'industriels privés, d'entreprises activant dans le BTP et d'entreprises de commerce et de service.

### a. L'agriculture :

L'emploi dans ce secteur est estimé à près d'un million et demi d'emplois, y compris pêche et forêt, soit, plus de 10% des emplois totaux.

En 2000 le gouvernement a engagé une action d'envergure en direction de l'agriculture reposant sur un dispositif de soutien financé dans le cadre d'un fonds national de développement rural et agricole (FNDRA). L'Etat s'est ainsi engagé à subventionner de manière ciblée et modulée :

- Le développement de la production et de la productivité agricole ainsi que sa valorisation, sa commercialisation, son stockage, son conditionnement, voire son exportation.
- Les opérations de développement de l'irrigation agricole, de la protection et du développement des patrimoines génétiques, animal et végétal.
- Le financement des stocks de sécurité, particulièrement, pour les céréales et leurs semences.
- Les frais induits par la fixation des prix de référence.
- Les prix des produits énergétiques utilisés en agriculture.
- Les intérêts des crédits agricoles et agroalimentaires à court, moyen et long terme.

Les premiers résultats de ces mesures exceptionnelles d'encouragement à l'agriculture augurent d'une relance de la production agricole et de l'emploi direct, en attendant le règlement des nombreux

autres problèmes fondamentaux dont la solution conditionne l'essor durable du secteur agricole et du monde rural : la propriété foncière, la maîtrise des intrants (semences, engrais, pesticides), la mobilisation des ressources hydriques, l'organisation de l'action de vulgarisation des techniques agricoles modernes...

Toute prévision de l'évolution de l'emploi agricole doit cependant tenir compte de facteurs susceptibles d'œuvrer à la réduction des effectifs dans ce secteur tels que la perspective d'un remembrement des terres dicté par le besoin d'exploiter des surfaces à dimension économique et l'élévation tendancielle de la productivité générale.

### b. L'industrie :

Depuis la fin des années 1980, et avec la migration de l'économie nationale vers le capitalisme, le secteur industriel privé a vu sa part dans le marché national, augmenté de manière exponentielle. En effet, grand pourvoyeur de valeur ajoutée, ce secteur d'activité a été choisi par les entrepreneurs privés, pour canaliser leurs investissements.

Par le nombre d'entreprises, le volume des investissements, la part dans le PIB et l'emploi, le secteur industriel privé a montré un dynamisme remarquable tout au long de cette période et a surtout développé ses capacités dans les branches des industries alimentaires, des matériaux de construction, de l'industrie électronique et de l'industrie pharmaceutique. Son développement futur constitue l'une des clés de la réussite des réformes entreprises pour l'instauration de l'économie de marché dans le pays, la modernisation de l'économie et la création soutenue de l'emploi productif, prenant dans tous ces domaines le relais de l'industrie publique en voie de privatisation.

### c. Le secteur du bâtiment et travaux publics « BTP » :

Depuis la fin des années 1990, et avec la relance de plusieurs projets d'infrastructure, mais aussi, les programmes successifs de construction de millions logements, le secteur du BTP présente un fort taux de croissance. Avec le déclin des entreprises publiques, le secteur privé a connu un grand essor, que l'on peut observer à travers le nombre d'entreprises créées, la part dans la valeur ajoutée et l'emploi. De larges perspectives s'offrent aujourd'hui à ce secteur ainsi qu'à l'emploi à haute intensité de main d'œuvre qui le caractérise. Plusieurs facteurs agissent dans ce sens, tel que le potentiel national de main d'œuvre qualifiée ainsi que, les capacités d'études existantes.

### d. Le secteur des services / Commerce:

Le secteur des services a lui aussi, connu une forte croissance avec la libéralisation de l'économie nationale. En effet, le développement des autres secteurs nécessite d'avoir un secteur des services performant, pour répondre aux différents besoins exprimés, tels que le transport routier de marchandises et de voyageurs, le transport aérien, les services auxiliaires au transport maritime, l'import-export, les services techniques et juridiques, les banques et assurances, les services électroniques. Cette croissance apparaît dans le nombre d'entreprises et l'emploi créés. Ses perspectives d'expansion et de création d'emplois sont nettes, car il s'agit d'un secteur ouvert à l'emploi de tous niveaux de qualification et dans un large spectre de compétences, propice à la création d'un grand nombre d'entreprises de toute dimension. Cependant, l'augmentation de l'emploi peut être confrontée à une concentration prévisible des activités dans la distribution et les transports routiers et urbains actuellement fortement atomisés.

### ➤ **Secteur informel :**

Représentant une part importante de l'emploi en Algérie, il est intéressant de mettre en évidence l'importance du secteur informel dans l'employabilité. En effet, l'emploi informel était estimé en 1985 à 25 % de l'emploi total hors agriculture, il est passé à 29% en 1992, puis 33% en 1997 et a culminé à presque 40% en 2001, pour redescendre aux alentours de 30 % voir 25% en 2010.

Le secteur informel a commencé à se développer dans le pays d'une manière observable depuis le début des années 1980. Selon une étude de l'OIT, l'informel est apparu en réponse aux importants besoins sociaux non satisfaits (tel que : travail, logement, revenus), ainsi qu'aux nombreuses rigidités caractérisant l'organisation de l'économie en général et en particulier les salaires, la fiscalité, la création d'entreprise, l'accès aux marchés extérieurs, le taux de change et le financement. A l'instar des économies de beaucoup d'autres pays, l'emploi informel en Algérie, au delà de tous ses aspects économiques et sociaux négatifs, a contribué à la création d'activités et à la réduction du chômage réel, venant ainsi compenser l'apport insuffisant du secteur déclaré dans ce domaine.

➔ En plus d'être un indicateur social, le marché du travail est un indicateur pertinent de l'état de l'économie d'un pays. En effet, tous les secteurs de l'économie interagissent avec ce dernier, afin de s'approvisionner en ressource indispensable au fonctionnement de chacun de ces secteurs, et qui consiste en la ressource humaine. C'est ainsi qu'en fonction de l'analyse de la structure de ce marché et du taux de chômage qui en découle, qu'on peut avoir une image, de la situation des différents secteurs économiques du pays. Ceci étant, ce type d'analyse nécessite d'avoir recours à des outils d'analyse combinatoire complexe, bien plus robustes que les approches analytiques standards. Actuellement, un laboratoire de recherche français tente une nouvelle approche de modélisation, par le biais des systèmes multi-agents [Kan 09] dans le but de répondre à deux préoccupations majeures : (i) comprendre le fonctionnement du marché du travail et (ii) concevoir de meilleures politiques en vue d'améliorer sa performance. Les premiers résultats de cette tentative de modélisation, ont mis en évidence le potentiel important de cette dernière.

En ce qui concerne le marché de l'emploi national, une autre spécificité le caractérise, cette dernière consiste en le secteur de l'informel, aspect difficilement appréhendable par le biais des approches classiques, les approches de type multi-agents sont plus adaptés pour la prise en charge de ce type de facteur d'ordre informel, voir aléatoire.

C'est pour ces raisons qu'il serait plus judicieux de faire appel à une modélisation de type multi-agents.

### **III. Evolution et état des indices macroéconomiques de l'Algérie**

Dans cette section, il s'agit d'étudier et d'analyser les différents indices macroéconomiques. À savoir, la valeur de l'activité économique représentée par le PIB (produit intérieur brut), nous allons voir son évolution et son comportement ainsi que présenter ses composantes majeurs. Nous évaluerons aussi le coût de la vie, représenté par l'indice des prix à la consommation, avant de finir, par la mesure du chômage, en essayant d'étudier son évolution et l'évolution de sa structure.

#### **1. Valeur de l'activité économique : le Produit Intérieur Brut « PIB »**

Nombreux sont ceux qui considèrent le Produit Intérieur Brut « PIB » comme la meilleure mesure des comportements et performances d'une économie. La mesure du PIB est établie pour une période de temps donnée, à partir d'un grand nombre de données primaires. Les sources de données primaires comprennent aussi bien les données administratives obtenues à partir des fonctions gouvernementales telles que la collecte des impôts, les programmes d'éducation, la défense ou encore la réglementation, et les données statistiques qui proviennent des enquêtes gouvernementales effectuées auprès des établissements de vente au détail, des entreprises manufacturières et des agriculteurs par exemple. L'objet du PIB est de résumer toutes ces données et de les synthétiser en un seul chiffre, représentant la valeur en Dinard Algérien de l'activité économique pour cette période.

En termes plus concrets, le PIB est égale aux deux grandeurs suivantes :

➤ Le revenu total de l'ensemble des membres de l'économie ;

- La dépense totale consacrée à l'acquisition des biens et services produit par cette économie.

Ceci étant, on peut se poser la question de comment un seul indice peut-il mesurer à la fois le revenu et la dépense d'une économie ? La réponse est simple : en fait ces deux quantités sont identiques. Pour l'économie dans son ensemble, le revenu doit nécessairement être égal à la dépense. Ceci est le résultat d'un constat plus fondamental encore : puisque dans toute transaction interviennent un vendeur et un acheteur, chaque Dinard dépensé par l'acheteur constitue nécessairement un Dinard de revenu pour le vendeur. A titre d'exemple, si un menuisier fabrique du mobilier pour une entreprise d'aménagement pour 10.000DA, ces 10.000DA sont un revenu pour lui et une dépense pour l'entreprise d'aménagement. Cette transaction ajoute 10.000DA au PIB, peu importe que l'opération se fasse du côté du revenu ou du côté de la dépense.

Nous avons deux calculs différents du PIB :

- Le premier qu'est le PIB en volume (dit « réel »), permet de calculer le PIB de différentes périodes, en rapportant les prix à une période référence, tout en gardant les volumes produits durant la période en question, ce PIB nous donne la possibilité d'avoir la croissance de production entre deux périodes différentes.
- Le second qu'est le PIB en valeur (dit « nominal ») permet de calculer le PIB de chaque période par rapport aux prix exercés durant la période en question.

Si l'on examine l'évolution du PIB de l'Algérie (figure III.7), on remarque que son profil suit la même tendance que celui des prix du pétrole. En effet, le calcul du coefficient de corrélation, entre l'évolution du PIB et des prix du pétrole est égal à « 0,93 », ce qui nous amène à dire que les deux variables sont fortement corrélées. Ce qui est prévisible, puisque nous avons vu dans le point 2.3.3. de la section II de ce chapitre, que le secteur des hydrocarbures représente presque 50% de la valeur du PIB.

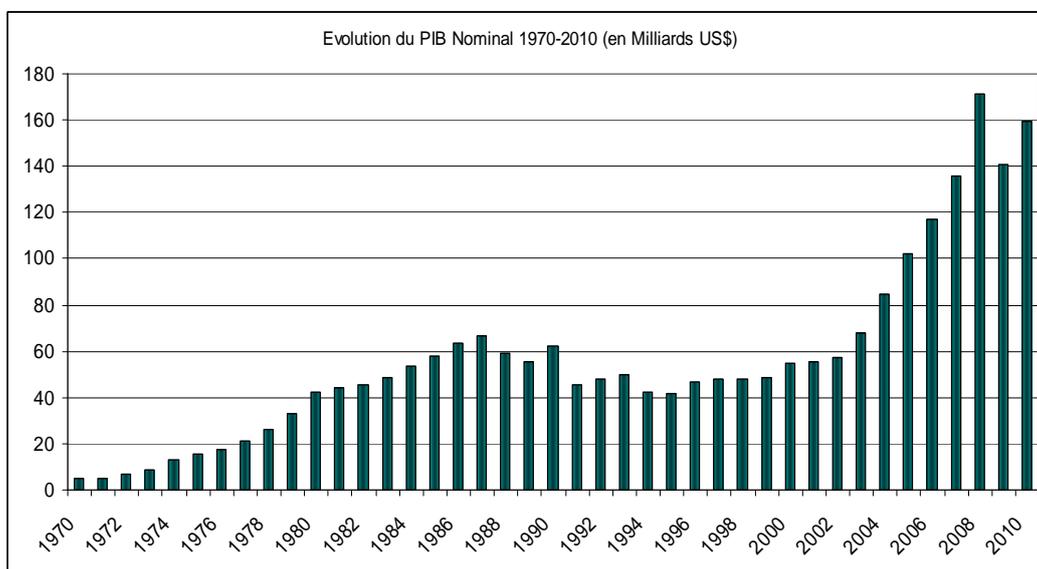


Figure III.7 : Evolution du PIB Nominal de 1970 à 2010 (en Milliards US\$) [She 11]

En effet, la structure du PIB (figure III.8 et figure III.9) à travers les grands secteurs de l'économie se décline comme suit :

- Les hydrocarbures, avec une part moyenne sur ces dix dernières années de 43%.
- Le commerce, avec une part moyenne sur ces dix dernières années de 11%.
- L'agriculture, avec une part moyenne sur ces dix dernières années de 10%.
- Le Bâtiment et travaux public, avec une part moyenne sur ces dix dernières années de 9%.

- Le transport et communication, avec une part moyenne sur ces dix dernières années de 9%.
- L'industrie hors hydrocarbures, avec une part moyenne sur ces dix dernières années de 7%.
- Les services, avec une part moyenne sur ces dix dernières années de 3%.

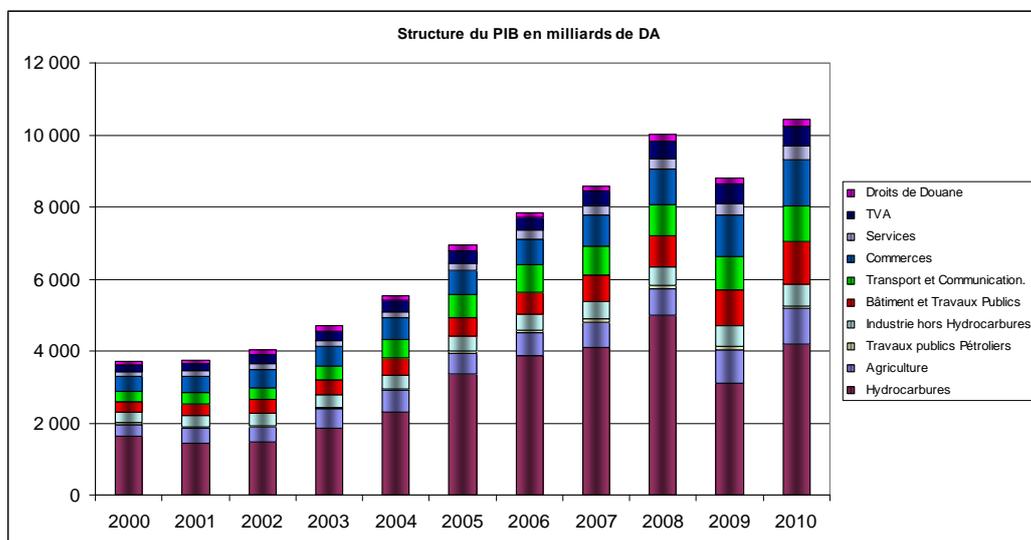


Figure III.8 : Structure du PIB (en milliards de DA) [ONS 11]

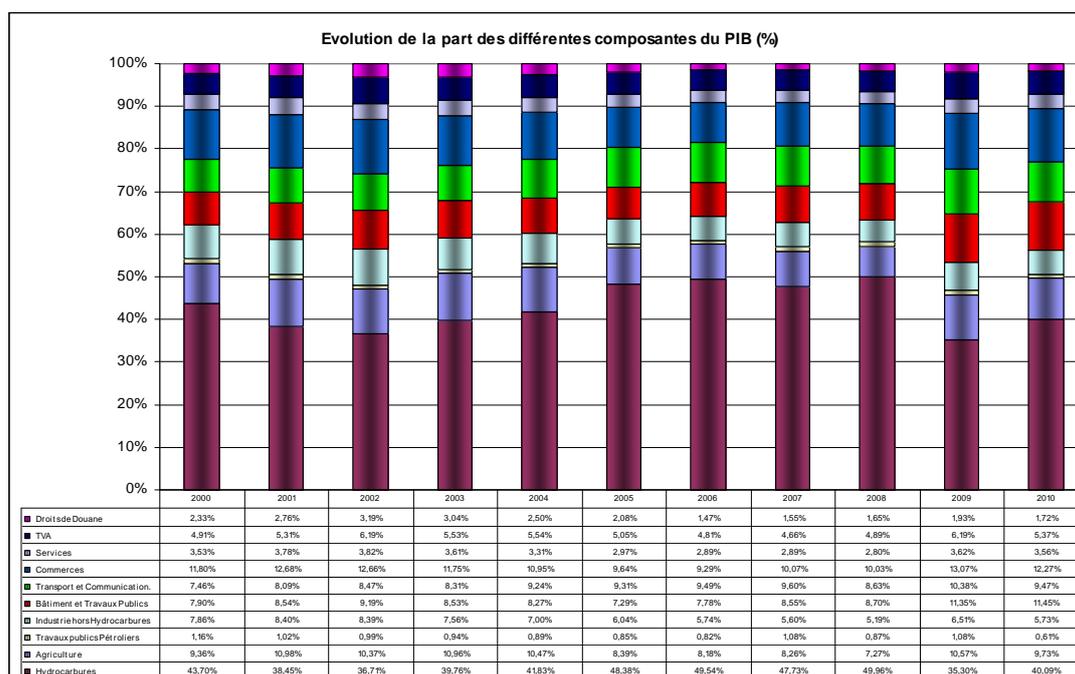


Figure III.9 : Evolution de la part des différentes composantes du PIB (%) [ONS 11]

L'étude du comportement et de l'évolution à travers le temps du PIB - indicateur économique de premier plan, dans l'évaluation de la situation économique d'un pays - doit nécessairement passer par l'étude de chacun des secteurs cités précédemment, dans le but de mettre en évidence leurs caractéristiques, ainsi que les interactions qui régissent ces derniers. La structure de l'économie nationale, est assez particulière, de par plusieurs aspects, effectivement, ni les pays voisins, présentant une même structure sociale / une même histoire, ni les pays producteurs de pétrole, présentant une même dépendance à la rente pétrolière, ni autres, ne peut constituer un modèle pour le fonctionnement

de l'économie nationale. Nous avons vu dans la section II de ce chapitre les spécificités des trois secteurs productifs de l'économie nationale, ce qui nous a permis de voir l'importance de la place qu'a le secteur des hydrocarbures dans l'économie, mais aussi, que les autres secteurs d'activités n'ont pas été abandonnés, bien au contraire, on a noté plusieurs tentatives de relance de ces autres secteurs. Nous pouvons dire que l'état actuel de ces autres secteurs, est le résultat résiduel de toutes ces tentatives, l'avenir de ces secteurs dépendra donc, de leur état actuel, mais aussi des éventuelles politiques qui seront entreprises dans l'avenir.

Cette exploration non exhaustive, des différents secteurs de l'économie nationale, de leurs spécificités, de leurs importances respectives dans la production des richesses, mais aussi, la consultation de la littérature relative aux autres modèles économiques, surtout des pays voisins, nous ont permis d'apprécier la particularité du système économique algérien. En effet, ce système économique est particulier, dans le sens où il est :

- Simple : dépendant fortement d'un seul secteur d'activité, à savoir, le secteur des hydrocarbures, qui est bien identifié, et dont on a toutes les caractéristiques, ainsi qu'une base de données bien entretenue. Avec une part de plus de 40% dans le PIB, une part de plus de 97% dans les exportations et la « presque » seule, sinon, principale source de devise pour le pays, une bonne analyse de ce secteur, nous permettra d'avoir une bonne analyse de la situation économique actuelle, et de pouvoir faire des projections corrects de la situation économique à court et moyen termes. Au vu de l'importance de ce secteur, on peut se permettre une marge plus importante dans l'étude des autres secteurs d'activité économique.
- Complexe : ce qui en fait sa simplicité, en fait sa complexité, effectivement, la dépendance vis-à-vis d'un secteur d'activité, aussi instable que celui des hydrocarbures, sur lequel, à priori, l'Etat n'a aucun contrôle et dont, pratiquement, aucune modélisation fiable n'existe. Rien que pour la formation du prix du brut, la figure III.10 montre toute cette complexité. L'équilibre offre - demande du marché pétrolier, l'environnement économique, les aléas de divers ordres (géopolitiques et extra économiques) ainsi que les anticipations financières constituent les déterminants principaux du cours du baril de pétrole.

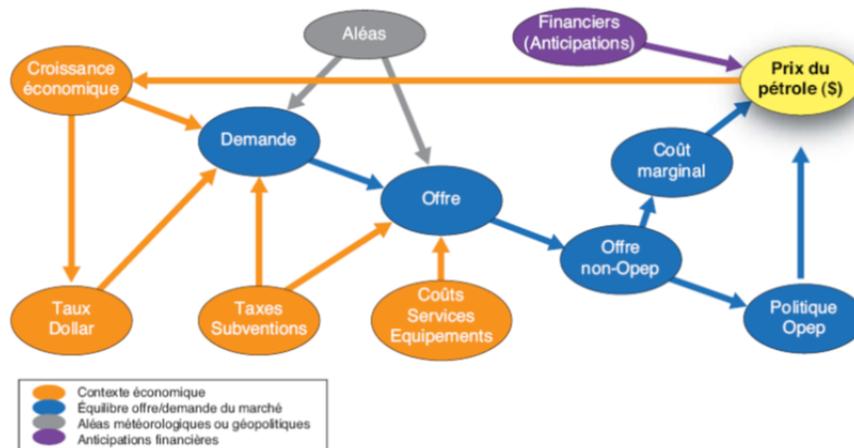


Figure III.10 : Déterminants du prix de pétrole [IFP 09]

La croissance annuelle du PIB représente la variation relative d'une période à une autre du volume du PIB en dollars constants d'une année de référence. Elle reflète l'augmentation (ou la baisse dans le cas d'une croissance négative) du niveau d'activité économique dans un pays. Il s'agit d'un indicateur souvent retenu lorsque l'on veut faire des prévisions à court et à moyen terme sur la situation économique d'un pays. Normalement, une croissance économique équivaut à un enrichissement. Cependant, cet indicateur pourrait s'avérer trompeur dans la mesure où la croissance du PIB serait

redevable d'une croissance démographique et non d'une amélioration de l'économie, dans ce cas, Il sera préférable de considérer la croissance du PIB par habitant.

La croissance générale du PIB en Algérie, ces dernières années (figure III.11), a évolué autour des 4%, avec une certaine stabilité durant cette même période.

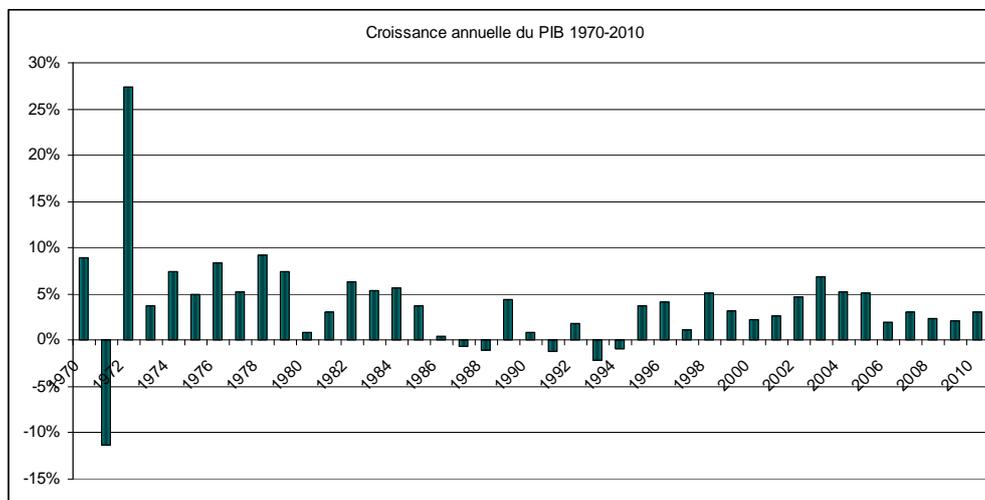


Figure III.11 : Croissance annuelle du PIB de 1970 à 2010 (en %) [She 11]

## 2. Coût de la vie : l'indice des prix à la consommation

Il n'est pas possible d'acheter aujourd'hui autant avec un dinar qu'il y a vingt ans, le coût de pratiquement toute chose a augmenté. Cette hausse du niveau général des prix s'appelle « Inflation ». Ce phénomène constitue une des principales préoccupations des économistes et des décideurs politiques.

La mesure la plus usuelle du niveau des prix est l'indice des prix à la consommation « IPC ». Il est calculé par les instituts de statistique des divers pays. En Algérie, c'est l'Office National des Statistiques « ONS » qui en a la charge. La première tâche consiste à collecter les prix de milliers de biens et services. On a vu, dans le point précédent, que le PIB traduit les quantités et les prix d'une multitude de biens et services en un seul chiffre qui mesure la valeur de la production. De même, l'IPC synthétise les prix de tous ces biens et services en une seule mesure du niveau général des prix.

On pourrait, à cette fin, calculer la moyenne de tous les prix. Ceci reviendrait, cependant, à mettre tous les biens et services sur le même pied. Or le consommateur moyen, achète plus de poulet que de crevette, et en conséquence, le prix du poulet devrait avoir au sein de l'IPC une pondération supérieure à celle de la crevette. Il est donc important que le prix de chaque bien ou service donné retenu dans l'indice des prix à la consommation soit pondéré par la quantité de ce bien ou service achetée par le consommateur moyen. Si cela est fait, l'indice des prix à la consommation mesure correctement le prix d'un panier donné de biens et services en toute année courante par rapport au prix du même panier en année de base. Afin de comprendre le principe, prenant l'exemple d'un consommateur représentatif qui achète chaque mois 5 pommes et 2 oranges, son panier de biens est donc constitué de 5 pommes et 2 oranges. L'IPC se calcul alors comme suit :

$$IPC = \frac{(5 \times \text{Prix courant des pommes}) + (2 \times \text{Prix courant des oranges})}{(5 \times \text{Prix des pommes en 2010}) + (2 \times \text{Prix des oranges en 2010})}$$

Dans cet exemple, l'année de base de l'IPC est 2010. L'indice nous dit donc, combien il en coûte aujourd'hui d'acheter 5 pommes et 2 oranges par rapport à ce qu'il en coûtait en 2010 pour acheter le même panier de fruits.

L'importance de l'IPC tient, principalement, à sa capacité de suivre le pouvoir d'achat. Néanmoins, il joue un triple rôle :

- Economique : il permet de suivre, mois par mois, l'inflation. Il est aussi utilisé pour calculer les évolutions dans le temps de dépenses ou de revenus en Dinars constants.
- Socio-économique : il est utilisé pour maintenir le pouvoir d'achat du salaire national minimum garanti (SNMG), ou pour indexer de nombreux contrats privés, des pensions alimentaires.
- Monétaire et financier : il est constitué selon les normes internationales en vigueur afin de permettre des comparaisons entre pays.

Ce rôle particulier, qu'a l'IPC, en fait un indicateur macroéconomique de premier rang, dont le contrôle de l'évolution, est assez important, pour assurer un minimum de stabilité socio-économique d'un pays. Ceci étant, au vu de sa composition, et au vu des facteurs qu'il fait intervenir dans sa mesure, il n'est pas évident de le contrôler, en effet, pour faire face à un éventuel emballement de l'inflation, la seule solution longtemps envisagée en matière de politique économique fut la dévaluation, cependant, les chocs pétroliers du siècle dernier, ont eu pour effet une hausse du prix des matières premières qui entraîna une perte de contrôle des Etats sur leur inflation. Parallèlement surgissaient sur le marché, désormais mondial, de nouveaux concurrents fournissant des produits à très bas prix, hautement compétitifs, alors même que les détenteurs de capitaux s'érigeaient en acteurs puissants, peu attirés par les dévaluations à répétition. Bref, il est désormais évident, que l'évaluation du comportement de ce type d'indicateur économique, est plus complexe qu'il n'y paraît, les emballements constatés, non attendus dans plusieurs pays à travers le monde, montrent les difficultés des approches classiques à appréhender les phénomènes qui induisent les variations de cet indicateur de premier plan.

De plus, en ce qui concerne la méthodologie de calcul, on est de plus en plus conscient du fait que, pour avoir des indices des prix fiables, objectifs et crédibles, on doit revoir les éléments suivants, qui sont importants pour la qualité de l'IPC :

- La formule utilisée ;
- La fréquence des révisions des pondérations ;
- Les procédures d'ajustement de la qualité, d'introduction de nouveaux produits et de nouveaux points de vente ;
- Les méthodes d'échantillonnage utilisées, etc.

Cela fait ressortir l'aspect dynamique de la structure de cet indicateur.

Pour le calcul de cet indice, l'ONS a sélectionné un échantillon de plus de 260 produits (articles) représentatif de l'ensemble des dépenses de consommation des ménages. La bonne couverture de l'ensemble des prix des produits, nécessite un découpage des biens et services, à cet effet, on distingue les classifications suivantes [KAD 08] :

- 03 catégories (alimentation, produits manufacturés, services.).
- 08 groupes (alimentation, habillement, logement, ameublement, santé, transports, éducation - culture - loisirs et divers).
- 63 sous-groupes, environ 260 articles et 732 variétés.

Après avoir enregistré de grandes variations, l'évolution de l'IPC en Algérie (figure III.12), a connu, depuis 1997, une certaine stabilité autour d'une valeur moyenne de 4%. La forte dépendance de l'économie algérienne vis-à-vis des hydrocarbures, comme nous l'avons vu dans le point précédent, fait que, les variations au niveau des prix dans ce secteur d'activité, ont un grand impact sur tout le reste de l'économie, et en particulier, sur l'IPC. En effet, ce dernier est assez stable depuis que le prix du pétrole, enregistre une tendance haussière, tout comme son emballement vers la fin des années

1980 ainsi qu'au début des années 1990, est dû à la chute du prix du pétrole durant les années 1980, qui a contraint l'état algérien à adopter une politique de dévaluation de la monnaie nationale agressive.

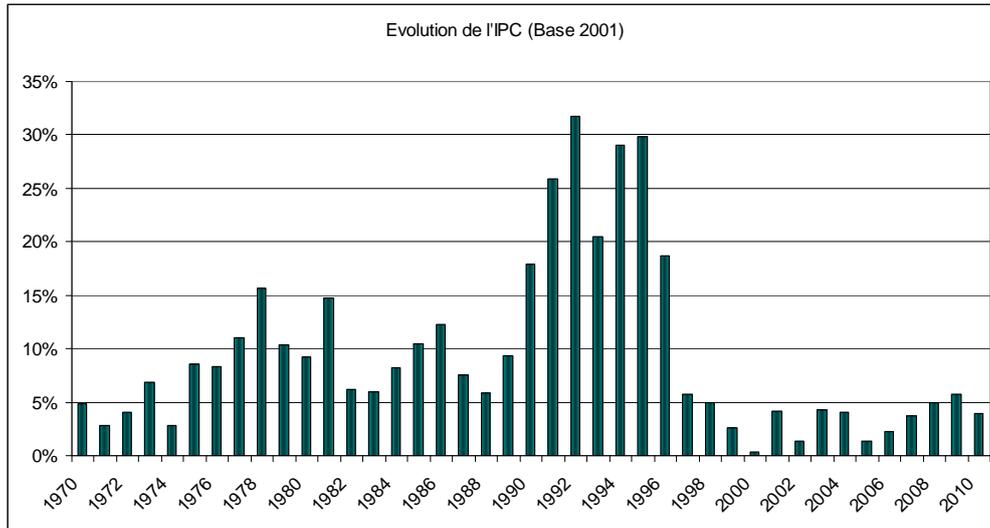


Figure III.12 : Evolution de l'IPC de 1970 à 2010 (en %) [ONS 11]

### 3. Mesure du chômage : le taux de chômage

La question du chômage est une question typique des problématiques macroéconomiques. En effet, toute économie se caractérise notamment par l'efficacité avec laquelle elle utilise ses ressources. L'une des principales ressources d'une économie est sa main d'œuvre. L'utilisation optimale de celle-ci est donc l'une des préoccupations majeures de la politique économique. Le taux de chômage mesure la part des citoyens de la population active souhaitant travailler et ne trouvant pas d'emploi.

Le graphique suivant (figure III.13) représente les concepts clés du marché du travail :

- Partant de la population totale, on garde les individus en âge de travailler, c'est-à-dire, selon les conventions internationales, les individus âgés de 15 ans et plus ;
- Seule une fraction d'entre eux, sont désireux de travailler. La population active est la partie de la population en âge de travail qui offre ses services sur le marché du travail. Le rapport entre la population active et la population en âge de travailler est le taux d'activité ou taux de participation : il varie fortement entre classes d'âges et entre genres ;
- Enfin, cette population active se scinde en deux groupes : ceux qui ont effectivement un emploi (les actifs occupés) et ceux qui n'en ont pas (les chômeurs ou demandeurs d'emploi).

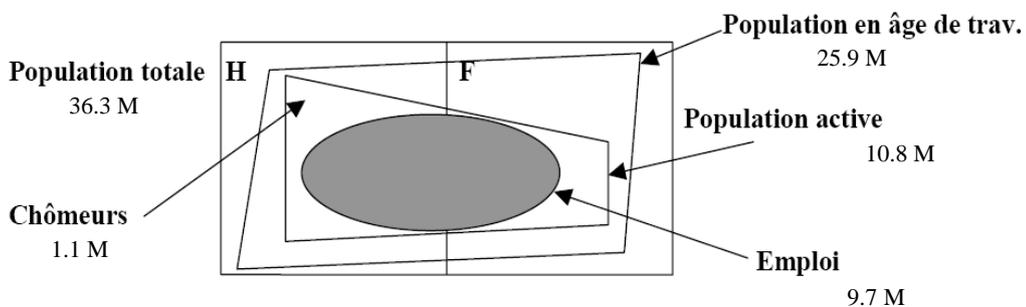


Figure III.13 : Structure de la population algérienne (2010)

Le taux de chômage en Algérie, provient de larges enquêtes auprès des ménages sur la population active, réalisé par l'Office National des Statistiques (ONS). Afin de disposer des principaux indicateurs du marché de travail, chaque année, une enquête par sondage sur l'emploi auprès des

ménages est effectuée. Actuellement, l'ONS dispose d'une base de sondage constituée de l'ensemble des districts et des ménages ordinaires et collectifs des 1541 Communes du pays du dernier recensement général de la population et de l'habitat. C'est ainsi que l'échantillon est élaboré à partir du 1/10ème des districts du recensement de la population des ménages ordinaires et collectifs. Le nombre de districts qui compose la base de sondage est de 4194 répartis à travers le territoire national au lieu de tous les districts (soit les 42268).

Le calcul nécessaire pour l'obtention du taux de chômage est, en soi, assez simple, si l'on considère la formule suivante :

$$\text{Taux de chômage (en \%)} = \frac{\text{Nb de chômeurs}}{\text{Population active}} \quad (\text{en 2010, ce taux en Algérie avoisiné les 10\%})$$

Ce qui ne représente qu'un constat d'une situation résultante, de l'occurrence et l'interaction de plusieurs phénomènes au niveau de la sphère socio-économique. Ceci étant, ce qui est intéressant, c'est de comprendre comment cet indicateur macroéconomique, si important, évolue dans le temps, afin de permettre aux décideurs, d'adopter les politiques appropriées pour faire face à la situation prévue. Un modèle devant faire la prévision d'un indicateur aussi complexe, dans sa formalisation, que le taux de chômage, fait intervenir tant de paramètres et d'interaction difficiles, si ce n'est, impossibles à modéliser, que les prévisions, en général, sont le résultat d'analyse d'experts de l'économie et du marché du travail. Nous avons vu dans le premier point de ce chapitre dans le cadre de l'analyse du marché du travail et du chômage national, que dans tous ces aspects, la population de l'Algérie a enregistré, ces dernières décennies, des modifications sensibles dont l'impact est à la base des caractéristiques actuelles du chômage dans le pays. Ce qui accentue encore plus, la difficulté de pouvoir arriver à une modélisation fiable de ce phénomène.

Le taux de chômage en Algérie a, sensiblement, diminué ces dernières années (figure III.14). Nous sommes, ainsi, passé de presque 30% en début des années 2000, à 10% en 2010

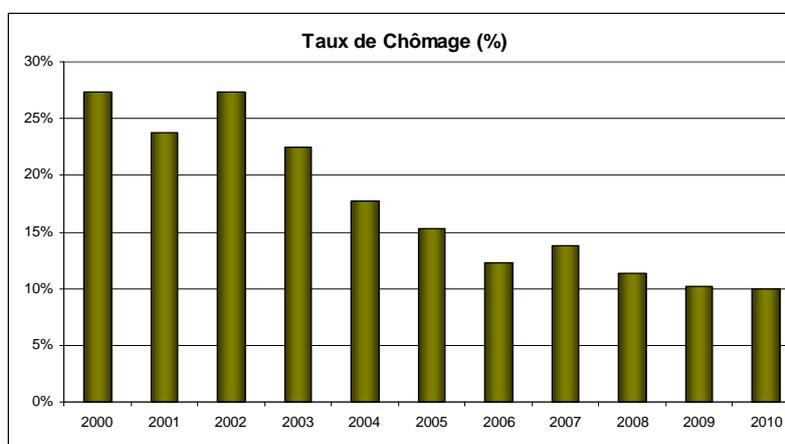


Figure III.14 : Taux de chômage de 2000 à 2010 (en %) [ONS 11]

Plusieurs politiques de réduction du taux de chômage, sont à la base de ce résultat, à titre d'exemple, le Ministère de l'Emploi et de la Solidarité Nationale, en a donné quelques un (en 2003) :

- L'encouragement de l'investissement, source principale de création des postes de travail, à travers la mise en place des mécanismes nécessaires, capables de susciter toutes les opportunités possibles d'attrait et d'intéressement des hommes d'affaires nationaux ;
- Le développement de la formation, plus précisément tous processus de valorisation par un métier en vue d'améliorer le niveau de qualification des ressources humaines et de développer les structures d'emploi ;

- Le renforcement et la rationalisation des dispositifs publics de promotion de l'emploi qui font appel au budget de l'Etat et à la solidarité nationale dans le but d'aider les jeunes ou les catégories démunies à mieux s'insérer dans la société.
- ➔ Le calcul et le suivi de l'évolution des indices macroéconomiques, est ce qui nous permet d'évaluer l'état d'une économie. En effet, nous avons vu que ces indices représentent une vision agrégée de la situation économique d'un pays, et ils découlent directement d'une combinaison entre les situations, ainsi que les évolutions, de chacun des secteurs économiques analysés précédemment.  
La capacité des systèmes multi-agents à prendre en charge les problèmes de type combinatoire complexe, est une caractéristique très importante dans le cadre de l'évaluation des indices macroéconomiques.

### IV. Intérêt d'une modélisation multi-agents de l'économie nationale

Tout au long de ce chapitre, nous avons énuméré les caractéristiques des différents secteurs de l'économie nationale. Pour rappel, nous avons vu dans le chapitre II que la simulation moyennant les systèmes multi-agents pour les modèles économiques, présente un grand intérêt, et que cet intérêt est triple [Dur 97] : théorique, méthodologique et technique.

- Sur le plan théorique, la simulation multi-agents constitue un prolongement essentiel de la réflexion qui peut être menée dans le cadre du courant des ressources.
- Sur le plan méthodologique, à la différence des méthodologies classiques, la simulation ne nécessite pas d'hypothèses fortes sur le comportement optimal ou rationnel de l'agent économique.
- Sur le plan technique, elle donne le maximum de liberté à la définition idiosyncrasique de la firme. Elle permet de représenter la firme par un agent capable d'agir en fonction des variations du marché.

Ceci correspond parfaitement aux spécificités de l'économie nationale, ainsi qu'aux objectifs à atteindre. En effet, hormis le fait que les systèmes multi-agents s'inscrivent dans la continuité naturelle de la réflexion économique, et en tant que tel, s'imposent à nous comme solution évidente pour conduire notre modélisation, leur combinaison avec la simulation comme moyen d'évaluation, nous exonérera d'avoir recours à des hypothèses fortes (non évident à l'heure actuelle, en raison du peu d'études ayant traité cet aspect). Ces avantages, nous offrent la possibilité de pouvoir aboutir à des conclusions pertinentes en un minimum de temps, de plus, une fois le modèle de base finalisé, la flexibilité des systèmes multi-agents nous permettra de faire les arrangements nécessaires, pour prendre en charge les phénomènes dynamiques caractérisant les sciences économiques. Nous avons ainsi relevé, à travers ce point, l'état des différents secteurs composant l'économie nationale, ainsi que, celui des différents indices macroéconomiques :

- Le secteur de l'industrie : ce secteur est caractérisé par une densité très faible du tissu industriel, résidu de plusieurs tentatives de développement, à travers des politiques aussi diverses et contrastées que possible. Actuellement, dans le cadre de la poursuite du même objectif de développement, on note plusieurs politiques d'encouragement à l'investissement, à travers la mise en place de plusieurs leviers et dispositifs. Au vu de l'évolution passée de ce secteur, il paraît très difficile d'évaluer son devenir par une approche classique, dont la procédure d'exécution est lourde et fait intervenir un grand nombre de paramètres. La modélisation des interactions n'est pas toujours évidente, et nécessite un nombre important de données d'entrée, en plus des hypothèses fortes auxquelles il faudra faire appel.
- Le secteur agricole : l'agriculture doit répondre au besoin primaire qu'est l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire, chose qui n'est toujours pas d'actualité, au vu des difficultés et des crises cycliques (principalement, liées à la pluviométrie). En effet, comme pour

l'industrie, on a recensé un nombre important de politiques, dans le but d'atteindre l'objectif cité précédemment ; ces dernières se sont toutes soldées par un échec. Actuellement, une politique de promotion du développement de l'activité agricole est en cours d'application. De même que pour l'industrie, il est assez difficile d'aboutir à une évaluation pertinente moyennant une approche classique.

- Le secteur de l'énergie et des hydrocarbures : ce secteur s'est considérablement développé depuis sa nationalisation, ce qui lui a conféré une place de plus en plus importante au sein de l'économie nationale, comme cité plus haut, il contribue pour près de 50 % du PIB, 95 % des revenus extérieurs et 60 % des recettes budgétaires. Cette importance en fait un secteur pivot de l'économie nationale, dont la situation et le comportement ont un impact direct sur l'état des autres secteurs d'activité. Ceci étant, c'est le secteur présentant le plus d'incertitude en ce qui concerne son évolution future. En effet, il n'est plus à démontrer la volatilité et l'instabilité que connaissent les prix des hydrocarbures sur le marché, et en particulier, ceux du pétrole. On peut, ainsi, passer du simple au double du jour au lendemain, et vice versa. Les politiques de développement de ce secteur, même si elles répondent à plusieurs prérogatives, elles dépendent certainement en premier lieu d'une variable dominante qu'est le prix du pétrole. Il paraît donc, très difficile d'aboutir à une modélisation fiable du comportement de ce secteur, néanmoins, on peut toujours essayer de mettre en place une modélisation multi-agents indexées sur les possibilités de variation du prix du pétrole, pour évaluer le comportement des différents agents selon les cas possible, ce qui nous permettra de définir la dynamique des politiques à adopter selon les cas. Ce type de modélisation, pourrait constituer un très bon outil d'aide à la décision.
- Marché du travail et chômage : cette partie de l'économie est très importante, salaire et emploi sont deux problèmes fondamentaux pour l'économie, comme pour les politiques, ce qui accroît encore plus la difficulté du contrôle de cette dernière. Le marché du travail est intimement lié à l'état de santé des différents secteurs de l'économie nationale, le taux de chômage nous permet d'évaluer ce marché. Donc on peut considérer que l'évolution de l'emploi est une résultante de l'évolution des autres secteurs d'activité économique. Le développement d'un modèle dans ce sens, nous permettra d'évaluer l'impact des politiques adoptées par les différents secteurs de l'économie sur l'emploi et, au vu de l'importance qu'a cet indicateur, cette information prend toute son ampleur. Les systèmes multi-agents, comme nous l'avons vu précédemment, sont très adaptés à la prise en charge de ce type de problématique (interaction entre les différents agents économiques pour l'atteinte d'un objectif global, voire plusieurs objectifs).
- Les indices macroéconomiques : nous avons vu précédemment, que les indices macroéconomiques servent à donner une vision synthétique d'une partie de l'économie. La prise des bonnes décisions est liée à la pertinence de l'évaluation de ces différents indices, d'où, l'importance d'avoir des prévisions d'évolution de ces derniers. Il est indéniable que dans la définition même de ces indices, nous retrouvons les principes des indicateurs de performance, associés à toute modélisation, et en particulier, à la modélisation multi-agents, qui est très adaptée à l'étude des interactions inter-agents. ainsi, si l'on procède à une modélisation du comportement des différents secteurs de l'économie nationale, ces indices nous serviront d'indicateurs de performance pour le modèle.

### V. Conclusion

Après revu des différentes caractéristiques de l'économie, et plus particulièrement, de la modélisation macroéconomique dans le chapitre I, en premier lieu on peut faire ressortir le caractère spécifique de cette science qui est composée d'un continuum d'agents en perpétuel interaction pour aboutir à chaque fois à des équilibres dynamiques éphémères, variant en continu avec les changements qui interviennent, soit sur les paramètres des agents eux-mêmes, soit à travers l'évolution des règles inter-agents qui caractérise ce continuum. Cette caractérisation de l'économie est, ce qui a fait penser

les économistes à introduire un nouvel outil pour mieux étudier cette science, et qui est l'approche multi-agents, comme on l'a vu dans le cadre du chapitre II. En effet, les systèmes multi-agents ont démontré leur efficacité à prendre en charge, et avec une très grande efficacité, ce type de problématique (aussi complexe soit-elle). À la suite du présent chapitre, on vient de voir que l'économie nationale n'est pas en reste, puisque, plus que tout autre modèle économique, on a vu que son modèle est fort bien adapté pour ce type de modélisation, plus encore, c'est un bon exemple d'application pour comprendre le comportement des systèmes multi-agents appliqués à un modèle macroéconomique en exercice de par la simplicité de l'économie nationale. Incontestablement, les agents économiques sont facilement identifiables et leur caractérisation est assez simple en comparaison des économies occidentales, qui sont plus soumises à la mondialisation et les innombrables interactions qui en découlent, ainsi qu'au marché financier mondial qui, lui aussi, n'est pas en reste en termes d'impacts sur le comportement des différents agents économiques, etc. donc on se trouve, avec le modèle macroéconomique algérien dans une situation idéale pour expérimenter l'application d'une modélisation multi-agents.

Afin de corroborer ces conclusions, et pour introduire cette démarche, dans le chapitre qui suit, nous allons passer à une application sur une partie de l'économie algérienne, au combien importante, au vu de son importance pour le développement de l'économie dans sa globalité. Après plusieurs décennies de négligence, ce secteur de l'économie nationale connaît ces dernières années, un développement sans précédent. Le secteur en question est celui du BTPH.

## **CHAPITRE IV : Tentative de modélisation multi-agents du secteur du BTPH**

- I. Introduction
- II. Caractéristiques et hypothèses sur le secteur du BTPH en Algérie
  - 1. Evolution du secteur du BTPH
  - 2. Situation du secteur du BTPH à l'aube de 2005
    - 2.1 Transports et Travaux Publics
    - 2.2 Habitat et infrastructures publiques
    - 2.3 Hydraulique
  - 3. Programme d'investissement public pluriannuel 2005-2009
- III. Proposition d'un modèle multi-agents du secteur du BTPH en Algérie
  - 1. Modélisation conceptuelle par les systèmes multi-agents du secteur du BTPH
    - 1.1 Démarche d'exécution du programme présidentiel au niveau du secteur du BTPH : identification des agents et des interactions inter-agent
    - 1.2 Présentation et caractéristiques des différents intervenants
      - 1.1.1 L'Etat
      - 1.1.2 Les Ministères
      - 1.1.3 Les Projets
      - 1.1.4 Les Entreprises de Réalisation
      - 1.1.5 Les Fournisseurs
      - 1.1.6 Ressources Humaines Qualifiées (Emplois)
      - 1.1.7 Les Banques
    - 1.3 Proposition d'un modèle multi-agents traduisant le déroulement du processus d'exécution du programme présidentiel
  - 2. Les hypothèses du modèle
  - 3. Définition des règles de priorités arrêtées
- IV. Déroulement du Processus au cours d'une période
- V. Conclusion

### I. Introduction

Dans ce travail de recherche nous visant à démontrer l'intérêt de faire appel à une modélisation multi-agents dans le cadre de la modélisation économique. Nous avons vu dans le cadre du premier chapitre, que la modélisation macroéconomique a considérablement évolué en un siècle d'existence. En effet, on est passé de modèles assez simplificateurs à des modèles de plus en plus complexes, essayant de prendre en charge le plus grand nombre d'insuffisances, déjà identifiées. Cette approche de résolution, classique, des problèmes complexes, a abouti sur les modèles DSGE, présenté comme étant des modèles pouvant prendre en charge, la majeure partie des préoccupations des sciences économiques, en terme d'évaluation et de prévision. Ceci étant, ces modèles ont montré leurs faiblesses à l'occasion de la crise financière / économique de 2007. Comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, ces modèles n'ont pas su anticiper cette dernière, ni prévoir ses répercussions.

Le second chapitre nous a permis de lever le voile sur l'une des solutions proposées par certains économistes, pour pallier aux insuffisances des modèles d'équilibre général, et qui consiste en la modélisation multi-agents. En effet, l'une des caractéristiques les plus intéressantes des systèmes multi-agents, est que dans leur conception même, ils font intervenir des agents distincts avec des objectifs à atteindre différents, pour faire évoluer un même système vers un état qu'on peut qualifier d'état d'équilibre, aussi éphémère soit-il dans certains cas, au vu de l'évolution quasi permanente des paramètres constituant la sphère économique. Ce qui lève l'une des carences les plus importantes des modèles d'équilibre général, et qui n'est rien d'autre qu'un équilibre prédéfini et imposé au système. Ce qui aboutit, bien souvent (surtout dans les cas de chocs), à des résultats complètement biaisés.

L'économie nationale n'étant pas en reste, le troisième chapitre nous a permis de montrer son adéquation avec une modélisation multi-agents. Pour appuyer cette conclusion, dans le cadre du présent chapitre, nous nous proposons de réaliser une tentative de modélisation multi-agents sur un sous-secteur de l'économie nationale, en lui faisant subir un choc auquel il a été confronté dans le passé. Le sous-secteur en question est celui du BTPH, et le choc à étudier est celui du programme présidentiel 2005-2009, programme très important en termes d'investissements prévus, dont plus de 40% ont été alloués à ce secteur d'activité.

Ce chapitre est structuré de façon à nous permettre, à partir de la présentation des caractéristiques et la pose des hypothèses adéquates pour le secteur du BTPH en Algérie, d'aboutir à la proposition d'un modèle multi-agents traduisant le comportement de ce secteur.

### II. Caractéristiques et hypothèses sur le secteur du BTPH en Algérie

Avant de procéder à la modélisation de ce secteur d'activité, il est nécessaire de tracer les contours de ce dernier. Plusieurs tentatives de développement de ce secteur ont été exécutées, néanmoins, aucun programme de l'ampleur du programme quinquennal 2005-2009 n'a été enregistré. En effet, aucune référence historique, d'un investissement massif de cette ampleur n'existe.

#### 1. Evolution du secteur du BTPH

Étant stratégique et primordial pour accompagner et dynamiser le développement du pays, l'intérêt de l'Etat pour le secteur du BTPH a été immédiat après l'indépendance. En effet, dès 1966, le droit au logement a été reconnu comme droit primaire pour tous les citoyens, le déploiement d'un réseau de transport tout mode confondu a été instruit comme priorité... Ceci étant, à cette époque, cela relevé beaucoup plus de la volonté de bien faire les choses, que de programme bien structuré, capable de transformer ces initiatives en réalité concrète pour le pays.

L'Algérie ayant opté pour l'application d'un système politique socialiste, les entreprises capitalistes n'ont, d'office, pas de place pour exister. Donc, c'est l'Etat qui a pris le contrôle du développement de ce secteur. L'organisation du secteur du Bâtiment et Travaux Publics va être conforme à l'organisation de l'économie toute entière. De grandes et puissantes sociétés nationales de production participent à l'industrialisation comme mode de production. L'approvisionnement se fait à travers d'autres grands monopoles : la SNMC pour les matériaux de construction, la SNS pour le fer, la SNLB pour le bois et autres. L'Etat centralise en son sein le financement, la production, la répartition et la gestion des logements. Donc, ce seul agent, qu'est l'Etat, a joué tous les rôles.

Assurer tous les rôles par un seul agent, est une tâche très difficile, il devient très difficile de faire la différence entre les différentes prérogatives devant être assurées par chaque rôle, ce qui rend l'atteinte des objectifs initialement fixés, quasi-impossible. Pour essayer de gérer cet état conflictuel, les autorités ont eu recours à la planification, comme approche pour assurer la cohérence dans l'exécution de toutes les tâches devant être assurées par les différents rôles qu'arborescent l'agent Etat. Néanmoins, malgré le fait que la rationalité économique et les techniques de calcul, soient considérées comme la base de la réalisation des équilibres indispensables à toute planification efficiente (offre/demande, et création monétaire/production), ces éléments sont absents du système de la planification algérien. Le non contrôle du système dans sa globalité, a conduit la politique entreprise à l'échec. La stratégie des années 80 va alors être modifiée. Sous le slogan du "changement dans la continuité", un nouveau modèle de développement va être amorcé. Il implique un redéploiement des investissements vers l'agriculture, l'hydraulique et les infrastructures économiques et sociales. Ce changement de cap, sans les financements nécessaires (au vu de la situation économique catastrophique que traversait le pays à cette époque), n'a pas abouti lui aussi. Le secteur du BTPH ainsi négligé, a accumulé de grands retards.

Dès la fin des années 1980, l'Algérie amorce le passage vers l'économie de marché, préconisée comme moyen de sauvegarde de l'économie algérienne, depuis l'avènement des réformes économiques. La libération "sauvage" et "imposée" des prix rend la gestion de l'économie encore plus compliquée, tant que le fondement du déséquilibre financier (inflation, surliquidité, endettement des entreprises...) n'a pas disparu. La crise en matière de logement est alors insurmontable.

L'atteinte des objectifs fixés par les autorités, passe par une double maîtrise : la maîtrise des connaissances au niveau de la conception (bureau d'études, recherche en laboratoire) et maîtrise de l'organisation du processus de travail. Les problèmes auxquels sont confrontées les entreprises ne sont pas seulement d'ordre technique, ils sont aussi d'ordre organisationnel et financier surtout. Enrayer la crise de l'habitat devient alors un défi, non seulement au point de vue du secteur de la construction lui-même, que du point de vue de l'économie globale.

Tous ceux qui sont concernés par ce secteur, de près ou de loin, professionnels ou profanes, remarquent les indices d'une détérioration constante : augmentation accélérée des prix, pénurie généralisée des matériaux, dégradation de la qualité, pendant qu'entre autre, la crise du logement s'amplifie. Tout ceci a pour première conséquence la réduction de l'offre, avec toutes les implications que cela suppose :

- Aggravation de la crise du logement ;
- Retards et glissements importants dans l'achèvement des programmes ;
- Paupérisation du cadre bâti et aggravation du délabrement des constructions (bidonvilles, réaménagements illicites, ...).

L'habitat, considéré pourtant comme un secteur d'entraînement en amont et en aval d'un grand nombre d'industries, donc vecteur de relance économique, et de relance social, ne peut jouer pleinement ce rôle. Pour le vérifier, il suffit de se référer à la faiblesse desancements des projets et à la dissolution des entreprises publiques au cours de la période (jusqu'à la fin des années 1990). Ce qui engendre la perte de dizaines de milliers d'emplois.

En ce qui concerne le secteur du transport, les dépenses consacrées par l'Algérie à ce dernier, ont été plus important que ceux consacrés au logement dès le début des années 1990. Ce secteur est entièrement financé au titre du budget public alloué au Ministère des Transports et au Ministère des Travaux Publics. Le secteur est principalement exploité par des entreprises publiques. Les investissements se sont situés entre 10 et 16 pour cent de l'investissement public total au cours de la période 1992–2005. Ils ont été en moyenne de l'ordre de 1 pour cent du PIB au cours de la période 1992–2000. Avec les différents programmes depuis 2000, ils sont passés à 1,4 pour cent du PIB au cours de la période 2001–2005. Ceci étant, ces investissements ont été largement orientés aux nouvelles infrastructures plutôt qu'à l'entretien. En effet, les budgets d'entretien routier ont été en moyenne de moins de 0,2 pour cent du PIB au cours de cette période, ce qui a, sensiblement, contribué au vieillissement du patrimoine (pour en faire le constat, 39 pour cent seulement des routes, ont été déclarés en bonne condition en 2003). Le patrimoine exige à l'heure actuelle des réhabilitations et modernisations coûteuses.

→ Ceci représente l'échec de plus de 40 ans de tentatives de développement de ce secteur.

### 2. Situation du secteur du BTPH à l'aube de 2005

On peut décomposer le secteur du BTPH en : secteur des transports et travaux publics, secteur de l'habitat et infrastructures publiques (écoles, universités, salles de sport, ...) et secteur de l'hydraulique.

#### 2.1 Transports et Travaux Publics

En matière de patrimoine d'infrastructures, au début de 2005, l'Algérie vient d'hériter d'une situation assez mitigée. En effet, en comparaison avec les autres pays de la région, le bilan peut être considéré comme bon, avec 3.3 Km de routes/1000 habitants contre 1.9 Km/1000 habitants pour la Tunisie et le Maroc, aussi, 72% des routes algériennes sont revêtues contre 66% et seulement 56% pour la Tunisie et le Maroc respectivement... Toutefois, certains goulets d'étranglement freinent encore les mesures prises dans le secteur pour faire face aux besoins économiques et sociaux. Des investissements considérables ont été consentis pour construire des infrastructures de grande ampleur dans le domaine des transports.

L'Algérie compte 107 000 km de routes (dont 72 % sont revêtues) ; 4 940 km de voies ferrées ; 10 ports commerciaux le long de la côte ; 11 aéroports internationaux et 22 aéroports nationaux. À moins d'1 million d'unités de trafic par km, les chemins de fer sont loin d'être utilisés à leur pleine capacité. De nombreux aéroports connaissent la même situation : 3/4 d'entre eux enregistrent moins de 10 mouvements d'aéronefs par jour. Certains goulets d'étranglement perdurent ; par exemple, l'encombrement chronique de la route reliant les grandes villes du Nord. Le projet d'autoroute est-ouest d'une longueur de 1 260 km devrait permettre de régler ce problème mais, en 2005, à peine 125 km sont en service et seulement 169 km sont en cours de construction. La croissance démographique et l'urbanisation pèsent lourdement sur les infrastructures de transport en zones urbaines, notamment à Alger où la construction du premier métro a été lancée en 1982, en 2005, elle n'avait toujours pas été achevée.

La fourniture d'infrastructures et de services de transports est répartie entre le ministère des Transports et le ministère des Travaux publics. Le ministère des Transports est responsable de l'orientation générale, de la planification, de la réglementation et de la supervision des activités visant au transport des biens et des passagers par voie terrestre (routes ou chemins de fer), par mer ou par air. Il est également chargé de la planification, de la conception, de la construction et de l'entretien des infrastructures ferroviaires. Le ministère des Travaux publics est responsable de la planification, de la conception, de la construction et de l'entretien des infrastructures routières, portuaires et aéroportuaires. Le tableau ci-dessous (figure IV.1) montre la répartition, pour chaque sous-secteur des

transports, des rôles de l'administration centrale, des établissements publics et des entreprises publiques, des autorités locales et du secteur privé.

Sous-secteur	Administration centrale	Établissements publics et Entreprises		Autorités locales	Secteur privé
		EPIC	EPE		
<b>Routes</b>					
Infrastructure	MTP/DTP - Construction et entretien des routes nationales	ANA - Construction des autoroutes AGA - exploitation et entretien des autoroutes	-	Wilayas et communes - construction et entretien des chemins de wilayas et des chemins communaux	-
Services	-	-	-	-	Opérateurs de bus privés
<b>Chemins de fer</b>					
Infrastructure	-	ANESRIF	-	-	-
Services	-	SNTF	-	-	-
<b>Ports</b>					
Infrastructure	MTP/DTP - Construction et entretien des quais, des môles, etc.	-	-	-	-
Superstructure et services	-	-	Entreprises portuaires	-	-
<b>Transport maritime</b>					
-	-	-	Entreprises de transport maritime	-	Sociétés maritimes privées
<b>Infrastructure pour le transport aérien</b>					
Infrastructure	MTP/DTP - Construction et entretien des aéroports et des pistes	-	-	-	-
Superstructure et services	-	EGSA - Construction et exploitation des aéroports ENNA - navigation aérienne ONM - Météorologie	-	-	-
<b>Transport aérien</b>					
-	-	-	Air Algérie	-	Sociétés privées - Charter et services internes; marché international
<b>Transport urbain</b>					
Infrastructure	-	-	EMA - Construction du métro et du tramway	-	-
Services	-	ETUSA - exploitation des bus ETU Oran, Constantine, Annaba	-	-	Opérateurs de bus privés

Figure IV.1 : Répartition des rôles en matière de services et de fourniture d'infrastructures dans le secteur des transports [BM 07]

Entre 2001 et 2004, les investissements publics dans le secteur des transports en Algérie se sont élevés en moyenne à 1,4 % du PIB (figure IV.2). La tendance des investissements publics dans le secteur des transports suit une courbe cyclique. S'élevant au départ à 1,4 % du PIB en 1994, les investissements publics dans le secteur des transports ont été en moyenne de moins de 1 % du PIB au cours de 1994-2000. Cette période pendant laquelle les investissements ont chuté peut s'expliquer par les restrictions budgétaires générales. Par la suite, depuis 2001, la politique budgétaire ayant retrouvé une tendance expansionniste avec le Programme de Soutien à la Relance Economique 2001-2004 (PSRE), les investissements publics ont repris avec force dans le secteur des transports. De 1992 à 2004, la part d'investissement budgétaire allouée aux infrastructures de transports s'est constamment maintenue au-delà de 12 %, excepté 1998, 2000 et 2004, tel qu'indiqué dans le graphique de la figure IV.2.

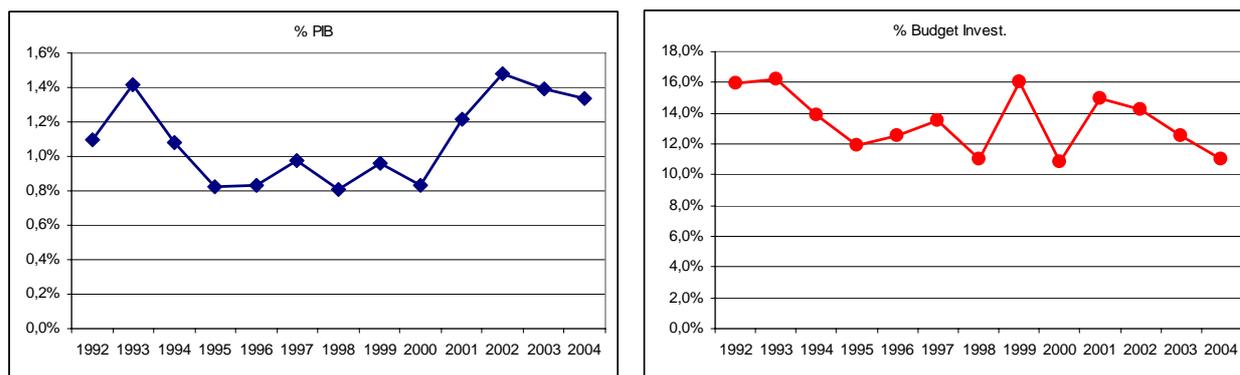


Figure IV.2 : Evolution des dépenses d'investissements publics dans le secteur des transports de 1992 à 2004 en % du PIB et en % de l'investissement budgétaire [BM 07]

## 2.2 Habitat et infrastructures publiques

En termes de logement, l'Algérie a accumulé un retard de plusieurs décennies. En effet, le rythme de croissance de la construction de logements n'a pas suivi celui de la population.

Dans le sillage de l'industrialisation massive qu'a entreprise l'Algérie dès l'indépendance, l'industrialisation de la construction est, sans aucun doute, ce qui a le moins fonctionné. En effet, en l'absence de la double maîtrise : maîtrise des connaissances au niveau de la conception (bureau d'études, recherche en laboratoire) et maîtrise de l'organisation du processus de travail, elle n'a pas pu jouer son rôle. Les entreprises se sont retrouvées confrontées à un double problème : d'ordre technique, certes, mais aussi et surtout d'ordre organisationnel. Ce problème a poursuivi ces entreprises jusqu'à l'aube du nouveau millénaire.

La libération des prix durant les années 1990, a permis aux fournisseurs d'augmenter les prix des matériaux de construction aux dépens de la construction elle-même, ce qui par voie de conséquence a engendré l'aggravation de la crise du logement et la paupérisation du cadre bâti, d'où le disloquement des moyens de réalisation. Le secteur privé confronté à ces impondérables est alors découragé dans son intention d'investir dans le bâtiment. Ce n'est qu'à partir de 1999 que l'économie algérienne retrouvera peu à peu un semblant d'activité. Le plan quinquennal de relance économique sera chargé exclusivement de résoudre les problèmes sociaux dont l'habitat, afin de renouer avec la croissance économique. Cependant les livraisons en matière de logements restent lentes et onéreuses à l'aube de 2005. De 1999 à 2004, 800.000 logements, environs, ont été réalisés. Le retard cumulé étant important, dans le plan quinquennal de relance économique de 2005, le gouvernement s'est engagé à consacrer plus de 18 milliards de dollars au financement du secteur de l'habitat et de l'aménagement du territoire. Il est prévu de réaliser 1.228.597 logements. L'offre sera répartie entre promotion immobilière et logements sociaux pour les plus démunis, alors que la classe moyenne bénéficiera du maintien de l'aide de l'Etat en plus des crédits immobiliers bancaires. En fait le programme sera réparti comme suit :

- Logement social locatif (LSL) → 22%
- Logement social participatif (LSP) → 23%
- Logement rural (LR) → 38%
- Location-vente (LV) → 10%
- Autres → 5%

Si le programme des plus de 1 millions de logements auquel s'ajoutent les programmes complémentaires, est réalisé, le taux d'accroissement du parc logement entre 2004/2009 sera de 21%.

La taille moyenne des ménages (nombre moyen de personnes par logement) qui, selon les différents recensements est passée de 6,40 en 1987 à 5,79 en 1998, une fois le programme achevé tombera à 4,84.

Pour permettre la réalisation de ce programme, le gouvernement a autorisé une grande variété d'arrangements financiers et a ouvert aux entreprises étrangères le marché algérien de manière à satisfaire la demande. Le lancement, dès 1999, de la formule location-vente destinée à des couches moyennes, a été accueilli avec un grand enthousiasme. Cette formule consiste en une contribution de 10% du coût de logement à acquérir, auquel s'ajoute le paiement de mensualités échelonnées sur plusieurs années.

Le challenge à relever par le PCSC est d'autant plus important, que ce secteur doit faire face à plusieurs carences qu'on peut récapituler à travers les points suivant :

- Il s'agit d'abord de l'état du parc logement existant qui se constitue en majorité de logement précaire, soit sous forme de bidonville, soit sur occupés avec des tailles de ménage qui dépassent 12 personnes par logements. Cela signifie que le programme n'est pas seulement destiné à combler le déficit et à satisfaire la demande des sans logements mais aussi à répondre aux attentes des mal-logés.

- Le second problème auquel risque de se confronter la réalisation du programme touche le problème foncier.

Les spéculations foncières ne sont pas récentes en Algérie. Depuis l'indépendance, elles n'obéissent à aucune règle et sont l'apanage d'intérêt non défini. Pour ces raisons, il devient d'abord nécessaire, de l'aveu des responsables du secteur eux-mêmes, d'effectuer un recensement général du foncier urbain à l'échelle nationale. Cette opération risque de prendre beaucoup de temps à cause d'abord de l'étendue du pays, et ensuite, puisque pendant des années, le foncier a été sujet aux transactions informelles. Les travaux du cadastre se poursuivent et ne sont pas achevés depuis 1975. Le nombre de litiges fonciers constitue une contrainte à surmonter.

Une autre carence à surmonter dans le cadre du foncier, est celle relative à l'étude des sols et des aléas sismiques. Le séisme de Mai 2003, impose en effet, cette anticipation qui permettra d'envisager des constructions qui respectent les normes antisismiques.

En fait, le foncier urbain, est un problème qui dépasse les prérogatives d'un seul ministère, en l'occurrence celui de l'habitat, puisque pour lever toutes les contraintes il est nécessaire de faire intervenir les ministères de la justice, de l'agriculture, des finances (fiscalité foncière), de l'hydraulique, des travaux publics et de l'environnement...

- Le programme est tributaire aussi de la mise en œuvre de tous les moyens disponibles et leur rationalisation. La productivité se fait en complémentarité avec les autres paramètres tels que la nature des matériaux de construction locaux utilisés, la qualification de la main d'œuvre spécialisée, l'organisation des chantiers et la compétitivité des entreprises privées. En effet, la main d'œuvre qualifiée est rare. A titre d'exemple, il est désormais établi que les métiers de coffreurs, de ferrailleurs, de maçons et de personnel d'encadrement expérimenté sont plutôt des denrées rares. De plus, on a seulement :

- ✓ 12.000 architectes pour 1541 communes soit un ratio de 8.
- ✓ 2.500 ingénieurs soit un ratio de 2.

D'autre part, les matériaux de construction demeurent un goulot d'étranglement handicapant ; les agrégats, le sable, le gravier de carrière ont connu une hausse de prix vertigineuse. Les agrégats ainsi que le ciment sont des éléments déterminants dans le coût du mètre carré habitable. La raison de la multiplication des prix des agrégats par 3 et 4 est la conséquence de l'interdiction de l'extraction du sable des rivières (pour des raisons environnementales évidentes), alors que les carrières sont rares et insuffisantes. Le ciment quant à lui, malgré sa disponibilité sur le marché parallèle à des prix qui dépassent l'entendement, demeure quasi introuvable dans les cimenteries sensées alimenter le marché. Les raisons invoquées vont de la rupture des stocks dans les cimenteries pour cause de mauvaise gestion à l'arrêt technique "programmé". La spéculation prend alors le relais et le sac de ciment atteint des prix imprévus et difficiles à soutenir par les entreprises. Le rond à béton, quant à lui, dont 80% de la demande est importé a vu son prix augmenté de plus de 100% en un intervalle de temps très court. Etant donné que le rond à béton et le ciment sont déterminants à hauteur de 30 à 40% dans la réalisation du

bâtiment, la persistance des fluctuations des prix engendrera certainement des retards considérables dans les délais de réalisation.

Les tensions ressenties ne sont pas seulement dues au fait que la production nationale soit insuffisante, mais surtout à la forte demande du produit en réponse aux grands projets d'infrastructures, (autoroute Est- Ouest, viaduc.....) et des barrages sur tout le territoire national, en plus du programme de logements.

### 2.3 Hydraulique

Une étude menée par la banque mondiale en 2007, a confirmé la fragilisation du système de gestion de l'hydraulique en Algérie. En effet, les sécheresses récentes ont mis en évidence la vulnérabilité du système d'irrigation à grande échelle et la pression de plus en plus forte, qui s'exerce sur les ressources en eaux souterraines. Elles ont attiré l'attention sur la nécessité de disposer de capacités de stockage supplémentaires et de nouvelles sources d'eau, afin d'améliorer la sécurité, d'accroître les ressources disponibles et de bénéficier d'une souplesse et d'une sécurité de fonctionnement supérieure. En même temps, l'assainissement génère de nouvelles demandes. La conclusion de l'étude de la banque mondiale est que l'Algérie doit investir massivement dans l'épuration des eaux usées, si elle veut assurer la viabilité à long terme de ses ressources hydriques. En résumé, le pays doit consentir de nouveaux investissements dans la mise en valeur de ses ressources en eau.

On peut récapituler la situation de l'Algérie vis-à-vis du secteur de l'eau à fin 2004, à travers les trois points suivants :

- Une pénurie d'eau dans le nord du pays. Les régions occidentales du pays ont beaucoup de mal à satisfaire leurs besoins à partir des ressources locales. Les estimations des ressources en eaux souterraines disponibles (l'offre) s'élèvent en moyenne à 2,7 milliards de mètres cube (Gm<sup>3</sup>), tandis que les prélèvements (la demande) pour l'irrigation et l'eau de boisson des populations rurales et urbaines sont évalués à 3 Gm<sup>3</sup>. Encouragés par les subventions à l'énergie et à l'équipement, les agriculteurs ont commencé à prélever de l'eau des nappes souterraines. Il serait peut-être possible d'y remédier partiellement en mobilisant un volume plus important d'eaux de surface (potentiel estimé à 12,3 Gm<sup>3</sup>, dont la moitié dans l'est du pays). Cependant, les grandes infrastructures construites par le passé n'ont pas donné les résultats attendus. A la fin de la saison pluviale de 2006, le taux de remplissage des barrages était estimé à 14 % de leur capacité totale. Les sécheresses ont également obligé les planificateurs et les responsables du secteur de l'eau à fermer le robinet de l'irrigation pour alimenter les villes.
- Des services de distribution peu performants. L'Algérie est prise dans un cercle vicieux : qui dit mauvais entretien dit niveau de service insuffisant, donc refus des usagers de payer plus cher, le résultat étant que l'opérateur n'a pas les moyens d'entretenir le système. Les opérateurs des grands réseaux de distribution et d'irrigation sont loin de satisfaire les critères de qualité standard. Si l'accès à l'eau est relativement bon, la qualité du service laisse beaucoup à désirer. Malgré les niveaux élevés d'accès à certains services (alimentation en eau et assainissement dans les villes, irrigation), les zones rurales sont mal desservies en services d'eau potable et d'assainissement, et la part des dépenses d'exploitation et d'entretien couvertes par les redevances des usagers y est plus basse qu'ailleurs. Cette situation incite les pouvoirs publics à maintenir les exploitants sous perfusion par un système de subventions. Enfin, les tarifs bas de l'eau n'encouragent pas à préserver ou utiliser rationnellement cette ressource rare.
- Des problèmes de gouvernance. Dans le secteur de l'eau, les planificateurs et les décideurs s'intéressent avant tout aux systèmes physiques, et pas assez à la gestion et au renforcement des institutions. La planification des infrastructures et le portefeuille d'investissements sont donc considérés sous un angle purement technique. Les problèmes institutionnels, notamment le peu de contrôle et de transparence et la faible participation des usagers, ne sont pas résolus. Le secteur souffre ainsi du plus grave problème qui est le

manque de coordination entre les institutions concernées à tous les niveaux. La planification et la gestion de la mise en valeur de l'eau se font selon une méthode centralisée imposée par le haut, essentiellement basée sur de grands investissements. La gestion intégrée et l'entretien sont des aspects peu pris en compte, de même que l'avis des parties prenantes locales. D'autre part, l'État a une double casquette de régulateur et de prestataire de services. Les prestataires fonctionnent sans rendre de comptes aux usagers. Les critères techniques ne sont pas privilégiés dans les décisions d'investissements. Les administrations du secteur de l'eau n'ont pas toutes les capacités nécessaires pour gérer les enveloppes budgétaires importantes des grands investissements. De ce fait, le taux d'exécution du budget et le contrôle exercé sont insuffisants dans les projets à financement public.

Au vu de l'importance du défi, auquel devra faire face le secteur de l'eau, l'approche classique, consistant à investir davantage dans les infrastructures, en particulier dans des installations de stockage coûteuses, dans l'expansion de l'irrigation et dans l'épuration des eaux usées, ne suffit plus pour répondre aux multiples enjeux. Les investissements à consentir doivent s'articuler autour des trois axes : déploiement de nouvelles infrastructures et modernisation de celles qui doivent l'être (en donnant plus d'importance à la viabilité économique future de ces dernières), mise à niveau du système de distribution (en terme d'infrastructure, certes, mais aussi, et surtout en terme de gestion) et enfin, la refonte du système de gouvernance du secteur dans sa globalité, afin de le rendre plus en phase avec les nouveaux enjeux de ce secteur.

### **3. Programme d'investissement public pluriannuel 2005-2009**

Comme nous l'avons exposé précédemment, l'Algérie a accumulé un certain nombre d'années de retard dans son développement économique, et seul un programme de relance exceptionnel peut réduire ce retard. Dès 2004, le prix du pétrole ayant atteint des niveaux historiquement hauts, il devient désormais possible, moyennant une bonne stratégie de développement, de financer les ambitions d'amélioration de la situation économique globale du pays. Profitant de l'expérience passée du pays, qui a abouti à un échec quasi-total, l'Etat algérien s'est fixé comme objectif d'améliorer la situation économique du pays en faisant les choses autrement.

Il n'est plus question pour l'Etat de jouer le rôle d'acteur économique, mais plutôt, de mettre en place et d'assurer les conditions nécessaires au développement d'une économie solide et prospère, ce qui passe inévitablement par le déploiement des différentes infrastructures économiques / socioéconomiques (routes, chemins de fer, aéroports, habitat, écoles et universités, eau...).

Dès le début des années 1990, l'Algérie s'est attelée à tout mettre en œuvre (à la hauteur des moyens à sa disposition) pour encourager le passage vers une économie de marché efficiente. Néanmoins, les moyens n'étant pas bien identifiés et le problème ayant été considéré dans sa globalité, comme utopie à atteindre sans réellement savoir comment, l'objectif recherché n'allait pas être atteint de suite. En effet, au vu de la conjoncture en ce temps-là, qui exigeait une prise de position et une action rapide, il n'était pas très évident de faire autrement.

Avec l'amélioration de la situation sécuritaire et le retour d'une certaine stabilité au niveau de la gouvernance du pays au début des années 2000, il allait désormais être plus évident de travailler dans l'optique d'atteindre l'objectif d'amélioration de la situation économique du pays. La mise en œuvre des réformes nécessaires reste conditionnée dans la portée de leurs résultats par trois conditions de base [Bou 07] :

- L'existence d'infrastructures denses et modernes ;
- La disponibilité de ressources humaines expertes et abondantes ;
- La présence d'une administration efficiente.

Les deux derniers points, développement des ressources humaines et réforme de l'administration ont été soulevés dès l'entrée en action du Programme de Soutien à la Relance Economique en 2001 (PSRE 2001-2004), comme conditions nécessaires à la mise en œuvre des politiques de promotion de l'investissement et de la croissance, au contraire des infrastructures, qui ne semblent pas avoir été perçus comme un levier de réformes. En effet, ce n'est qu'une fois le PSRE arrivé à terme, que les premières analyses ont relevé l'importance du rôle des infrastructures, comme moteur du développement de l'économie dans sa globalité.

Enrichi par l'expérience de 2001-2004, en 2005, le Gouvernement a lancé le nouveau programme présidentiel : Programme Complémentaire de Soutien à la Croissance (PCSC 2005-2009), qui comporte un important programme d'investissements, avec un montant global de près de 4202,7 milliards de DA.

Une première analyse de ce programme d'investissement nous permet de constater qu'il est fortement orienté vers les infrastructures de base. Il est ainsi intéressant de constater, que ce sont les secteurs clés ou stratégiques tels que le logement, les barrages, les transports qui ont bénéficié le plus de ce dernier. Globalement, ce Programme s'articule autour de plusieurs grands volets stratégiques [Bou 07] :

- Programme d'amélioration des conditions de vie de la population : il s'agit d'améliorer les conditions de vie des ménages à travers, entre autre, la construction de 1.010.000 logements, la réalisation de 231.000 places pédagogiques universitaires, 6.955 salles de classes pour l'enseignement primaire, moyen et secondaire, 19 hôpitaux, 55 polycliniques, 113 centres de santé et maternités, distribution de gaz à 964.900 foyers et électrification de 397.700 foyers...Ce volet mobilise à lui seul près de 45,4% de l'enveloppe globale du Programme, soit près de 1.908,5 milliards de DA.
- Programme de développement des infrastructures de base : il s'agit dans le cadre de ce programme de développer le secteur du transport ainsi que celui de l'hydraulique. Le montant qui lui est consacré est de 1.693 milliards de DA, soit plus de 40% de l'enveloppe globale.
- Programme de soutien au développement économique : il s'agit d'actions de soutien aux différents secteurs de l'économie (agriculture, pêche, industrie, tourisme...), son enveloppe est d'environ 337,2 milliards de DA.
- Développement et modernisation du service public : le reste de l'enveloppe globale, sera consacré au développement et à la modernisation du service public.

➔ L'un des secteurs qui va le plus bénéficier du programme d'investissement est le secteur du BTPH.

### **III. Proposition d'un modèle multi-agents du secteur du BTPH en Algérie**

Cette tentative de modélisation doit nous permettre d'évaluer la réponse du secteur du BTPH à l'important investissement, qui lui est consenti à travers le PCSC. Pour cela, le modèle doit mettre en évidence le rôle de tous les intervenants du secteur du BTPH, direct ou indirect, dans le processus d'exécution de la partie du programme présidentiel qui lui est allouée.

#### **1. Modélisation conceptuelle par les systèmes multi-agents du secteur du BTPH**

Nous avons vu dans le troisième chapitre que l'économie algérienne s'apprêtait très bien à une modélisation multi-agents. De proche en proche, les avantages d'une telle application se retrouvent aux niveaux des différents secteurs constitutifs de l'économie nationale, et c'est ainsi qu'on peut, à travers la modélisation du secteur du BTPH, comprendre la dynamique d'une telle modélisation.

### **1.1 Démarche d'exécution du programme présidentiel au niveau du secteur du BTPH : identification des agents et des interactions inter-agent**

La démarche d'exécution du programme présidentiel peut être décrite à travers les points suivants (schématisée par la figure IV.3) :

- Dans le but d'améliorer la situation du secteur du BTPH, qui souffre de différentes carences et a accumulé un important retard, l'Etat a prévu une enveloppe d'investissement de l'ordre de 2.248 milliards de DA, soit près de 54% du montant global du PCSC. Pour cela, l'Etat, à travers les ministères concernés (ceux du transport, des travaux public, de l'hydraulique ainsi que de l'habitat) a mené les études nécessaires pour identifier ces carences et les actions à entreprendre pour y remédier. C'est ainsi que ce budget a été établi et que des projets plus ou moins prioritaires ont été définis. La mise en application du programme est étalée sur une durée de 5 années (2005-2009).
- Lors de la définition des objectifs du programme présidentiel, de la délimitation de ses contours et de l'allocation des budgets aux différents secteurs, une certaine situation prévalait au niveau de l'environnement qui allait entourer l'exécution des différents projets arrêtés. En effet, nous pouvons citer :
  - ✓ La disponibilité des expertises nécessaires à la transformation des besoins identifiés, en projets réalisables et réalisés concrètement.
  - ✓ Le nombre d'entreprises qui peuvent répondre aux exigences de la mise en application d'un tel programme.
  - ✓ Un marché de l'emploi en mesure de fournir une ressource humaine qualifiée et en mesure d'effectuer les tâches qu'on lui affecte.
  - ✓ Des fournisseurs de matières premières capables de mettre sur le marché les quantités requises pour la bonne exécution de tous les travaux.
  - ✓ Des producteurs de produit de consommations intermédiaires capables de mettre sur le marché les quantités requises de produit pour le bon fonctionnement de la dynamique d'exécution de tous les travaux.
  - ✓ Une politique d'encouragement de l'investissement et d'accompagnement des nouvelles entreprises activant dans le secteur.
  - ✓ ...

Ce travail de recensement est indispensable pour pouvoir évaluer l'impact d'un tel programme sur la sphère économique. Ces données d'entrée, doivent nous permettre de suivre la dynamique d'absorption du flux d'investissement consenti par l'Etat, dans le cadre de ce programme. Toutefois, ce travail n'a pas été fait à la base. En effet, l'évaluation de l'impact de ce programme est restée au niveau de l'étude des équilibres macroéconomiques, qui ne prennent pas en considération cette dimension et qui se basent beaucoup plus sur un principe mis en évidence au début de ce travail de recherche, et qui consiste en une dynamique caractérisant le fonctionnement de l'économie qui tend, peu importe le choc subi, à ramener les différentes grandeurs de la sphère économique à l'équilibre. Deux questions se posent dans ce cas : est-ce que cet équilibre existe (n'est-il pas plutôt éphémère et dynamique tel que nous l'avons suggéré précédemment) ? et, à quelle échelle (est-il local, soit propre à un pays, ou dans l'état actuel de la mondialisation de l'économie, global, provoquant ainsi, une progression positive pour une économie quelque part, progression qui sera compensée par une dégradation d'une autre économie autre part) ? Il ne s'agit pas dans ce travail de répondre à ces questions, mais plutôt de les dépasser, en proposant une autre façon d'appréhender la problématique à travers les systèmes multi-agents qui, comme vu précédemment, simplifient la problématique globale en la répartissant sur des entités moins complexes, dont le comportement est bien identifié et dont la dynamique simultanée de toutes ces entités, nous donne un résultat global non connu à priori.

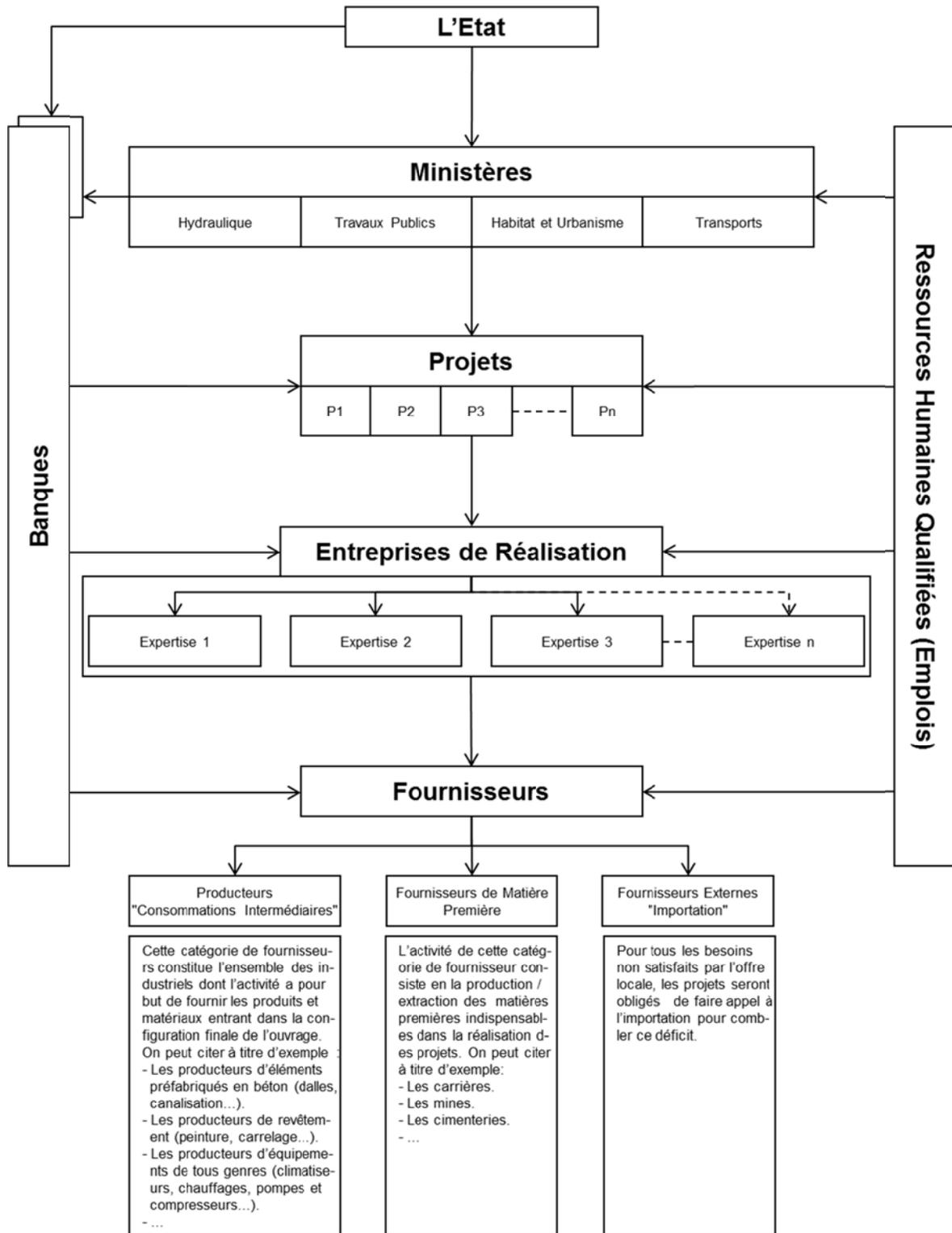


Figure IV.3 : Processus d'exécution du programme présidentiel – secteur du BTPH

- En ce qui concerne le financement de ces projets, il ne provient pas d'un endettement qui mobiliserait l'épargne des agents économiques et hypothéquerait l'avenir, mais de la fiscalité pétrolière qui s'élevait en 2005 à 72,5% du total des revenus fiscaux. Ces recettes fiscales n'étant pas prélevées sur le revenu des ménages ou des entreprises, le remboursement de la dette publique n'affecte pas ainsi, le revenu permanent, c'est-à-dire le revenu présent et futur des agents économiques et notamment ceux des ménages. L'Etat

doit faire appel aux banques pour la gestion des flux financiers nécessaires à la bonne exécution des projets.

- Les études de détail seront réalisées par des bureaux d'études spécialisés, nationaux de préférence, ou internationaux. La réalisation des projets sera affectée à différentes entreprises de réalisations spécialisées dans les différents domaines, nationaux de préférence, ou internationaux. On considère l'étude de détail ainsi que l'exécution du projet jusqu'à sa réception, comme faisant partie du scope d'une seule entreprise (celle à qui le ministère aura attribué le projet, que les expertises nécessaires à l'accomplissement du travail seront internes à cette entreprise ou sous traitées).
- Les entreprises d'exécution feront appels à des ressources humaines pour l'exécution du travail → Mobilisation de l'emploi.
- La réalisation de ces projets nécessite la consommation de matière première et d'autres produits usinés (semi-fini et/ou fini), matériaux et produits qui feront partie intégrante des projets à réaliser → consommations intermédiaires. Pour les produits non disponibles sur le marché national, ainsi que ceux disponibles en quantités insuffisantes, c'est l'importation qui prendra le relais pour répondre à ces besoins.
- Le produit final du secteur du BTPH n'est pas destiné à l'exportation, néanmoins, les industries intermédiaires en charge de produire les consommations intermédiaires pour ce secteur, peuvent jouer un rôle dans ce sens. En effet, au cours de la durée effective de ce programme, on peut s'attendre à la création d'un nombre important d'entreprise pour accomplir cette fonction. Au vu de l'importance de cette dynamique, il s'agira d'exporter s'il y a un surplus de production, même si lors de l'exécution du programme, il faudra beaucoup plus s'attendre à une dynamique d'importation, car il est très fort probable que l'offre locale n'arrive pas à répondre aux besoins exprimés.
- La réalisation de ce programme aura un impact global, et plus particulièrement, sur l'économie nationale à travers, entre autre, la croissance du PIB, de l'emploi et des consommations intermédiaires.

### 1.2 Présentation et caractéristiques des différents intervenants

Comme nous venons de le voir, chacun des différents intervenants, dans le cadre du processus d'exécution du programme présidentiel, a un rôle précis à accomplir. Dans cette partie, nous allons présenter ces différents intervenants.

#### 1.1.1 L'Etat

Faire référence à l'Etat comme premier intervenant du processus d'exécution du programme présidentiel, peut être considéré comme étant un abus de langage, si l'on considère que l'Etat intervient à travers ses ministères qui, d'ailleurs, sont en deuxième position dans la figure précédente. Néanmoins, il y a certaines décisions, certaines activités qui dépassent les prérogatives des ministères.

En effet, la fixation du budget du programme présidentiel est une décision « politique » qui a été prise à un niveau qui dépasse le champ d'intervention des ministères concernés. Certes, leur rôle est très important dans le dimensionnement des carences caractérisant chacun de leur secteur, mais la prise de décision finale est affectée à l'intervenant « Etat ».

#### 1.1.2 Les Ministères

Le rôle des ministères est très important dans ce processus. En effet, ils doivent traduire une volonté politique d'amélioration de la situation dans les différents secteurs, en projets concrets. Attribuer ces projets aux bonnes entreprises de réalisation, à travers un mécanisme efficace d'appel d'offre, d'évaluation des offres et d'attribution des projets. Faire un contrôle périodique de l'état

d'avancement des projets... On peut caractériser les prérogatives des ministères à travers les trois points suivant :

- 1) Diagnostic de chacun des secteurs par le ministère concerné, dans le but d'identifier les différentes carences et les dimensionnées ;
- 2) Affectation des budgets par l'Etat aux différents ministères, pour la prise en charge des carences préalablement identifiées. Budgets en relation avec l'importance des carences à rattraper ;
- 3) Analyses approfondies des carences identifiées et détermination des projets à réaliser pour y remédier.

### 1.1.3 Les Projets

Chacun des projets identifiés par les ministères, est caractérisé par :

- 1) Une priorité : en effet, sachant que les budgets affectés, aussi importants soient-ils, sont limités et que, quoi qu'il en soit, on ne peut entamer tous les projets au même moment, une règle de priorité est mise en place pour déterminer quels sont les projets à exécuter et quels sont les projets à lancer en priorité ;
- 2) Des exigences techniques : chaque projet doit répondre à des besoins fonctionnels bien identifiés, tout en répondant à des exigences de qualité ;
- 3) Un coût d'exécution prévisionnel : une évaluation du budget à prévoir pour l'exécution de chacun des projets doit être faite ;
- 4) Un délai d'exécution prévisionnel : une première évaluation du délai nécessaire à la réalisation du projet doit être faite ;
- 5) Un facteur de réponse aux besoins exprimés par le secteur : il s'agit d'un rapport entre la réponse du projet en question, aux besoins par rapport auxquels est apparue la nécessité de sa réalisation et l'importance de la satisfaction de ce besoin par rapport au secteur.

Sauf si un projet est inscrit comme étant stratégique (dont la réalisation est primordiale), en général, la priorité du projet est une combinaison de tous les autres paramètres (exigences techniques, coût, délai...).

### 1.1.4 Les Entreprises de Réalisation

Les budgets arrêtés, les besoins identifiés et les projets définis, il est nécessaire d'attribuer le projet à une entreprise de réalisation. Les entreprises de réalisation sont caractérisées par un ensemble de critères :

- 1) L'origine de l'entreprise : il s'agit de savoir si l'entreprise de réalisation est une entreprise locale ou étrangère. Une priorité est donnée aux entreprises locales ;
- 2) L'aptitude de l'entreprise à prendre en charge le type de projet : selon les spécificités du projet (type et envergure du projet, savoir-faire requis, moyens dont dispose l'entreprise pour la réalisation de ce type de projet...), une entreprise peut être habilitée ou pas, à prendre en charge la réalisation de ce dernier ;
- 3) L'expérience de l'entreprise : ce paramètre est très important, dans le sens où il permet de crédibiliser l'offre soumise par l'entreprise. En effet, plus le projet est important (à travers l'ensemble des exigences à satisfaire), plus l'expérience de l'entreprise a de l'importance dans la sélection ou pas de cette dernière ;
- 4) Efficacité de l'entreprise : l'évaluation des besoins d'un projet, est établie sur les bases d'une moyenne, ce qui fait que la prise en charge d'un projet par une entreprise ou une autre, peut nécessiter plus ou moins de ressources / temps / coûts, par rapport à ce qui est prévue initialement par le ministère ;
- 5) Capacités de l'entreprise : chaque entreprise peut prendre en charge plusieurs projets en parallèle, certains éléments au nom de l'économie d'échelle, peuvent lui offrir un avantage, néanmoins, cette règle n'est pas applicable à l'infini, en effet, une entreprise ne peut

assurer un même degré de qualité de service, sur tous les projets où elle intervient (ressources qualifiées limitées...).

### 1.1.5 Les Fournisseurs

On peut identifier trois types de familles de fournisseur, selon le type de fourniture (produit manufacturé ou pas) et l'origine de cette dernière (production nationale ou importé). Selon ces critères, le rôle et les caractéristiques de chaque famille de fournisseur diffèrent :

- 1) Producteurs « Consommations Intermédiaires » : cette classe de fournisseurs fait référence aux producteurs de biens - plus ou moins manufacturés - qui feront partie intégrante du projet à réaliser (par l'importance de l'activité industrielle nécessaire à l'élaboration du produit à fournir, on distingue trois familles de producteurs : industrie lourde, industrie moyenne et petite industrie). En général, les entreprises de cette classe prennent du temps pour se développer (ils nécessitent l'acquisition d'un savoir-faire, soit par l'apprentissage → processus très long, ou en s'alliant à d'autres entreprises qui ont le savoir-faire). Au vu de la courte période d'exécution du programme présidentiel (5 ans), il est difficile d'avoir de nouvelles entreprises opérationnelles répondant aux besoins qui seront exprimés par les projets ;
- 2) Fournisseurs de matières premières : L'activité de cette catégorie de fournisseur consiste en la production / extraction des matières premières indispensables dans la réalisation des projets. On peut citer, à titre d'exemple : les carrières, les mines et à un degré moindre, les cimenteries (puisqu'ils nécessitent un lourd investissement de départ, entre autre, les indispensables fours) ... les entreprises de cette classe de fournisseurs prennent très peu de temps pour se développer, il est tout à fait envisageable d'observer la création d'un grand nombre d'entreprises dans ce segment, si le besoin s'exprime sur le marché ;
- 3) Fournisseurs externes « Importation » : si les deux premières catégories de fournisseurs - en local - n'arrivent pas à répondre à la demande, et au vu de l'importance des projets et des délais serrés, il devient nécessaire, dans ce cas, de combler ce déficit par l'importation. Ce genre de situation est beaucoup plus fréquent dans le cas de la première classe de fournisseurs pour les raisons évoquées précédemment. L'importation peut satisfaire tous les besoins exprimés, moyennant un coût plus ou moins important par rapport à la production locale.

### 1.1.6 Ressources Humaines Qualifiées (Emplois)

L'accomplissement de toutes les activités citées précédemment, nécessite la disponibilité d'une ressource humaine qualifiée et en nombre suffisant. Donc en parallèle du processus d'exécution du programme présidentiel, on a un marché du travail qui aura pour fonction d'alimenter ce dernier avec les ressources nécessaires. Ce marché est caractérisé par :

- Des situations de rupture relatives à certains profils peuvent survenir ;
- Dans le cas de rupture, des ressources moins qualifiées sont proposées, néanmoins, ces ressources ne sont pas aussi efficaces que les ressources qualifiées ;
- Dans le cas où il y a rupture totale de la ressource recherchée sur le marché de l'emploi, la requête sera satisfaite par le marché international, mais pour un coût beaucoup plus important.

### 1.1.7 Les Banques

La gestion du flux d'investissement, à travers l'accompagnement financier de l'exécution des différents projets, sera assurée par les banques. En effet, il est indispensable d'avoir recourt à cette institution pour assurer une gestion cohérente du budget colossal alloué par l'Etat à la réalisation de tous les projets. Les banques jouent ainsi, un rôle essentiel comme gestionnaire des moyens de

paiement, ils représentent un intermédiaire essentiel pour tous les autres agents, dans le cadre de leurs relations financières.

Le processus de financement du programme présidentiel s'effectue comme suit :

- 1) L'Etat dégage un budget exceptionnel pour la réalisation des travaux ;
- 2) Ce budget sera répartie par ministère et par année ;
- 3) Suite au processus d'appel d'offre et à l'attribution du projet à une entreprise de réalisation, le coût de ce dernier est désormais réservé à sa réalisation et n'est plus considéré dans le budget des réalisations restantes du ministère ;
- 4) Une avance sera versée à l'entreprise de réalisation, puis le reste sera versé suivant les différents jalons d'avancement du projet ;
- 5) L'entreprise de réalisation, elle-même, en faisant appel aux fournisseurs (différents types), devra leur verser des montants pour leurs prestations, avec le même principe que dans le point précédent.

C'est la circulation de tous ces flux financiers qui est assurée par les banques. Dans la figure IV.4 la schématisation de la circulation de ces flux.

### 1.3 Proposition d'un modèle multi-agents traduisant le déroulement du processus d'exécution du programme présidentiel

Quand on parle de modélisation multi-agents, le premier point critique à considérer, c'est les agents. En effet, le plus important c'est de bien définir les agents, leurs rôles, leurs objectifs, mais aussi, les interactions qu'ils ont entre eux pour atteindre chacun son (ses) objectif(s).

A partir de l'analyse du processus d'exécution du programme présidentiel, réalisée dans le point précédent, on peut identifier sept agents distincts qui interagissent dans le but d'exécuter ce programme, et qui sont :

- 1) L'agent « Etat »
- 2) L'agent « Ministère »
- 3) L'agent « Projet »
- 4) L'agent « Entreprise de Réalisation »
- 5) L'agent « Fournisseur »
- 6) L'agent « Emplois »
- 7) L'agent « Banque »

Les rôles et objectifs de chaque agent, ainsi que les interactions peuvent être détaillés comme suit :

- 1) L'agent « Etat » :

**Rôles**→ C'est à l'agent « Etat » que revient le rôle de dimensionner le budget à allouer au secteur du BTPH dans le cadre du programme présidentiel. Étant donné que ce secteur est divisé en quatre (4) sous-secteurs, la répartition de ces investissements entre ces derniers est à la charge de l'agent « Etat ». En effet, en fonction des priorités fixées par l'Etat, les besoins exprimés par chaque sous-secteur et l'impact de la prise en charge de ses carences, l'agent « Etat » va allouer les budgets aux différents secteurs.

**Objectifs**→ Le budget global à allouer au secteur étant arrêté par l'agent « Etat », à priori, on peut résumer ses objectifs à travers les points suivants :

- La réalisation d'un maximum de projets avec le budget arrêté ;
- La maximisation du taux de satisfaction des besoins de la population. En effet, l'exécution de chaque projet apporte une certaine satisfaction aux besoins exprimés par la population. Ce taux est défini à partir d'une combinaison entre les satisfactions apportées par l'exécution des différents projets ;

- L'un des objectifs de l'Etat consiste en la création d'un maximum d'emplois, durables en priorité. A cet effet, les projets prioritaires seront ceux qui créeront le plus d'emplois après leur réalisation, puis ceux qui nécessitent le plus d'emplois durant leur exécution.

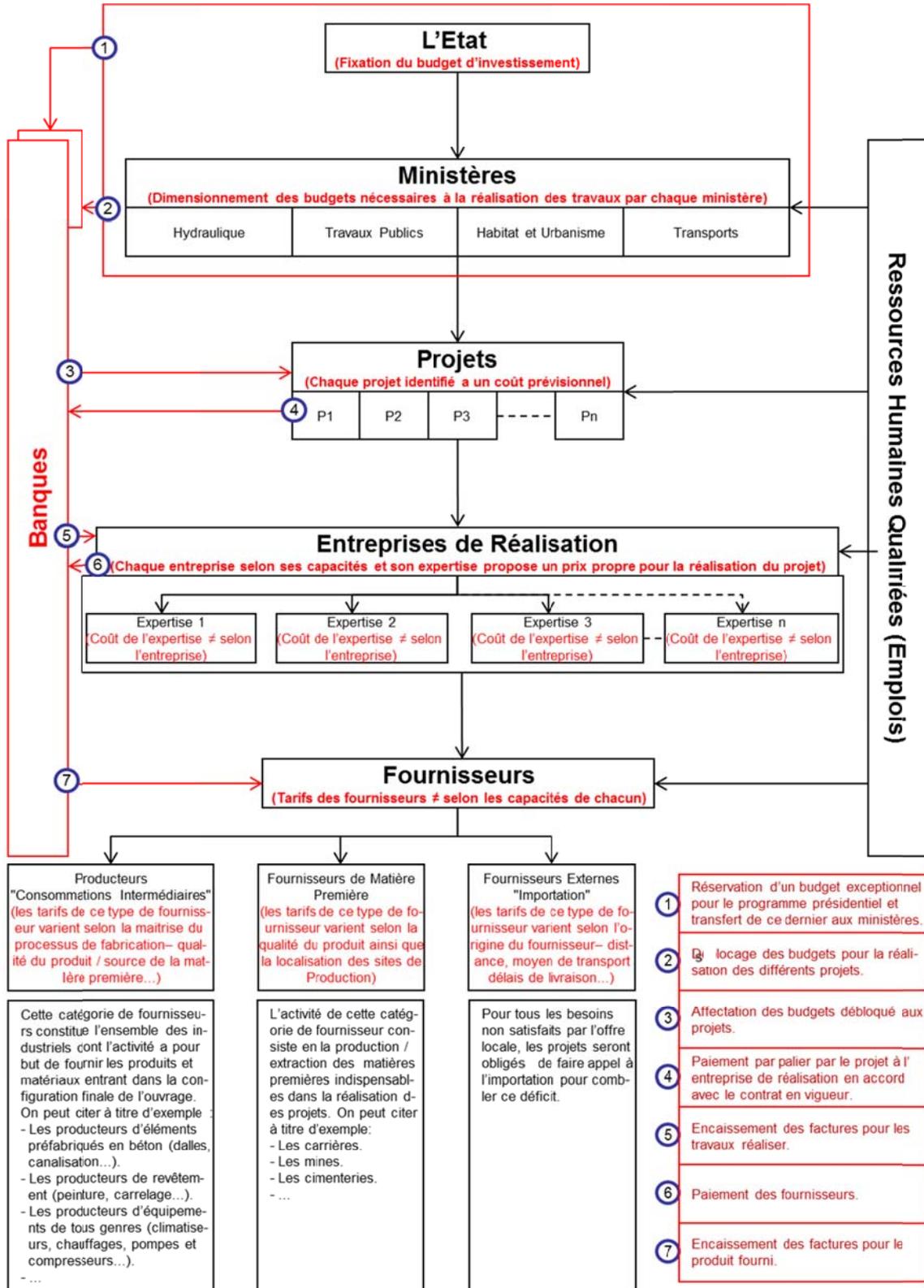


Figure IV.4 : circulation des flux financiers dans le cadre de l'exécution du programme présidentiel – secteur du BTPH

**Interactions inter-agents**→ L'agent « Etat » aura à interagir avec deux autres agents, à savoir, les agents « Ministère » et « Banque ». On peut décrire cette interaction comme suit :

- L'agent « Etat » demande à l'agent « Ministère » d'identifier les différentes carences / besoins de son secteur et de proposer des projets pour leurs prises en charge, tout en caractérisant ces derniers à travers le budget nécessaire à leur exécution, le degré de satisfaction aux besoins identifiés ainsi que, le nombre d'emplois générés lors de l'exécution et après l'entrée en service du projet ;
- La mise à disposition des différents budgets se fait via l'agent « banque », à travers l'allocation à chaque sous-secteurs d'un budget / compte crédité périodiquement (chaque année) par l'agent « Etat ». Au bout des cinq années de durée d'exécution du programme présidentiel, le cumul aura atteint le budget global qui aura été alloué au secteur du BTPH.

2) L'agent « Ministère » :

**Rôles**→ L'agent « Ministère » représente les quatre ministères impliqués par cette partie du programme, cet agent assure un certain nombre de rôles, qu'on peut résumer comme suit :

- Identifier les différentes carences / besoins caractérisant les quatre sous-secteurs ;
- Proposer un certain nombre de projets pour la prise en charge de ces carences / besoins, avec les informations nécessaires (le budget nécessaire à leur exécution, le degré de satisfaction aux besoins identifiés ainsi que, le nombre d'emplois générés lors de l'exécution et après l'entrée en service du projet) ;
- Transmettre ces informations à l'agent « Etat » pour la sélection des projets à réaliser en fonction des informations transmises et l'allocation du budget (partagé en quatre budgets, chacun réservé à un sous-secteur) ;
- Une fois les projets à réaliser, selon un ordre de priorité, arrêtés, l'agent « Ministère » transmet à l'agent « Projet » les caractéristiques de chaque projet, pour la création d'entités relatives à chacun d'entre eux ;
- L'agent « ministère » assure un rôle de contrôle de l'avancement du projet et annuellement, il crédite le compte du projet à travers l'agent « Banque ».

**Objectifs**→ L'agent « Ministère » doit s'assurer de l'atteinte d'un certain nombre d'objectifs, qu'on peut résumer à travers les points suivants :

- L'assurance d'une équité entre les budgets alloués aux différents sous-secteurs, selon l'ampleur des travaux qu'il faut réaliser par chacun de ces derniers. Les besoins identifiés seront classés selon trois niveaux de criticité : besoins critiques, besoins importants, besoins facultatifs. Au vu de la criticité de l'ensemble des besoins identifiés par chacun des sous-secteurs, l'ampleur des travaux sera constatée ;
- La levée d'un maximum de carences pour chaque sous-secteur ;
- La minimisation du budget nécessaire à la levée de chacune des carences identifiées.

**Interactions inter-agents**→ l'agent « Ministère » aura à interagir avec quatre autres agents, à savoir, les agents « Etat », « Projet », « Emplois » et « Banque ». Ces interactions peuvent être décrites comme suit :

- L'agent « Ministère » envoie à l'agent « Etat » son identification des différentes carences / besoins par sous-secteur, tout en caractérisant ces dernières à travers le budget nécessaire à leur exécution, le degré de satisfaction aux besoins identifiés ainsi que, le nombre d'emplois générés lors de l'exécution et après l'entrée en service du projet ;
- Après réception des informations relatives aux budgets assignés aux différents sous-secteurs, dans l'optique de réaliser les projets retenus par l'agent « Etat », l'agent « Ministère » contacte l'agent « Projet » pour lui demander la création d'entités représentant les différents projets à réaliser, suivant un calendrier pré-arrêté

(dépendant de la disponibilité des budgets). L'agent « Ministère » transmet à l'agent « Projet » les informations préliminaires relatives au projet (une fiche d'identification du projet : nature du projet, objectifs du projet, budget estimatif, délai estimatif) ;

- Demande périodique d'un ensemble d'informations à l'agent « Projet », relatives à : l'état d'avancement des différents projets en cours, consommation actuel du budget et écarts éventuels, blocage hors contrôle du projet nécessitant l'intervention du ministère, ainsi qu'un certain nombre de données statistiques (tel que le nombre d'emplois créés, la performance des différentes entreprises de réalisation, le nombre de sous-traitants / fournisseurs impliqués (locaux / internationaux)) ;
- L'agent « Ministère » doit assurer le déblocage du budget requis / demandé par l'agent « Projet » pour la réalisation de chaque projet, ce qui se fera au fur et à mesure de l'avancement des travaux (périodiquement), à travers l'intermédiaire agent « Banque », auquel il sera demandé de procéder à ces opérations ;
- Afin de pouvoir accomplir sa mission correctement, l'agent « Ministère » devra faire appel à une ressource humaine qualifiée, cette requête sera adressée à l'agent « Emplois », de plus, en termes de données statistiques, l'agent « Ministère » aura besoins d'informations relatives à la structure du marché de l'emploi (qualifications des emplois disponibles, taux de chômage, taux de création de nouveaux emplois).

### 3) L'agent « Projet » :

**Rôles**→ L'agent « Projet » a un rôle pivot dans le processus d'exécution du programme présidentiel. En effet, c'est à cet agent que revient la responsabilité de définir toutes les caractéristiques du projet, d'assurer le respect des exigences en termes de « budget / délai », mais aussi, de s'assurer que le projet répond bien aux exigences techniques prédéfinies. On peut recenser les différents rôles de cet agent à travers les points suivants :

- Préparation du cahier des charges du projet, autrement dit, la définition des exigences du projet, techniques (Caractéristiques techniques du projet : description de la fonction technique du projet et de sa finalité, dimensionnement de ce dernier pour l'atteinte de ces objectifs, quantification préliminaire des besoins en terme de besoins matériels et humains) et commerciales (Estimation d'une plage de budget pour la réalisation du projet, si les prix proposés par les entreprises de réalisation dépassent la borne supérieure du budget arrêté, le projet est mis en attente. Estimation du délai de réalisation) ;
- Lancement de l'appel d'offre pour la sélection de la meilleure entreprise de réalisation ;
- Evaluation technique / commerciale des offres reçues ;
- Sélection de l'entreprise de réalisation ayant présenté la meilleure offre ;
- Assurer le suivi de l'avancement des travaux de réalisation, à travers un système de contrôle continu, dont un certain nombre de jalons permettent de s'assurer que le projet ne dévie pas de ses objectifs.

**Objectifs**→ Les objectifs de l'agent « Projet » peuvent être résumés en un seul objectif principal:

- La réalisation du projet avec un budget minimal et en un minimum de temps.

**Interactions inter-agents**→ Pour le bon accomplissement de ses fonctions, l'agent « Projet » devra interagir avec quatre autres agents, à savoir, les agents « Ministère », « Entreprise de Réalisation », « Emplois » et « Banque ». Ces interactions peuvent être décrites comme suit :

- Après la création de l'entité représentant le projet, dont il a reçu la demande de création, par l'agent « Ministère », l'agent « Projet » lui renvoie l'identifiant sous lequel a été créé le projet en question;
- L'agent « Projet » envoie à l'agent « Entreprise de Réalisation » une requête traduisant le lancement d'un appel d'offre, relatif à la réalisation du projet en question,

cette requête sera accompagnée par le cahier des charges et un délai (plus ou moins important, selon l'importance du projet) pour le dépôt des offres ;

- Après l'évaluation des offres et la sélection d'une entreprise de réalisation, l'agent « Projet » envoie à l'agent « Entreprise de Réalisation » l'identifiant de l'entreprise sélectionnée. Il peut y avoir une négociation entre les deux parties sur certains points, des conditions supplémentaires peuvent être imposées. Dans certains cas, l'entreprise sélectionnée peut être écartée à la suite de ce processus (dans le cas où il n'y a pas entente entre les deux) ;
- Demande périodique d'un ensemble d'informations à l'agent « Entreprise de Réalisation », relatives à : l'état d'avancement des différents projets en cours, consommation actuel du budget et écarts éventuels, blocage hors contrôle de l'entreprise de réalisation nécessitant l'intervention du projet. De plus, dans le but d'évaluer la performance de l'entreprise de réalisation, un certain nombre de données statistiques complémentaires, relatives au projet, sont demandées, tel que le nombre d'emplois créés, la situation vis-à-vis des sous-traitants / fournisseurs impliqués locaux / internationaux (en fonction du projet à réaliser d'autres données peuvent être demandées) ;
- L'agent « projet » est chargé de piloter chacun des projets à travers les entités représentatives de ces derniers, qu'il aura créés à cet effet. Dans cette optique, il aura à réagir vis-à-vis de l'évolution du projet, à travers l'envoi de directives à l'agent « Entreprise de Réalisation » si nécessaire ;
- L'agent « Projet » doit assurer le paiement de l'entreprise de réalisation après approbation des factures envoyées par l'agent « Entreprise de Réalisation » pour les travaux réalisés (un échéancier de paiement est négocié lors de l'octroi du projet à une entreprise de réalisation. Un certain nombre de jalons seront arrêtés), le paiement se fera à travers l'intermédiaire agent « Banque » auquel il sera demandé de procéder à un transfert du montant de la facture, du compte projet au compte entreprise de réalisation, moyennant une indemnité couvrant les prestations bancaires ;
- Afin de pouvoir accomplir sa mission correctement, l'agent « Projet » devra faire appel à une ressource humaine qualifiée, cette requête sera adressée à l'agent « Emplois ».

#### 4) L'agent « Entreprise de Réalisation » :

**Rôles** → Le rôle principal de l'agent « Entreprise de Réalisation » est de réaliser le projet en respectant les exigences, néanmoins, un certain nombre de rôles secondaires sont nécessaires pour l'accomplissement de ce rôle principal. On peut recenser les différents rôles de cet agent à travers les points suivants :

- Une première revue de l'appel d'offre est réalisée afin de déterminer la possibilité de prendre en charge le projet par l'entreprise. Cette revue consiste en la vérification de l'expertise requise pour la prise en charge de ce type de projet ainsi que, les qualifications nécessaires pour la réalisation de projets de cette envergure ;
- Dans le cas où l'entreprise de réalisation est apte pour la réalisation du projet (d'un point de vue administratif), elle retire le cahier des charges pour une analyse approfondie de ce dernier, cette analyse consiste en le recensement et la détermination des besoins (techniques et matériels) détaillés du projet. Les résultats de cette analyse sont indispensables, dans un premier temps, pour vérifier la faisabilité de ce dernier avec les connaissances et moyens de l'entreprise de réalisation en question, et dans un second temps, pour la fixation du prix du projet à mettre sur l'offre. Ce prix est constitué de trois éléments : les coûts qui varient d'une entreprise à l'autre, selon sa maîtrise du processus d'exécution du projet en question, la marge bénéficiaire de l'entreprise qui varie d'une entreprise à l'autre et selon la stratégie à adopter (offre agressive pour maximiser les chances d'obtention du projet ou pas agressive dans le cas où l'entreprise juge avoir toutes les chances pour décrocher le contrat d'exécution) et, la dernière composante du prix consistant en une somme pour faire face aux

éventualités, cette dernière dépend fortement de la maîtrise par l'entreprise du processus d'exécution du projet en question ;

- Soumission à l'appel d'offre par le dépôt de l'offre technico-économique au niveau de l'entité représentative du projet ;
- Si l'entreprise remporte l'appel d'offre, elle sera chargée de réaliser le projet. Pour accomplir ce rôle principal, elle devra mettre en place, tout ce qui est nécessaire en termes de mobilisation de ressources humaines et matériels, indispensables à la bonne exécution des travaux, et de s'assurer que toutes les exigences du projet soient prises en charge ;
- Un rôle important de l'entreprise de réalisation est de sélectionner les fournisseurs adéquats, tout en essayant de respecter la règle de la « préférence nationale » tant que possible et dans l'intérêt du projet.

**Objectifs**→ Les objectifs de l'agent « Entreprise de Réalisation » peuvent être résumés à travers les points suivants :

- L'obtention d'un maximum de projet à réaliser, jusqu'à l'utilisation optimale de toutes les ressources de l'entreprise ;
- L'exécution du projet à réaliser dans le délai imposé et convenu avec le client ;
- L'exécution du projet à réaliser sans dépasser les coûts estimés et en essayant de minimiser, sans dépasser, la consommation de la somme prévue pour faire face aux éventualités.

**Interactions inter-agents**→ Pour la bonne exécution de ses tâches, l'agent « Entreprise de Réalisation » devra interagir avec plusieurs autres agents, à savoir, les agents « Projet », « Fournisseur », « Emplois » et « Banque ». Ces interactions peuvent être décrites comme suit :

- Après réception de l'appel d'offre de la part de l'agent « Projet », l'agent « entreprise de réalisation » sélectionne dans sa liste d'entreprises potentielles, les entreprises habilitées à prendre en charge les activités relatives à la réalisation du projet et transmet à l'agent « Projet » une acceptation de l'appel d'offre avec la liste des entreprises présélectionnées ;
- Suite à l'évaluation du cahier des charges et la préparation des offres par chacune des entreprises, l'agent « Entreprise de Réalisation » transmet à l'agent « Projet » les différentes offres pour évaluation ;
- L'agent « Entreprise de Réalisation » reçoit l'identifiant de l'entreprise de réalisation sélectionnée, et affecte à cette dernière le projet en question ;
- L'agent « Entreprise de Réalisation » envoie les requêtes des besoins en termes de matériaux (consommations intermédiaires et matière première) à l'agent « Fournisseur » ;
- Après réception des différentes offres relatives à la demande de matériaux et produits nécessaires à la réalisation du projet, évaluation de ces dernières et sélection d'un fournisseur, l'agent « Entreprise de Réalisation » envoie à l'agent « Fournisseur » l'identifiant du fournisseur sélectionné. Il peut y avoir une négociation entre les deux parties sur certains points, des conditions supplémentaires peuvent être imposées, dans certains cas, le fournisseur sélectionné peut être écarté à la suite de ce processus (dans le cas où il n'y a pas entente entre les deux) ;
- Envoie périodique d'un ensemble d'informations à l'agent « Projet », relatives à : l'état d'avancement des différents projets en cours, blocage hors contrôle de l'entreprise de réalisation, nécessitant l'intervention du projet. De plus, un certain nombre de données statistiques complémentaires, relatives au projet sont données, tel que le nombre d'emplois créés, la situation vis-à-vis des sous-traitants et fournisseurs impliqués (en fonction du projet à réaliser d'autres données peuvent être envoyées) ;
- L'agent « Entreprise de Réalisation » doit s'assurer que toutes les factures émises par chaque entreprise de réalisation parviennent aux entités projets relatives, à travers

l'envoi de ces dernières à l'agent « Projet ». Le paiement de l'entreprise de réalisation après approbation des factures envoyées pour les travaux réalisés, se fait à travers l'intermédiaire agent « Banque », auquel il sera demandé de procéder à un transfert du montant de la facture, du compte projet au compte entreprise de réalisation, moyennant une indemnité couvrant les prestations bancaires, l'agent « Entreprise de Réalisation » reçoit de la part de l'agent « Banque » une notification sur l'accomplissement de l'opération. L'agent « Entreprise de Réalisation » procède de la même façon avec l'agent « Fournisseur » ;

- Afin de pouvoir accomplir sa mission correctement, l'agent « Entreprise de Réalisation » devra faire appel à une ressource humaine qualifiée, cette requête sera adressée à l'agent « Emplois ».

### 5) L'agent « Fournisseur » :

**Rôles**→ Le rôle de l'agent « Fournisseur », comme son nom l'indique, consiste en la fourniture de produits finis, semi-finis et matière première, requis par l'agent « Entreprise de Réalisation » moyennant une rémunération. Plus en détail, les différents rôles de cet agent sont :

- Le passage en revue de la requête émise par l'agent « Entreprise de Réalisation », afin de déterminer la liste des fournisseurs habilités à répondre à cette requête ;
- Les fournisseurs concernés reçoivent la requête de l'entreprise de réalisation, pour évaluation de ce qui est demandé. Les outputs de cette évaluation pour chaque fournisseur potentiel, consistent en : la possibilité ou non de répondre à cette requête (selon les capacités restantes du fournisseur et l'importance de ce qui est demandé), le prix pour la fourniture demandée ainsi que le délai de livraison ;
- Après l'envoi des offres de tous les fournisseurs à l'entreprise de réalisation et sélection de la meilleure d'entre elles, le fournisseur sélectionné devra s'assurer que toutes les exigences de l'entreprise de réalisation, en termes de qualité, quantité et délais de livraison soient prises en charge (par la mobilisation de ressources et moyens de production adéquates à la charge de travail à accomplir) ;

**Objectifs**→ Les objectifs de l'agent « Fournisseur » peuvent être résumés à travers les points suivants :

- L'obtention d'un maximum de marché, jusqu'à l'utilisation optimale de toutes les ressources (chaque fournisseur aura une flexibilité connue quant à la majoration de sa productivité) ;
- L'exécution du marché dans le délai imposé et convenu avec le client (qui est l'entreprise de réalisation) ;
- L'exécution du marché sans dépasser les coûts estimés.

**Interactions inter-agents**→ L'agent « Fournisseur » interagit avec trois autres agents, à savoir, les agents « Entreprise de Réalisation », « Emplois » et « Banque ». Ces interactions peuvent être décrites comme suit :

- Après réception de la requête de la part de l'agent « Entreprise de Réalisation », l'agent « Fournisseur » sélectionne dans sa liste de fournisseurs potentiels, les fournisseurs proposant les fournitures demandées et transmet à l'agent « Entreprise de Réalisation » une acceptation de la requête avec la liste des fournisseurs pré-sélectionnés ;
- Suite à l'évaluation de la requête et la préparation des offres par chacun des fournisseurs, l'agent « Fournisseur » transmet à l'agent « Entreprise de Réalisation » les différentes offres pour évaluation ;
- L'agent « Fournisseur » reçoit l'identifiant du fournisseur sélectionné, et affecte à ce dernier le marché de fourniture en question ;
- Dès que le fournisseur est en mesure de livrer la marchandise (en une seule livraison, ou bien, un lot parmi un nombre prédéfini de lots) l'agent « Fournisseur » informe

l'agent « Entreprise de Réalisation » que la fourniture demandée, est prête pour la livraison ;

- A la réception de l'acceptation de la livraison par l'entreprise de réalisation, l'agent « Fournisseur » envoie la facture à l'agent « Entreprise de Réalisation » pour le paiement ;
- L'agent « Fournisseur » reçoit une notification de l'approbation de sa facture, le paiement se fait à travers l'intermédiaire agent « Banque » auquel il sera demandé de procéder à un transfert du montant de la facture du compte « Entreprise de Réalisation » au compte « Fournisseur », moyennant une indemnité couvrant les prestations bancaires, l'agent « Fournisseur » reçoit de la part de l'agent « Banque » une notification sur l'accomplissement de l'opération ;
- Afin de pouvoir accomplir sa mission correctement, l'agent « Fournisseur » devra faire appel à une ressource humaine qualifiée, cette requête sera adressée à l'agent « Emplois ».

### 6) L'agent « Emplois » :

**Rôles**→ Le rôle de l'agent « Emplois » est de fournir aux différents autres agents, les ressources humaines qualifiées requises par ces derniers. Pour l'accomplissement de ce rôle principal, il doit assurer un certain nombre de rôles intermédiaires, qu'on peut énumérer comme suit :

- Le premier rôle de l'agent « Emplois », consiste en l'enregistrement des nouvelles demandes d'emplois. Concrètement, il s'agit d'enregistrer le profil des nouveaux demandeurs d'emplois à travers leur spécialité (l'agent « Emplois » dispose d'une base de données regroupant les différentes spécialités recherchées par le secteur d'activité du BTPH), classes (définies ci-après), années d'expérience et plage de rémunération attendue. Plusieurs classes de demandeurs d'emplois existent, on peut les identifier comme suit : les demandeurs d'emplois qualifiés, avec une expérience importante (>5ans), les demandeurs d'emplois qualifiés, avec une première expérience (<5ans), les demandeurs d'emplois qualifiés sans expériences (la formation étant la seule qualification) ainsi que, les demandeurs d'emplois non qualifiés. Dans le cas où il n'y a pas assez d'offre locale pour la classe d'emplois qualifiés, il existe une source inépuisable de cette classe d'emplois, représenté par le marché international de l'emploi, ceci étant, cette source est affecté par un facteur de pénalité en terme de coût progressif (plus cette source d'emplois est sollicitée, plus son coût de revient est important) ;
- Après réception des requêtes de la part des autres agents, l'agent « Emplois » fait une analyse de chacune de ces dernières, pour identifier les besoins à travers les caractéristiques des profils recherchés ;
- Après identification des besoins exprimés par l'agent demandeur (autres agents), l'agent « Emplois » doit s'assurer de la prise en charge globale de la requête ;
- Grâce aux informations qui sont à sa disposition, l'agent « Emplois » calcule le nombre de création d'emplois, engendrée par l'exécution du programme présidentiel.

**Objectifs**→ L'agent « Emplois » n'a qu'un seul objectif qu'on peut formuler comme suit :

- Mettre à disposition des différents agents, en réponse à leurs requêtes, les ressources humaines indispensables à l'accomplissement de leurs missions respectives.

**Interactions inter-agents**→ L'agent « emplois » interagi avec tous les agents - intervenants dans le processus d'exécution du programme présidentiel - référencés précédemment. Ces interactions peuvent être décrites comme suit :

- Dès réception d'une requête émise par l'un des quatre agents, exprimant son besoin en termes de ressources humaines dans les différentes spécialités, l'agent « Emplois » envoie à l'agent en question une confirmation de la prise en charge de la requête ;

- Après l'analyse de la requête et identification des différents besoins, l'agent « Emplois » envoie à l'agent ayant exprimé un besoin, si tous les types d'emplois requis sont disponibles, une liste de tous ces emplois (les personnes ainsi affectées au demandeur, seront retirés de la liste des emplois disponibles au niveau de l'agent « Emplois ». Si l'agent « Emplois » n'a pas tous les profils (qualifiés et locales) à disposition, il envoie à l'agent demandeur une liste pour les emplois disponibles, et une demande d'action quant aux profils non disponibles (cette demande consiste en : est-ce que, pour chacun des profils non disponible, il sera remplacé par un emploi non qualifié, ou bien un emploi du marché international).
- A la fin de chaque année, l'agent « Emplois » envoie à l'agent « Etat » un état de l'évolution du marché de l'emploi (nombre de créations d'emplois engendrées par l'exécution du programme présidentiel).

### 7) L'agent « Banque » :

**Rôles**→ Le rôle principal de l'agent « Banque » est de canaliser toutes les circulations de flux monétaires, ce qui lui permet de suivre et de constater la création de la valeur ajoutée tout au long du processus. Les différents rôles que doit assumer l'agent « Banque » s'énoncent comme suit :

- Chaque agent du modèle, dispose au niveau de l'agent « Banque » d'un compte. Le rôle de l'agent « Banque » est de gérer la circulation des flux monétaires d'un compte à l'autre, en contrepartie d'une rémunération pour le service accompli (sous forme d'un pourcentage du montant de la transaction) ;
- La gestion de la circulation des flux monétaires, permet à l'agent banque de calculer la création de valeur ajoutée, tout au long du processus ;
- Grâce aux informations qui sont à sa disposition, l'agent « Banque » calcule la croissance relative du PIB engendrée par l'exécution du programme présidentiel.

**Objectifs**→ L'agent « Banque » n'a qu'un seul objectif, qu'on peut formuler comme suit :

- S'assurer que toutes les requêtes de transaction, exprimées par les différents agents, soit prises en charge.

**Interactions inter-agents**→ L'agent « Banque » interagi avec tous les agents intervenants dans le processus d'exécution du programme présidentiel. Ces interactions peuvent être décrites comme suit :

- Chaque année, l'agent « Banque » reçoit une demande de la part de l'agent « Etat » pour le déblocage d'un certain montant, équivalent au budget annuel, octroyé à la réalisation du programme présidentiel - partie BTPH - au profit de l'agent « Ministère ». En réponse à cette demande, l'agent « Banque » envoie une confirmation aux agents « Etat » et « Ministère » pour l'accomplissement de cette opération ;
- Suite à la création de chaque entité projet par l'agent « Projet », l'agent « Banque » reçoit une demande d'ouverture d'un compte pour ce dernier ;
- A chaque arrivé d'une échéance de paiement, l'agent « Banque » reçoit une demande de transfert monétaire, du compte du projet au compte de l'entreprise de réalisation, il envoie une notification aux deux agents « Projet » et « Entreprise de Réalisation » pour les informés de l'accomplissement de l'opération ;
- A chaque arrivé d'une échéance de paiement d'un fournisseur, l'agent « Banque » reçoit une demande de transfert monétaire, du compte de l'entreprise de réalisation au compte du fournisseur, il envoie une notification aux deux agents « Entreprise de Réalisation » et « Fournisseur » pour les informés de l'accomplissement de l'opération ;

- A la fin de chaque année, l'agent « Banque » envoie à l'agent « Etat » un état de l'évolution (croissance) du PIB engendrée par l'accomplissement du programme présidentiel et un état sur l'évolution de la valeur ajoutée durant la même période.

## 2. Les hypothèses du modèle

Les hypothèses de recherche représentent l'outil de recherche le plus important, elles répondent aux objectifs suivants :

- Elles fournissent une orientation à la recherche et évitent, ainsi, le gaspillage de temps et d'effort ;
- Elles fixent les limites du cadre de recherche ;
- Elles aident le chercheur à se focaliser sur l'aspect particulier du problème à traiter ;
- Elles agissent comme un cadre pour l'analyse et l'interprétation des données pour tirer les conclusions adéquates ;
- Elles suggèrent les aspects importants de la recherche, qui auront besoin de plus d'attention / une collecte de données plus vigoureuse...

Les hypothèses retenues pour la construction du modèle, peuvent être résumées comme suit (ces hypothèses peuvent être considérées comme des hypothèses méthodologiques, ainsi, en passant au volet opérationnel, il sera nécessaire de poser de nouvelles hypothèses, opérationnelles cette fois-ci) :

- On réduit l'économie nationale au secteur du BTPH, de plus, les seuls agents intervenants dans cette dernière, sont les agents recensés précédemment.
- Le budget global du programme présidentiel réservé au secteur du BTPH est connu à priori.
- Les carences de chacun des sous-secteurs du BTPH sont connues à priori. En effet, l'étude préliminaire sur la structure de ces derniers, lors du lancement du programme présidentiel (fin 2004 / début 2005), doit aboutir à une matrice des correspondances entre carences et différents projets à réaliser pour lever ces dernières, avec un facteur d'efficacité vis-à-vis de cette prise en charge des carences par chaque projet.  
Chaque carence est pondérée sur une échelle de 5 (de 5 : pour carence à prise en charge indispensable à 1 : pour carence à prise en charge facultative).  
Dans le but de nous permettre la reproduction du principe de l'équité territoriale, Les carences sont classées par région. Ainsi, une combinaison entre le poids des différentes carences par région, ainsi que l'efficacité des projets à réaliser, nous permet d'assurer cette équité régionale.  
Un modèle de cette matrice est donné par la figure IV.5.
- Les quatre ministères impliqués dans le secteur du BTPH, sont représentés par un seul agent. Dans le processus d'exécution du programme présidentiel, ces quatre ministères ont le même rôle, néanmoins, et pour avoir une répartition des investissements par sous-secteur, l'agent ministère, affecte chaque carence au sous-secteur concerné.
- En ce qui concerne les projets, un certain nombre d'informations qui y sont relatives, sont connues à priori. Elles sont regroupées dans un tableau (figure IV.6).
- La durée d'exécution du programme étant courte (5 ans), et le temps de « maturation » des entreprises de réalisation des projets importants (à noter que les projets à réaliser dans le cadre du programme présidentiel, étant des projets d'envergure assez importante) étant longue, la liste des entreprises de réalisation est donc connue à priori, avec un certain nombre d'information sur ces dernières.
- Il existe deux catégories d'entreprises de réalisation : les entreprises nationales et les entreprises internationales. Conformément à la règle de la préférence nationale (conformément à l'arrêté du 23 Rabie Ethani 1432 correspondant 28 mars 2011 relatif aux modalités d'application de la marge de préférence aux produits d'origine algérienne et/ou aux entreprises de droit algérien), les entreprises nationales bénéficient d'une marge de 25% par rapport aux entreprises internationales.  
Dans le cadre de ce travail, on ne fait pas de distinction entre les entreprises étatiques et privées, même si, nous avons vu dans le chapitre III de ce travail de recherche, que selon

l'un des deux cas, certains objectifs ont différé dans le passé. L'entreprise étatique a aujourd'hui, tendance à rejoindre les mêmes objectifs que ceux de l'entreprise privée.

	Sous-secteurs	Regions	Carences	Poids	Projets Potentiels	Emplois pour Réalisation	Emplois après Réalisation	Facteur d'efficacité (Max 1)	
BTPH	Transports et Travaux Publics	R1	TPC1	PTPC1	TPC1P1	TPC1P1EPR	TPC1P1EAR	TPC1P1F1	
					TPC1P2	TPC1P2EPR	TPC1P2EAR	TPC1P2F2	
					TPC1P3	TPC1P3EPR	TPC1P3EAR	TPC1P3F3	
			TPC2	PTPC2	TPC2P1	TPC2P1EPR	TPC2P1EAR	TPC2P1F1	
					TPC2P2	TPC2P2EPR	TPC2P2EAR	TPC2P2F2	
					TPC2P3	TPC2P3EPR	TPC2P3EAR	TPC2P3F3	
		R2	TPC3	PTPC3	TPC3P1	TPC3P1EPR	TPC3P1EAR	TPC3P1F1	
					TPC3P2	TPC3P2EPR	TPC3P2EAR	TPC3P2F2	
					-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	-
		Rm	TPCn	PTPCn	-	-	-	-	-
		Habitat et Infrastructures Publiques	R1	BC1	PBC1	BC1P1	BC1P1EPR	BC1P1EAR	BC1P1F1
	BC1P2					BC1P2EPR	BC1P2EAR	BC1P2F2	
	BC2P1					BC2P1EPR	BC2P1EAR	BC2P1F1	
	R2			BC3	PBC3	BC3P1	BC3P1EPR	BC3P1EAR	BC3P1F1
						BC3P2	BC3P2EPR	BC3P2EAR	BC3P2F2
						BC3P3	BC3P3EPR	BC3P3EAR	BC3P3F3
	-		-	-	-	-	-	-	-
	-		-	-	-	-	-	-	-
	Rm		BCn	PBCn	-	-	-	-	-
	Hydraulique		R1	HC1	PHC1	HC1P1	HC1P1EPR	HC1P1EAR	HC1P1F1
		HC1P2				HC1P2EPR	HC1P2EAR	HC1P2F2	
		HC2P1				HC2P1EPR	HC2P1EAR	HC2P1F1	
		HC3		PHC3	HC3P1	HC3P1EPR	HC3P1EAR	HC3P1F1	
					HC3P2	HC3P2EPR	HC3P2EAR	HC3P2F2	
					HC3P3	HC3P3EPR	HC3P3EAR	HC3P3F3	
		-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-
Rm		HCn	PHCn	-	-	-	-	-	

Notes :

- Rm : Un découpage territorial de l'Algérie est réalisé (par wilaya, donc m = 48), afin d'assurer l'équité dans la prise en charge des carences par région.
- Les carences sont identifiées par région.
- Les poids sont affectés sur une échelle de 3, correspondant au niveau de criticité de la carence : (3) Critique, (2) Importante, (1) facultative.
- Les projets sont identifiés par carence.
- Le nombre d'emplois engendré par la réalisation du projet est estimé pour chaque projet.
- Le nombre d'emplois après la réalisation du projet représente le nombre d'emplois généré suite à la finalisation du projet.
- Le facteur d'efficacité indique la capacité d'un projet à prendre en charge la carence pour laquelle il doit être réalisé.

Figure IV.5 : Matrice des correspondances Sous-secteurs / Carences / Projets

Projets	Envergure du Projet			Structure du Projet			Prix Estimatif	Délai de Réalisation Estimatif	Ressources Humaines Requises															Ressources Matérielles Requises													
	Mégaprojet	Grand Projet	Projet Moyen	Petit Projet	Etudes	Approvisionnement			Réalisation	Management			Ingénieur Généraliste			Ingénieur Spécialisé			Licencié Généraliste			Licencié Spécialisé			Ressources d'exécution			Ressources Génériques			Ressources non Qualifiées						
										Phase Etudes	Phase Approvisionnement	Phase Réalisation	Phase Etudes	Phase Approvisionnement	Phase Réalisation	Phase Etudes	Phase Approvisionnement	Phase Réalisation	Phase Etudes	Phase Approvisionnement	Phase Réalisation	Phase Etudes	Phase Approvisionnement	Phase Réalisation	Phase Etudes	Phase Approvisionnement	Phase Réalisation	Phase Etudes	Phase Approvisionnement	Phase Réalisation	Phase Etudes	Phase Approvisionnement	Phase Réalisation	Industrie Lourde	Industrie Moyenne	Petite Industrie	Matière Première (Activité Extractive)
TPC1P1	x				XX%	YY%	ZZ%	xxxx \$	xx Mois	n11	n12	n13	n21	n22	n23	n31	n32	n33	n41	n42	n43	n51	n52	n53	n61	n62	n63	n71	n72	n73	n81	n82	n83	q1	q2	q3	q4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Notes :

- XX%, YY%, ZZ% : Pourcentages représentant l'importance des parties : Etudes / Approvisionnement / Réalisation, dans la structure du projet.
- XX%+YY%+ZZ%=100%
- ni : Nombre de personnes de la spécialité i, nécessaires pour l'exécution du projet en question (pour chaque phase).
- qi : Taux de la ressource i, par rapport à toutes les ressources matérielles requises par le projet (représentées dans la structure du projet par YY%).
- q1+q2+q3+q4=YY%

Figure IV.6 : Caractéristiques préliminaires des projets

Selon le savoir-faire de l'entreprise, la structure du projet (part de la partie études, approvisionnement et construction) et le délai de réalisation de ce dernier, nous calculons le délai nécessaire auxancements des commandes (à 50% d'avancement de la partie études, les commandes pour les produits de l'industrie lourde sont lancées. A 60% d'avancement de la partie études, les commandes pour les produits de l'industrie moyenne sont lancées. A 70% d'avancement de la partie études, les commandes pour les produits de la petite industrie sont lancées. A 80% d'avancement de la partie études, les commandes pour la matière première sont lancées).

La liste des entreprises de réalisation se présente comme montré sur la figure IV.7.

Entreprise de Réalisation	Secteur d'Activité			Capacité de Réalisation de l'Entreprise			Savoir Faire de l'Entreprise			Efficacité Estimative - Coût	Efficacité Estimative - Délai	Efficacité d'Utilisation - Ressources Humaines	Efficacité d'Utilisation - Ressources Matérielles				
	Batiment	Travaux Public	Hydraulique	Mégaprojet	Grand Projet	Projet Moyen	Petit Projet	Etudes	Approvisionnement				Réalisation	Industrie Lourde	Industrie Moyenne	Petite Industrie	Matière Première (Activité Extractive)
ER1	x	x			x	x	x	XX %	YY %	ZZ %	C	D	R	q1	q2	q3	q4
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

**Notes :**

- XX%, YY%, ZZ% : Capacité de prise en charge de l'une des trois parties constitutives du projet : Etudes / Approvisionnement / Réalisation.
- (XX%,YY%,ZZ%)<=100% : Si la valeur est inférieure à 100%, cela impactera inversement le coût nécessaire à l'exécution de la phase en question.
- C : L'efficacité dans l'estimation du coût du projet dépend de l'expérience de l'entreprise dans la réalisation des projets. L'efficacité optimale est égale à 1.
- D : L'efficacité dans l'estimation du délai du projet dépend de l'expérience de l'entreprise dans la réalisation des projets. L'efficacité optimale est égale à 1.
- R : Ce facteur indique avec quelle efficacité l'entreprise en question, utilise ces ressources humaines, i.e. selon ce facteur, l'entreprise pourrait avoir besoin de plus de ressources humaines ou moins.
- qi : Ce facteur indique avec quelle efficacité l'entreprise consomme les différentes ressources matérielles.

Figure IV.7 : Liste des entreprises de réalisation

- Il existe trois grandes classes de fournisseurs : producteurs de « consommations intermédiaires », fournisseurs de « matière première » (C4) et fournisseurs externes. En ce qui concerne la première classe de fournisseurs, il existe trois catégories de producteurs de « consommations intermédiaires », à savoir : l'industrie lourde (C1 : tel que les grands équipements mécaniques et autres), l'industrie moyenne (C2 : tel que la tuyauterie et autres) et enfin, la petite industrie (C3 : tel que les différents consommables). Une liste initiale des fournisseurs est disponible a priori, ceci étant, elle est appelée à s'enrichir au fur et à mesure de l'exécution du programme. En effet, en ce qui concerne les fournisseurs de matière première ainsi que les producteurs de type petite industrie, le temps de développement de ces dernières est assez faible (moins d'une année après l'expression d'une carence dans ce secteur), pour les producteurs de l'industrie moyenne, ils ne peuvent se développer qu'à moyen terme (plus de deux ans suite à l'apparition d'une carence dans ce secteur).

Selon la classe / catégorie de fournisseur, on distingue plusieurs modes de facturation :

C1 et C2 : Facturation par palier, 20% lors du lancement de la commande, 70% à la fin de la fabrication (si la livraison se fait par lot, les 70% seront équidistribués en fonction de la taille des lots) et 10%, 3 mois après la livraison du matériel (période nécessaire à la finalisation de la documentation relative au produit).

C3 et C4 : Facturation par palier, 10% lors du lancement de la commande et le reste (90%) à la livraison (si la livraison se fait par lot, les 90% seront équidistribués en fonction de la taille des lots).

En ce qui concerne l'industrie lourde la durée d'exécution du programme présidentiel n'est pas suffisante à leur développement (en raison de l'importance de l'investissement de départ et du savoir-faire nécessaire). La liste des fournisseurs se présente comme suit (figure IV.8) :

Fournisseurs	Capacité de Production	Flexibilité de la Production (Synergie)	Réactivité à la Demande	Coût Unitaire	Prix Unitaire	Indice de Productivité de la Valeur Ajoutée	Délai de Livraison	Indice de performance du Fournisseur	Ressources Humaines Requises (Rapportées à l'Unité de Production)											
									Management	Ingénieur Généraliste	Ingénieur Spécialisé	Licencié Généraliste	Licencié Spécialisé	Ressources d'exécution	Ressources Génériques	Ressources non Qualifiées				
<b>Industrie Lourde</b>																				
FIL1	CPFIL1	SFIL1	RDFIL1	CUFIL1	PUFIL1	VAFIL1	DLFIL1	IPFFIL1	nil1	nil2	nil3	nil4	nil5	nil6	nil7	nil8				
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.				
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.				
<b>Industrie Moyenne</b>																				
FIM1	CPFIM1	SFIM1	RDFIM1	CUFIM1	PUFIM1	VAFIM1	DMFIM1	IPFFIM1	nim1	nim2	nim3	nim4	nim5	nim6	nim7	nim8				
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.				
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.				
<b>Petite Industrie</b>																				
FPI1	CPFPI1	SFPI1	RDFPI1	CUFPI1	PUFPI1	VAFPI1	DMFPI1	IPFFPI1	npi1	npi2	npi3	npi4	npi5	npi6	npi7	npi8				
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.				
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.				
<b>Matière Première (Activité Extractive)</b>																				
FMP1	CPFMP1	SFMP1	RDFMP1	CUFMP1	PUFMP1	VAFMP1	DMFMP1	IPFFMP1	nmp1	nmp2	nmp3	nmp4	nmp5	nmp6	nmp7	nmp8				
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.				
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.				

**Notes :**

- Capacité de Production : il s'agit de la capacité de production du fournisseur en produit requis.
- Flexibilité de la Production (Synergie) : il s'agit de la capacité du fournisseur à augmenter sa production temporairement pour faire face à une demande exceptionnelle.
- Réactivité à la Demande : il s'agit du temps nécessaire au fournisseur pour mettre en place les moyens nécessaires à la prise en charge de la commande.
- Coût Unitaire : il s'agit du coût unitaire du produit du fournisseur.
- Prix Unitaire : il s'agit du prix auquel est cédé le produit à l'entreprise de réalisation.
- Indice de Productivité de la Valeur Ajoutée : il s'agit de la valeur ajoutée moyenne du fournisseur rapportée à l'unité de produit vendu.
- Délai de Livraison : il s'agit du délai de livraison du fournisseur hors temps de fabrication.
- Indice de performance du Fournisseur : il s'agit de la capacité du fournisseur à répondre à la demande des entreprises de réalisation, en respectant les exigences de départ, en termes de : Coût, Délai et Qualité.

Figure IV.8 : Liste des fournisseurs

- Les emplois disponibles sur le marché sont connus a priori, ainsi que, les facteurs d'évolution de chaque classe d'emploi. En effet, à chaque période, le marché de l'emploi est approvisionné en nouveaux demandeurs d'emplois. Lors de la fin d'exécution de chaque projet, les emplois qui ont été prélevés sur le marché de l'emploi, retournent vers ce dernier. Le marché de l'emploi répond aux requêtes non satisfaites par le marché local, en faisant appel au marché international avec un facteur progressif du coût de cette ressource. L'aspect d'emploi pour le compte d'entreprises étatiques ou privées n'est pas pris en charge. Nous avons vu dans le chapitre III de ce travail de recherche, que selon l'un de ces deux cas d'emplois, dans le secteur du BTPH, les objectifs changent. Néanmoins, comme le secteur public formalise ces objectifs pour coller à un objectif plus économique (que social), la variation entre ces deux catégories d'emplois a tendance à diminuer. Les besoins en ressources humaines supplémentaires, par les ministères, dans le cadre du programme présidentiel, ne sont pas considérés. On considère que ce nombre est minime par rapport aux besoins que va requérir la réalisation de tous les projets. La liste des emplois disponibles se présente sous la forme du tableau de la figure IV.9.
- Toutes les transactions financières passent par l'agent « Banque ». Ceci nous permet de suivre l'évolution de création de la valeur ajoutée, ainsi que l'impact de l'exécution du programme présidentiel sur la croissance du PIB. Le processus de transferts financiers à travers l'agent Banque, d'un agent à un autre, nécessite deux mois, après réception de la demande de paiement. Le cumul des flux financiers gérés par l'agent « Banque » est équivalent au budget global alloué par le programme présidentiel.

Classes d'Emplois	Nombre d'Emplois Disponibles à T0	Période de Renouvellement	Taux de Renouvellement
Management	-	-	-
Ingénieur Généralisate	-	-	-
Ingénieur Spécialisé	-	-	-
Licencié Généralisate	-	-	-
Licencié Spécialisé	-	-	-
Ressources d'exécution	-	-	-
Ressources Génériques	-	-	-
Ressources non Qualifiées	-	-	-

**Notes :**

- Nombre d'Emplois Disponibles à T0 : il s'agit du nombre d'emplois disponibles lors du lancement du programme présidentiel pour chaque classe d'emplois.
- Période de Renouvellement : il s'agit de la période nécessaire pour constater le "Réapprovisionnement" en nouvelles ressources pour la classe d'emplois considérés.
- Taux de Renouvellement : il s'agit du nombre d'emplois constatés à chaque période de renouvellement.

Figure IV.9 : Liste des emplois

- On raison de l'environnement perturbé qui caractérise la réalisation des projets, il est nécessaire d'introduire des facteurs de perturbation, sur les différentes variables caractérisant les agents décrits précédemment. Ces derniers, sont caractérisés par une amplitude et une fréquence d'occurrence, ainsi, une matrice de (3 x 3) représente les différentes situations possibles (figure IV.10) :

Perturbation \ Fréquence	Amplitude	Importante	Moyenne	Faible
Fréquente		3-3	2-3	1-3
Moyennement Fréquente		3-2	2-2	1-2
Peu Fréquente		3-1	2-1	1-1

Figure IV.10 : Matrice des perturbations

Les deux caractéristiques des perturbations se conjuguent comme suit :

- L'amplitude : représente l'importance de l'écart ;
- La fréquence : représente la fréquence d'occurrence de la perturbation sur une même variable.

### 3. Définition des règles de priorités arrêtées

Les règles de priorités nous permettent de modéliser les prises de décision inter-agents. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, chaque agent dispose d'un certain nombre d'objectifs qui lui sont propres, néanmoins, ces derniers ne sont pas toujours compatibles entres eux, voir même, dans certains cas, sont contradictoires. Donc, ces règles de priorités, doivent nous permettre de dépasser les éventuels conflits, qui peuvent survenir dans le cadre des échanges inter-agents.

Les prises de décisions conflictuelles doivent conduire à l'atteinte des objectifs suivants :

- Maximiser le nombre de carences levées ;
- Maximiser la somme des poids des carences levées par région et global ;
- Maximiser le nombre de projets à réaliser ;
- Minimiser les coûts ;
- Maximiser le facteur d'efficacité.

#### IV. Déroulement du Processus au cours d'une période

Le programme présidentiel est exécuté sur une période de 5 ans, soit, 60 mois. On définit une période (i.e. l'unité de temps minimale) du processus d'exécution de ce programme par un (1) mois. Afin d'explicitier le déroulement de ce processus à travers le modèle que nous proposons, dans cette section, nous allons dérouler ce processus sur une période, en plus des étapes nécessaires à l'initialisation du modèle.

L'initialisation du modèle à l'instant  $T=0$ , ce fait à travers l'exécution des cinq points suivants :

- La part du budget du programme présidentiel, réservée au secteur du BTPH, est arrêtée à  $T=0$ , sur la base d'une décision politique. Donc, ce dernier est connu a priori et ne dépend pas de la conception du modèle ;
- La liste des carences de chacun des sous-secteurs est donnée à  $T=0$ . En effet, chaque ministère (pour chacun des quatre sous-secteurs) a recensé au fil des années, un certain nombre de carences qu'il a caractérisées par le biais d'un ensemble d'informations, données par la liste tel que présenté par la figure IV.5 ;
- La liste des entreprises de réalisation prétendantes à l'exécution des projets dans le cadre du programme présidentiel est connue a priori, cette liste est donnée sous la forme de la figure IV.7 ;
- La liste initiale des fournisseurs existants sur le marché à l'instant  $T=0$ , est donnée sous la forme de la figure IV.8. Cette liste est appelé à s'enrichir, au fur et à mesure du déroulement du processus, suivant un processus prédéfini ;
- La liste initiale des emplois disponibles à l'instant  $T=0$ , est donnée sous la forme de la figure IV.9. Cette liste est appelé à s'enrichir, au fur et à mesure du déroulement du processus, suivant un schéma prédéfini.

Nous distinguons vingt-deux étapes principales au cours d'une période  $T$  :

- 1) Etape 1 : Si  $T=1/13/25/37/49$ , demande de la liste des carences identifiées par l'agent « Etat » à l'agent « Ministère » ;
- 2) Etape 2 : Si  $T=1/13/25/37/49$ , exécution du script d'analyse des carences par l'agent « Etat », pour la sélection des carences qui seront prises en charge lors de l'exercice annuel actuel, et sélection des projets à réaliser dans ce cadre. Cette analyse ainsi que la sélection des projets se fait sur la base des règles de priorités définies précédemment ainsi que la limite du budget annuel (le 5ème du budget global réservé au secteur du BTPH dans le cadre du programme présidentiel) ;
- 3) Etape 3 : Envoi par l'agent « Etat » de la liste des projets à réaliser à l'agent « Ministère » ;
- 4) Etape 4 : Envoi par l'agent « Ministère » à l'agent « Projet », la liste des projets à réaliser et demande de création d'entités représentatives de chacun des projets à son niveau ;
- 5) Etape 5 : L'agent « Projet » enregistre la demande au titre de l'exercice en cours, envoi les identifiants de chaque projet à l'agent « Ministère » et lance des appels d'offre pour la réalisation des projets sélectionnés, à travers l'envoi d'une requête à l'agent « Entreprise de Réalisation » ;
- 6) Etape 6 : Pour chaque projet, l'agent « Entreprises de Réalisation » sélectionne dans sa liste, les entreprises de réalisation qui sont habilitées à exécuter ce type de projet (en fonction des caractéristiques de ce dernier) ;
- 7) Etape 7 : En fonction des caractéristiques du projet et de l'entreprise de réalisation, chacune de ces dernières, aboutit à une évaluation économique du projet, ainsi qu'un délai pour sa réalisation ;
- 8) Etape 8 : Les résultats de l'appel d'offre, pour chaque projet, sont envoyés par l'agent « Entreprises de Réalisation » à l'agent « Projet » pour la sélection de la meilleure offre, pour la réalisation de ce dernier ;
- 9) Etape 9 : Suite à l'analyse des offres reçues pour chaque projet, chaque entité

- représentative d'un projet, transmet à l'agent « Entreprise de Réalisation » l'identifiant de l'entreprise de réalisation retenue pour l'exécution du projet ;
- 10) Etape 10 : L'agent « Entreprise de Réalisation » affecte à chaque entreprise de réalisation retenu, le projet qui l'a sélectionné ;
- 11) Etape 11 : Chaque entreprise de réalisation ayant eu un projet à l'instant T, fait une analyse prévisionnelle de l'approche d'exécution du projet, à travers la planification de la réalisation des travaux d'études, d'approvisionnement et de construction, ainsi que la planification des besoins en ressources humaines pour chaque phase. Ces informations sont enregistrées dans un tableau, qui sera appelé à être mis à jour à chaque période. De plus, comme un projet est une combinaison complexe d'interactions multiples, entre les différents intervenants, et comme il a une date de début et une date de fin, et est appelé à évoluer dans le temps, il arrive, très souvent, que ce dernier dévie de sa planification initiale. Donc il s'agit, à travers la mise à jour périodique, d'actualiser l'état d'avancement du projet et d'actualiser les déviations éventuelles ;
- 12) Etape 12 : Si, selon le plan d'exécution du projet établi, le projet requiert pour la période actuelle des ressources humaines, l'agent « Entreprise de Réalisation » transmet une requête à l'agent « Emplois » ;
- 13) Etape 13 : Si selon le plan d'exécution du projet établi, le projet requiert pour la période actuelle des ressources matérielles, l'agent « Entreprise de Réalisation » transmet une requête à l'agent « Fournisseur », à travers un appel d'offre ;
- 14) Etape 14 : L'agent « Fournisseur » sélectionne les fournisseurs disposant de la marchandise requise et leur demande de proposer leur meilleure offre pour la fourniture demandée ;
- 15) Etape 15 : L'agent « Fournisseur » transmet à l'entreprise de réalisation initiatrice de la demande de matériels, les différentes offres (avec coût et délai de livraison) ;
- 16) Etape 16 : L'entreprise de réalisation procède à la sélection de la meilleure offre (en terme de coût et de délai de livraison) puis envoie l'identifiant du fournisseur retenu, à l'agent « Fournisseur » ;
- 17) Etape 17 : Chaque fournisseur ayant reçu une commande, établit un plan de production (délai de fabrication / livraison et planning de la facturation). Il procède ainsi, lors de la période de réception de la commande, à la facturation de la première tranche et au lancement de la production avec un délai de fabrication équivalent au délai de livraison de ce fournisseur. De plus, l'agent « Fournisseur » transmet à l'agent « Emploi » une requête concernant le personnel nécessaire, à la prise en charge de la commande. A chaque période le fournisseur procède à la mise à jour des informations relatives à la commande (état d'avancement de la commande, mise à jour de la facturation et du reste à faire) ;
- 18) Etape 18 : Si un jalon de facturation a été atteint durant cette période, l'agent « Entreprise de Réalisation » envoie à l'agent « Projet » la facture à approuver pour paiement ;
- 19) Etape 19 : Si une demande de paiement a été approuvée deux périodes antérieures à la période actuelle (à T-2), l'agent « Banque » procède à un transfert du montant sujet de la facture, du compte du projet au compte de l'entreprise de réalisation ;
- 20) Etape 20 : Chaque fournisseur envoie, à travers l'agent « Fournisseur », la situation des commandes en cours à l'agent « Entreprises de Réalisation » ;
- 21) Etape 21 : Chaque entreprise de réalisation envoie, à travers l'agent « Entreprise de Réalisation », la situation des projets en cours à l'agent « Projet » ;
- 22) Etape 22 : L'agent « Projet » consolide les informations reçues, par sous-secteur, et envoie le résultat à l'agent « Ministère ».

Comme il s'agit, dans le cadre de ce travail de recherche, de montrer la faisabilité d'une modélisation multi-agents à travers la proposition d'une approche méthodologique, ainsi que, le déroulement de cette dernière sur une période, nous allons présenter les étapes de négociations inter-

agents, qui auront à régler l'un des conflits appartenant à l'une des cinq familles de conflits possibles suivant :

- Il n'y a pas d'entreprise de réalisation habilitée à exécuter le projet selon les exigences de l'agent « Etat » (i.e. l'efficacité attendue par l'agent « Etat » quant à la prise en charge de la carence, n'est pas réalisable) ;
- Aucune offre ne répond aux exigences projets en terme de coûts et / ou délais d'exécution ;
- Il n'y a pas assez de ressources matérielles et / ou humaines ;
- On a un dépassement de budget prévisionnel, ou bien, actuel après mise à jour ;
- On a un retard dans l'exécution d'un projet ou dans la livraison des commandes projet.

Les étapes de négociations inter-agents se présentent comme suit (ce sont des étapes génériques qui reprennent le protocole de négociation) :

**Note :** il ne s'agit pas dans ce travail de répondre à un problème opérationnel, mais plutôt de montrer qu'on a les outils méthodologiques nécessaires à son exécution.

- Dans le cas où il n'est pas possible de satisfaire une requête :

- 1) Etape NR' L'agent ayant reçu une requête, transmet à l'agent émetteur, l'impossibilité de satisfaire cette requête, en l'état. Il peut s'agir de :
  - La non disponibilité d'entreprise de réalisation, habilitée à prendre en charge le projet suivant les exigences demandées ;
  - Les ressources matérielles disponibles sur le marché national, ne sont pas suffisantes ;
  - Les ressources humaines nationales ne sont pas suffisantes pour répondre à la demande ;
  - Suivant le plan initial et les dispositions prises par l'entreprise de réalisation ou un fournisseur, les délais et / ou coûts ne peuvent être respectés.
- 2) Etape NR'' Selon les cas, on recense trois réactions possibles de l'agent émetteur de la requête non satisfaite, à savoir :
  - Cas 1 : Annulation de la requête  
Dans le cas où il n'y a pas d'entreprise de réalisation disponible durant la période T, le projet est ajourné et une nouvelle analyse est faite sur les autres projets, pour la prise en charge de la même carence, voire, si cela n'est pas possible, sur les autres carences. En effet, cela dans le but de sélectionner un autre projet pour la prise en charge d'une autre carence, voire plusieurs autres carences (dont la prise en charge totale est moins importante que la prise en charge de la première carence sélectionnée).
  - Cas 2 : Demande d'une solution alternative « ouverte » (i.e. c'est à l'agent récepteur de proposer une solution)  
Dans le cas où les ressources matérielles sur le marché national ne sont pas suffisantes, l'agent « Entreprise de Réalisation » demande à l'agent « Fournisseur » de proposer une offre alternative (satisfaite par une synergie des fournisseurs nationaux, par le marché international voir, une combinaison entre l'offre du marché national et international...).
  - Cas 3 : Redéfinition de la demande avec de nouvelles exigences (moins contraignantes)  
Dans le cas où il n'y a pas d'entreprise de réalisation, habilitée à prendre en charge le projet, suivant les exigences demandées, l'agent « Ministère » dispose des prérogatives nécessaires pour changer les exigences projet (jusqu'à un certain degré, ce qui a un impact sur l'efficacité du projet quant à la prise en charge de la carence).

Dans le cas où il n'y a pas de ressources humaines nationales qualifiées, en nombre suffisant, l'agent demandeur redéfinit sa demande, pour requérir une expertise internationale couplée à des ressources nationales non qualifiées pour l'accomplissement du travail.

- 3) Etape NR''' Selon chacun des trois cas précédents, l'agent récepteur adopte une réaction spécifique :
- Cas 1 : Dans le cas de l'annulation de la requête, l'agent n'a aucune action à accomplir.
  - Cas 2 : Dans le cas de la demande d'une solution alternative, l'agent récepteur envoie à l'agent demandeur, une proposition alternative, satisfaisant une partie ou la globalité de la demande de ce dernier, avec certains arrangements, qui seront notifiés dans l'offre.
  - Cas 3 : Dans le cas d'une reformulation de la demande, l'agent récepteur répète les mêmes étapes d'analyse de la demande, pour aboutir à de nouvelles conclusions suivant les nouvelles données.

➤ Dans le cas où une requête n'a pas été exécutée conformément aux exigences de l'initiateur de la requête

- 1) Etape PR' Dans le cadre du rapport d'information mensuel (rapport de synthèse de l'état d'avancement des projets / du projet / de la commande, de l'évolution des différents indicateurs) envoyé par chaque agent en charge d'une activité à l'agent demandeur / initiateur de l'activité, il peut arriver que ces derniers, indiquent des dépassements dans les délais ou les coûts, une déviation de la trajectoire initiale au cours de l'exécution du projet / de la commande.
- 2) Etape PR'' L'agent initiateur de l'activité demande une explication sur la (les) déviation(s).
- 3) Etape PR''' L'agent ayant enregistré une déviation, transmet un second rapport, traduisant les causes de la déviation, ainsi que, l'impact de cette dernière.
- 4) Etape PR'''' Selon l'importance de la déviation, de ces causes et de son impact sur l'activité en général, l'agent initiateur de l'activité prend des dispositions différentes :
- Cas 1 : *Déviabilité récupérable sans dispositions supplémentaires*  
Un simple rappel au respect des dispositions contractuelles initiales.
  - Cas 2 : *Déviabilité récupérable moyennant des dispositions supplémentaires*
    - 1- La déviation est de la responsabilité totale de l'exécutant : L'agent initiateur demande la mobilisation de tous les efforts nécessaires, dans le but de respecter toutes les dispositions contractuelles initiales.
    - 2- La déviation est de la responsabilité totale ou partielle de l'agent initiateur : L'agent initiateur demande un plan de récupération, avec les actions nécessaires (mobilisation de plus de ressources humaines et matérielles) et le coût de ces dernières.
  - Cas 3 : *Déviabilité irrécupérable*
    - 1- La déviation est de la responsabilité totale de l'exécutant : L'agent initiateur demande la mobilisation de tous les efforts nécessaires, pour minimiser la déviation, et impose des pénalités progressives suivant l'importance de la déviation.

- 2- La déviation est de la responsabilité totale ou partielle de l'agent initiateur : L'agent initiateur demande un plan de minimisation de la déviation, avec les actions nécessaires (mobilisation de plus de ressources humaines et matérielles), le coût de ces dernières, ainsi que, le délai supplémentaire pour cela.
- 5) Etape PR'''''' Selon la requête de l'agent initiateur, l'agent récepteur s'emploie à l'exécution de cette requête, qui sera suivie d'un rapport sur l'action entreprise, pour validation et implémentation, à partir de la prochaine période.

### V. Conclusion

Nous avons vu dans le chapitre II, que la modélisation multi-agents, présente un certain nombre de spécificités, qui permettent d'aboutir à la construction d'un modèle opérationnel, robuste et flexible. La modélisation de ce type requiert, de bien caractériser le système à modéliser ainsi que, la pose des bonnes hypothèses, dans le but d'aboutir à la définition des bons agents avec les bons comportements.

Dans la première section de ce chapitre, nous avons caractérisé le secteur du BTPH en Algérie, ainsi que, présenter le programme d'investissement présidentiel. Ceci, nous a permis d'identifier les agents impliqués dans l'exécution du programme d'investissement présidentiel, pour le secteur du BTPH, mais aussi, de caractériser l'environnement dans sa globalité. En effet, le programme présidentiel a été instruit par l'état, dans le but de palier aux différentes carences des secteurs économiques et sociaux, le secteur du BTPH en fait partie. Ce secteur est à la charge de quatre ministères, chacun d'entre eux enregistrant une situation particulière (avec ces carences) à l'aube du lancement du programme d'investissement présidentiel, et cette situation prévalent, est ce qui engendre les projets à réaliser par ce programme. Cette première analyse nous a permis de montrer, que le programme d'investissement présidentiel, n'est pas soumis qu'aux lois du système économique, mais à une combinaison de ces dernières avec un interventionnisme étatique, piloté par l'atteinte d'un certain nombre d'objectifs sociaux, économiques et politiques. L'intervention récurrente de l'Etat sur les variables économiques, à travers les différentes formes de subvention, le levier des entreprises publiques (possibilité d'octroi de projet préférentiel à ces dernières), ainsi que, l'utilisation de financement à partir de la rente pétrolière, rendent les principes de la modélisation économique classiques obsolètes, d'où une première raison de faire appel à la modélisation multi-agents.

A partir de là, nous avons pu proposer un modèle multi-agents, traduisant la démarche d'exécution du programme présidentiel. En effet, à la différence des modèles économiques classiques, les modèles de types multi-agents ne requièrent pas une base théorique très fortes, mais une bonne connaissance du fonctionnement du système économique à modéliser (dans notre cas, c'est le programme d'investissement présidentiel pour le secteur du BTPH), ainsi qu'un ensemble de données statistiques sur les différents comportements des agents constitutifs du modèle proposé. En ce qui concerne ce travail de recherche, et des objectifs que nous nous sommes fixé, seule la modélisation conceptuelle du phénomène économique a été réalisée, ce qui nous permet d'appuyer les hypothèses avancées :

- Il est possible de proposer par le biais des outils des systèmes multi-agents, un modèle multi-agents descriptif d'un phénomène économique ;
- Il est plus « simple » d'aboutir à un modèle décrivant un phénomène économique, par une modélisation multi-agents, que par l'approche classique. En effet, comme nous l'avons vu dans les deux premiers chapitre, les modèles classiques reposent sur une procédure lourde, qui nécessite une base théorique puissante et de puissantes hypothèses ;
- Au vu des différents phénomènes « irrationnels (d'un point de vue économique) » et « spécifiques » à l'économie nationale, l'approche proposée a montré sa capacité à décrire ces derniers.

## **Conclusion Générale**

### **I. Introduction**

### **II. Contribution**

1. Première contribution : Nécessité d'une nouvelle approche de modélisation
2. Deuxième contribution : Intérêt de la modélisation multi-agents en économie
3. Troisième contribution : Intérêt de la modélisation multi-agents dans le cas de l'économie nationale

### **III. Perspectives**

1. Première perspective : Validation du modèle multi-agents, de l'investissement dans le cadre du programme présidentiel dans le secteur du BTPH
2. Deuxième perspective : Proposition d'un modèle macroéconomique multi-agents de l'économie nationale
3. Troisième perspective : Utilisation d'un modèle macroéconomique multi-agents de l'économie nationale, pour la proposition de politiques économiques alternatives plus performantes

### I. Introduction

Les résultats des politiques économiques adoptées par l'Algérie, jusqu'à aujourd'hui, ont tous contredits les résultats attendus de leurs mises en application. Y a-t-il eu des défaillances ? Certainement que oui, on peut dire que ces défaillances résultent de la combinaison entre deux facteurs majeurs :

- 1- Il est évident que les politiques, en elle-même, comportaient un certain nombre de carences, mais nous sommes tentés de dire, que le plus important n'est pas le fait d'avoir des carences, mais le fait de ne pas avoir pu les détecter, avant la mise en application de ces politiques d'où,
- 2- Le second facteur, et à notre sens, le plus important, l'incapacité des approches d'évaluation utilisées (à travers les modèles existants), à appréhender les politiques économiques et l'économie nationale dans sa globalité.

Ce travail de recherche vise la proposition d'une nouvelle approche de modélisation, pouvant prendre en charge les spécificités de l'économie nationale, avec plus d'efficacité. Il s'agit de l'approche multi-agents. Nous avons, ainsi, commencé par la mise en évidence de l'intérêt d'une modélisation multi-agents, dans le cas de la modélisation macroéconomique en général, et dans le cas de l'Algérie en particulier, ce qui nous a permis dans un second temps, de dresser le cadre conceptuel et méthodologique d'une telle modélisation, pour finir avec un exemple sur une partie de l'économie nationale, pour montrer la faisabilité de ce qui a été avancé.

### II. Contribution

Comme nous l'avons énoncé, ce travail de recherche représente une première étape dans le cadre du développement d'un axe de recherche plus global qui consiste en : une modélisation multi-agents de l'économie nationale, avec deux objectifs principaux, dont le premier est l'évaluation de cette dernière et de son évolution future et le second, la possibilité d'évaluer des politiques alternatives. Nous avons énoncé qu'il est nécessaire de montrer l'adéquation de l'économie nationale avec une telle modélisation, ainsi que la mise en valeur d'une telle application.

#### 1. **Première contribution** : Nécessité d'une nouvelle approche de modélisation

Dans la première partie de ce travail, une étude approfondie de la bibliographie, nous a permis de suivre l'évolution de la modélisation macroéconomique, depuis son apparition à nos jours, tout en mettant en évidence, les raisons qui ont jalonné le passage d'une génération de modèles à une autre. En effet, initialement, la macroéconomie s'est proposée de dresser un cadre structuré, agrégeant la sphère économique à travers un certain nombre de grandeurs macroéconomiques, récapitulatives des différents comportements économiques, pouvant être observé. La macroéconomie a bien évolué suite à cela pour aboutir à des modèles de plus en plus sophistiqués, dont les plus aboutis à l'heure actuelle, sont les modèles DSGE, néanmoins, nous avons montré que ces modèles, présentent un certain nombre de carences, plus ou moins importantes, et c'est la crise économique initiée en 2007, qui a précipité ce constat. Ainsi, une première liste de carence a été dressée et organisée en quatre grandes classes (les études sur ces défaillances étant toujours, en cours de développement).

Le processus d'amélioration continu, motivé par la levée des différentes limites identifiées, a abouti, entre autre, à la proposition d'une nouvelle approche de modélisation moyennant les systèmes multi-agents.

### 2. **Deuxième contribution** : Intérêt de la modélisation multi-agents en économie

Dans le but de consolider la proposition de l'approche multi-agents comme approche de modélisation économique, dans un second temps, nous avons montré les raisons qui ont poussé les économistes, à l'adoption d'une approche, initialement conçue pour prendre en charge les spécificités d'une certaine discipline (à savoir, l'IAD). En effet, dans la définition même des systèmes multi-agents, on retrouve les principes fondateurs de la discipline « économie », tel que : agents (économiques), interactions inter-agents (pour les échanges économiques), négociations (pour les négociations économiques), l'adaptabilité et l'évolution de l'environnement ainsi que, l'apprentissage... toutes ces notions sont des éléments communs, aux deux disciplines. Nous avons ainsi montré, que l'utilisation des systèmes multi-agent en économie, comporte plusieurs avantages, on peut citer :

- La représentation des phénomènes inter-temporels en économie ;
- La représentation des comportements hétérogènes ;
- La représentation d'un système continuellement évolutif, tout en évitant, la considération de l'équilibre ;
- La prise en considération des conséquences du choix stratégique sur les propriétés des ressources engagées par l'agent dans le processus concurrentiel ;
- L'étude de l'impact de l'apprentissage sur l'économie ;
- Le développement des simulations, dans le but d'étudier les processus économiques à travers des expérimentations contrôlées ;
- ...

Nous avons pu étudier l'engouement récent, pour cette nouvelle application, à travers deux exemples d'études, réalisées dernièrement et / ou en cours de développement. Ainsi, les premiers résultats, ont fait ressortir plus d'intérêt à l'application des systèmes multi-agents en économie que prévu, et nous n'en sommes qu'aux prémices de cette nouvelle pratique.

L'intérêt des systèmes multi-agents en économie, ne s'arrête pas à ce niveau-là, surtout, dans le cas de l'économie algérienne, d'où, notre troisième contribution, à travers ce travail de recherche.

### 3. **Troisième contribution** : Intérêt de la modélisation multi-agents dans le cas de l'économie nationale

Nous avons montré, dans les deux premières parties, le cheminement qui nous a conduit à la proposition de l'approche multi-agents comme approche de modélisation, pour le système économique nationale. Cette approche de modélisation est basée sur un ensemble d'hypothèses et d'exigences vis-à-vis du cas d'application, que l'économie nationale doit satisfaire, pour une application optimale et justifié d'une telle approche.

Nous avons caractérisé l'économie algérienne, à travers l'étude des différents secteurs, composant la sphère économique nationale (évolution passée, état actuel et spécificités), ce qui nous a permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

- L'économie nationale est fortement dominée par le secteur des hydrocarbures (près de 50% du PIB). A travers l'étude de ce secteur, nous avons montré que ce dernier, présentait deux particularités, difficilement appréhendable par les approches standards, à savoir : 1- les prix dans ce secteur sont soumis à un nombre de variables, qui font que ces derniers sont quasi-imprévisibles et aux variations dites « chaotiques », mais aussi, 2- les ressources primaires de ce secteur (pétrole et gaz) sont des ressources épuisables et dont les réserves du pays, sont difficilement déterminables.
- Le secteur agricole a perdu de son importance dans l'économie nationale, graduellement, au point où, le pays est passé de l'état d'agro-exportateur à celui de fortement dépendant de l'extérieur, pour son approvisionnement en produit alimentaire. Ce phénomène est bien

connu des pays rentiers exportateurs de produit énergétiques, il est appelé le « Syndrome hollandais » [Ham 10] ;

- Le secteur de l'industrie n'a jamais pu atteindre les objectifs qui lui ont été fixés, à savoir, devenir l'un des secteurs locomotives de l'économie nationale, et grand pourvoyeur de valeur ajoutée. Plusieurs politiques, aussi différentes les unes que les autres, ont été expérimentées sans grande réussite. Ces dernières années, une politique plus libérale, marquée par le désengagement quasi-total de l'Etat, a été engagée. Comme pour le secteur agricole, actuellement, le pays est fortement dépendant de l'extérieur, en ce qui concerne son approvisionnement en produits manufacturés et équipements industriels ;
- Le secteur du BTPH a été quasi-oublié durant près de quatre décennies, ce n'est que depuis le début des années 2000, qu'on enregistre une politique plus entreprenante dans ce secteur. Plus encore, en 2004, un programme d'investissement exceptionnel dans le cadre du programme présidentiel, lui a consacré plus de 50% des 4202 Milliards de DA prévu par ce programme ;
- Le marché de l'emploi ainsi que la structure et l'évolution du chômage, sont dépendant de l'état et de l'évolution des différents secteurs économiques. Nous avons montré que plus du quart des emplois était du ressort de l'informel, de plus, le chômage touche principalement la classe des jeunes, avec près de deux fois le taux de chômage moyen, dans une population constituée à 70% de personnes âgés de 25 ans et moins ;
- Les secteurs économiques sont partagés en deux ensembles, qui évoluent à des rythmes totalement différents, avec des objectifs, pour l'un purement capitaliste (représenté par le secteur privé, dont la performance est à déplorer), pour l'autre socioéconomique, avec une primauté à l'aspect social (représenté par le secteur public) ;
- Les secteurs économiques sont organisés de sorte à ce que le secteur des hydrocarbures, serve de pourvoyeur de financement, à injecter aux autres secteurs de l'économie, à travers des plans de soutiens ou de subventions diverses ;
- A l'échelle économique, les cinquante ans comptabilisés représentent un laps de temps très court, malgré cela, nous avons montré qu'il y a eu une grande variabilité, dans les orientations économiques entreprises, chose qui traduit la grande instabilité, à laquelle est soumise l'économie nationale.

Ces conclusions nous permettent d'appréhender les raisons de l'échec de l'évaluation de l'économie nationale, via les modèles classiques, qui sont très peux adapter à la prise en charge de ces variations et particularités. En effet, les modèles classiques requièrent des bases théoriques solides, des hypothèses fiables, ainsi qu'une caractérisation mathématique robuste des différents comportements observés dans l'économie nationale. Cela nécessite une étude approfondie de chacun des phénomènes économiques observés, et une bonne connaissance de la théorie économique, pour un résultat non assuré. Les éléments à notre disposition, ainsi que la connaissance limitée de l'économie nationale, au vu du peu d'études menées sur cette dernière (études dont la majorité, réalisées par des spécialistes étrangers, à la méconnaissance prouvée de la société algérienne et de ces spécificités), ne nous permettent pas de procéder par l'approche classique, de plus, nous avons montré que les spécificités de l'économie nationale s'adaptent très bien à une modélisation multi-agents, entre autre :

- Flexibilité et adaptabilité des systèmes multi-agents, quant à la prise en charge de phénomènes peu déterministes, tels que ceux auxquels est soumise l'économie nationale ;
- Possibilité de modélisation de phénomènes sociaux diverses, avec un faible apport théorique et une bonne connaissance pratique de ce dernier ;
- Possibilité d'enrichissement du modèle au fur et à mesure du développement de ce dernier et, selon les obstacles et difficultés rencontrés ;
- Evaluation par le biais de la simulation, et combiné aux spécificités des systèmes multi-agents à travers l'apprentissage, offrant ainsi la possibilité d'enrichir le modèle en continu et à chaque incrémentation ;
- ...

La modélisation multi-agents se heurte, principalement, à deux difficultés / obstacles et qui sont :

- Une difficulté conceptuelle, et de loin, la plus complexe des deux, puisqu'il s'agit de savoir, si nous avons assez d'éléments sur le phénomène étudié, pour pouvoir proposer un modèle agrégé traduisant ce dernier ;
- Une difficulté opérationnelle, qui consiste en la disponibilité des données statistiques sur le comportement des différentes composantes du modèle, pour pouvoir procéder à la simulation.

Nous avons montré dans le cadre de ce travail de recherche, que la première difficulté est surmontable, dans le cas de l'économie nationale. En effet, notre connaissance de l'économie nationale et de ces spécificités, nous permettent de proposer un modèle conceptuel traduisant le comportement de cette dernière, et pour appuyer cette affirmation, nous avons procédé à la proposition d'un modèle décrivant une partie de l'économie nationale, sur laquelle est appliqué un choc économique passé, qui est l'investissement massive dans le cadre du programme présidentiel exceptionnel de 2005-2009, dans le secteur du BTPH. Nous avons, ainsi, pu proposer un modèle décrivant ce phénomène économique et reprenant le fonctionnement d'une partie de l'économie nationale. Les phénomènes économiques étant reproductibles, et l'économie nationale répondant aux mêmes stimuli et par extrapolation, nous pouvons dire que l'économie nationale est adaptée à une modélisation multi-agents.

La seconde difficulté - opérationnelle - est, elle aussi, surmontable. En effet, les données statistiques de base sont disponibles au niveau de l'Office National des Statistiques « ONS », il est nécessaire de procéder à une analyse des données ainsi que, des études statistiques sur ces dernières, pour pouvoir caractériser mathématiquement, les différents comportements décrits par le modèle proposé.

### III. Perspectives

Ce travail de recherche représente une première étape dans le cadre d'un axe de recherche plus global, visant à démontrer, dans un premier temps, l'intérêt de faire appel à une modélisation multi-agents dans le cadre de la modélisation économique, et plus particulièrement, dans le cadre du modèle économique algérien, et dans un second temps, la proposition d'un modèle multi-agents traduisant le comportement des rouages macroéconomiques de l'économie nationale. Donc nous pouvons dire que les perspectives à l'issue de ce travail de recherche s'articulent autour des trois points suivants :

#### 1. **Première perspective** : Validation du modèle multi-agents, de l'investissement dans le cadre du programme présidentiel dans le secteur du BTPH

Dans le présent travail de recherche, nous nous sommes proposé de montrer la faisabilité d'une modélisation multi-agents, dans le cadre de l'économie nationale, sans pour autant passer au stade de l'expérimentation et la simulation pour validation du modèle. En effet, le but étant de proposer l'approche méthodologique pour la modélisation multi-agents dans le cadre de l'économie nationale, la validation opérationnelle du modèle illustratif proposé, n'est pas nécessaire, néanmoins, il serait intéressant dans le cadre d'un travail futur, de montrer l'opérabilité de ce modèle ainsi que de confronter les résultats obtenus à :

- Les résultats ayant été obtenus par la modélisation classique, dans le cadre d'une évaluation réalisée par les organismes publics en charge dans [Bou 07] ;
- Ainsi que, les résultats obtenus réellement sur le terrain, puisque le programme a été achevé en 2009.

Une fois le modèle validé, il serait intéressant de le paramétrer, pour évaluer le programme présidentiel qui l'a suivi (2010-2014).

### 2. **Deuxième perspective** : Proposition d'un modèle macroéconomique multi-agents de l'économie nationale

L'axe de recherche principal, dont découle ce travail de recherche, consiste en l'évaluation de l'économie nationale à travers une modélisation macroéconomique multi-agents. Dans le cadre du présent travail de recherche, nous avons montré l'intérêt d'une modélisation multi-agent, dans le cas de l'économie nationale. Ceci nous ouvre la voie, pour une tentative de modélisation macroéconomique multi-agents, dans le cas de cette économie. C'est, à notre sens, la suite logique de ce travail de recherche.

### 3. **Troisième perspective** : Utilisation d'un modèle macroéconomique multi-agents de l'économie nationale, pour la proposition de politiques économiques alternatives plus performantes

Nous avons montré dans le cadre du présent travail de recherche, que la modélisation multi-agents, combinée à la simulation, nous permet d'expérimenter une infinité de stratégies différentes, et grâce à des indicateurs de performance bien définies, nous pouvant :

- Evaluer la performance du modèle actuel ;
- Evaluer la performance du modèle économique actuel pour faire face aux éventuelles variations et différents chocs, auxquels est soumis tout système économique, d'où le troisième intérêt ;
- Evaluer les stratégies de prise en charge de ces éventualités ;
- Proposer et évaluer des politiques économiques alternatives ;
- Appuyer des prises de décisions politiques, dans le cadre de l'économie nationale avec des résultats prévisionnels robustes.

Cette perspective, quant au développement de cet axe de recherche, est sans aucun doute, la finalité la plus valorisante pour ce dernier.

---

## ***BIBLIOGRAPHIE***

---

*Ouvrages, thèses, mémoires et revues*

---

- [Bea 09]: Bean C., 2009, "The great moderation, the great panic and the great contraction", discours, Banque d'Angleterre, 25 août.
- [Ben 03]: Ben Said L., 2003, "Simulation Multi-Agents des Comportements des Consommateurs dans un Contexte Concurrentiel", Thèse de doctorat, Université Paris VI, Laboratoire d'Informatique.
- [Ber 95]: Bernanke B. et Gertler M., 1995, "Inside the Black Box: The Credit Channel of Monetary Policy Transmission", *Journal of Economic Perspectives*, vol.9 n°2, 27-48.
- [Ber 98]: Bernanke B., Gertler M. et Gilchrist S., 1998, "The financial accelerator in a quantitative business cycle framework", NBER working paper n°6455.
- [Bes 09]: Besley T., 2009, "Opening remarks for panel on the Macro-economy and quantitative easing", discours, Banque d'Angleterre, 2 juillet.
- [Bil 04]: Bils M. et Klenow P., 2004, "Some Evidence on the Importance of Sticky Prices", *Journal of Political Economy*, n°112, 947-985.
- [Bla 10]: Blanchard O., Dell'Ariccia G. et Mauro P., 2010, "Rethinking macroeconomic policy", IMF Staff Position Note, n° 10/03.
- [BM 07]: Différentes statistiques économiques publiées par la Banque Mondiale en 2007, disponible suivant le lien suivant : <http://www.banquemondiale.org/publications/>.
- [Bor 01]: De Bornier J.M., 2001, "Les modèles macroéconomiques", Synthèse de cours d'économie, université Paul Cézanne, Aix-Marseille III.
- [Bou 02]: Boujut J.F., Cavaillé J.B., Jeantet A., 2002, "Instrumentation de la coopération", *Coopération et connaissance dans les systèmes industriels*, pages 91-109. Editions Lavoisier - Hermes Science.
- [Bou 04]: Boudjemaa M., 2004, "Contribution à l'étude technico-économique du Plan National de Développement Agricole cas de la wilaya de Boumerdès", Mémoire d'ingénieur, El Harrach, Institut National Agronomique.
- [Bou 07]: Bouklia R., Benabdellah Y. et Zidouni H., 2007, "Les effets économiques de la mise en œuvre du programme présidentiel", Publication du Ministère des Participations et de la Promotion des Investissements.
- [Bru 99]: Bruun C., 1999, "Agent-based Keynesian economics: simulating a monetary production system bottom-up", Department of Economics, Politics and Public Administration, University Fibigerstraede 1, Danemark.
- [Bui 09]: Buitter W., 2009, "The unfortunate uselessness of most 'state of the art' academic monetary economics", Maverecon, 3 mars.
- [Cal 83]: Calvo G. 1983, "Staggered Prices in a Utility-Maximizing Framework", *Journal of Monetary Economics*, n°12, 383—398.

- [Cam 00]: Camalot J.P., 2000, "Aide à la décision et à la coopération en gestion du temps et des ressources", Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, Toulouse, France.
- [Can 09]: Canzian G., 2009, "Three Essays in Agent-Based Macroeconomics", PH.D. in Economics and Management, University of Trento, Italy.
- [Car 10]: Carré E., 2010, "Les Limites des Modèles DSGE Standards face à la Crise Financière", Université Paris XIII – CEPN.
- [Cha 08]: Chari V., Kehoe P. et McGrattan E., 2008, "New Keynesian models: not yet useful for policy analysis", NBER Working Paper n° 14313.
- [Chi 09]: Chinier A., 2009, "Les politiques industrielles de l'Algérie contemporaine, le développement en faillite des relations entre Etat et appareil de production dans une économie en développement", mémoire soutenu dans le cadre du séminaire « Économie nationale du Monde Arabe », Institut d'Etudes politiques de Lyon, Université de Lyon 2.
- [Chr 03]: Christiano L., Motto R. et Rostagno M., 2003, "The great depression and the Friedman-Schwartz hypothesis", *Journal of Money, Credit and Banking*, 35(6):1119-97.
- [Chr 05]: Christiano L.J., Eichenbaum M. et Evans C.L., 2005, "Nominal rigidities and the dynamic effects of a shock to monetary policy", *Journal of Political Economy*, n°113, p. 1-45.
- [Cos 99]: Cost R. S., Chen Y., Finin T., Labrou Y. et Peng Y., 1999, "Modeling Agent Conversations with Colored Petri Colored", Working Notes of the Workshop on Specifying Conversation Policies, Autonomous Agents' 99, Seattle, Washington.
- [Cur 09]: Curdia V. et Woodford M., 2009, "Credit Frictions and Optimal Monetary Policy", mimeo, août.
- [Daw 05]: Dawid H., 2005, "Handbook of Computational Economics Vol. 2 : Agent-Based Computational Economics", North-Holland, Handbooks in Economics Series.
- [Dib 09]: Dib A., 2009, "Banks, credit market frictions and business cycles", mimeo, 5 octobre.
- [Dhy 06]: Dhyne E., Álvarez L., Le Bihan H., Veronese G., Dias D., Hoffman J., Jonker N., Lünnemann P., Rumler F. et Vilmunen J., 2006, "Price changes in the Euro Area and the United States. Some facts from Individual Consumer Price Data", *Journal of Economic Perspectives*, n°20, 171- 192.
- [Dur 95]: Durfee E.H., 1995, "Distributed Artificial Intelligence", *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, M. Arbib (eds), MIT Press, pp. 232- 339.
- [Dur 97]: Durand R., 1997, "Management Stratégique des Ressources et performances des RMES", PhD thesis, Ecole des Hautes Etudes Commerciales, France.
- [Els 05]: Elsas R., 2005, "Empirical determinants of relationship lending", *Journal of Financial Intermediation*, vol. 14, 32-57.
- [Erc 00]: Erceg C., Henderson D. et Levin A., 2000, "Optimal Monetary Policy with staggered Wage and Price Contracts", *Journal of Monetary Economics*, n°46, 281-313.

- [Eva 08]: Evans C., 2008, "Challenges that the recent financial market turmoil places on our macroeconomic toolkit", Discours, Federal Reserve Bank of Chicago, 19 septembre.
- [Fat 08]: Fathallah M. et Massoud B., 2008, "Nervosité des marchés financiers et prix du pétrole", Maitrise en actuariat et finance, Institut des Hautes Etudes Commerciales de Sousse, Tunisie.
- [Fer 95]: Ferber J., 1995, "Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective", Informatique, Intelligence Artificielle. InterÉditions.
- [Fer 05]: Fernandez-Villaverde J. et Rubio-Ramirez J., 2005, "Estimating dynamic equilibrium economies: linear versus non linear likelihood", *Journal of Applied Econometrics*, 20(7):891-910.
- [Fer 09]: Fernandez-Villaverde J., 2009, "The econometrics of DSGE models", mimeo, University of Pennsylvania.
- [Fin 94]: Finin T., Fritzson R., McKay D., McEntire R., 1994, "KQML as an Agent Communication Language", *Proceedings of the Third International Conference on Information Management (CIKM'94)*, ACM Press.
- [Fip 97]: Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA), 1997, "FIPA 07 Specification part 2 - Agent Communication Language", disponible suivant le lien : [www.fipa.org](http://www.fipa.org).
- [Gas 87]: Gasser L., Braganza C. et Herman N., 1987, "MACE : A Flexible Testbed for Distributed AI Research", chapitre 5, pages 119–152. Pitman, San Francisco.
- [Gno 03]: Gnos C., 2003, "Circuit theory as an explanation of the complex real world", In Louis-Philip Rochon and Rossi S, editors, *Modern Theories of Money*, pages 322–338. Edward Elgar, Cheltenham UK, Northampton, USA.
- [Gol 55]: Goldberger A.S., Goldberger L.R. et Klein P., 1955, "An econometric model of the United States, 1929-1952, North Holland Pub", C°, p. 165.
- [Had 96]: Haddadi A. et Sundermeyer K., 1996, "Belief-Desire-Intention Agent Architectures", *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, Chap. 5, G.M.P. O'Hare et N.R. Jennings eds., J. Wiley and sons Inc., pp. 169-185.
- [Had 08]: Hadibi A., Chekired-Bouras F.Z. et Mouhouche B., 2008, "Analyse de la mise en oeuvre du plan national de développement agricole dans la première tranche du périmètre de la Mitidja Ouest, Algérie", *Actes du quatrième atelier régional du projet Sirma, Mostaganem, Algérie, 26-28 mai 2008*. Cirad, Montpellier, France, colloques-cédérom.
- [Ham 10]: Hammadi M., Bouadam K., 2010, "Veille stratégique et intelligence économique: comme perception d'une nouvelle approche pour la PME", 4ème rencontre internationale sur la compétitivité et les stratégies concurrentielles des entreprises industrielles hors hydrocarbures dans les pays arabes, à l'université de Chlef - Algérie.
- [Han 07]: Hansen L. et Sargent T., 2007, "Robustness", Princeton University Press.
- [Hoo 05]: Van der Hoog S., 2005, "Handbook of Computational Economics Vol. 2 : Agent-Based Computational Economics", North-Holland, *Handbooks in Economics Series*.

- [Huh 98]: Huns M.N., Singh M.P., 1998, "Agents and Multiagent Systems", Themes: Approaches, and Challenges, Readings in Agents M.N. Huhns and M.P. Singh Eds., Morgan Kaufmann Pbs, pp. 1-22.
- [IFP 09]: Alazard-Toux N et Maisonnier G, 2009, "L'offre et la demande de pétrole", Panorama 2009, IFP.
- [Iss 06]: Issing O., 2006, "The ECB's monetary policy strategy: why did we choose a two pillar approach?", 4th ECB Central Banking Conference, 10 novembre.
- [Kad 08]: Kadi A., 2008, "Note sur l'Indice des Prix à la Consommation : Cas de l'Algérie", Séminaire sur l'Indice des Prix à la Consommation, Genève du 7 au 9 mai 2008.
- [Keh 94]: Kehoe T.J. et Prescott E.C., 1994, "Introduction to the symposium: the discipline of applied general equilibrium", Economic Theory, n°6, p. 1-11.
- [Kes 07]: M. Kessira Mohamed représentant du ministre chargé de l'agriculture.
- [Key 37]: Keynes J.M., 1937, "The general theory of employment », Cambridge University Press, for the Royal Economic Society Cambridge University Press.
- [Key 36]: Keynes J.M., 1936, "The general theory of employment, interest and money", Cambridge University Press, for the Royal Economic Society Cambridge University Press.
- [Kiy 08]: Kiyotaki N. et Moore J., 2008, "Liquidity, business cycles, and monetary policy", mimeo, avril.
- [Koh 08]: Kohn D., 2008, "Productivity and innovation in financial services", discours, FED, 12 novembre.
- [KPMG 07]: KPMG Algérie SPA, 2007, "Algérie : Guide des Hydrocarbures".
- [Lav 04]: Lavoie M., 2004, "L'économie postkeynésienne", Editions La découverte, Paris.
- [Lei 08]: Leijonhufvud A., Colander D., Howitt P., Kirman A. et Meherling P., 2008, "Beyond DSGE Models: Toward an Empirically Based Macroeconomics", Papers and Proceedings of the American Economic Association, American Economic Review, 98, 236-240.
- [Lop 02]: Lopez-Paredes A., Hernandez-Iglesias C. et Pajares Gutierrez J., 2002, "Towards a new experimental socio-economics, complex behavior in bargaining", The Journal of Socio-Economics, 31: 423-429.
- [Luc 76]: Lucas R.E., 1976, "Econometric policy evaluation: a critique", Carnegie-Rochester, Conference Series on Public Policy, n°1, p. 19-46.
- [Luc 79]: Lucas R.E. et Sargent T.J., 1979, "After Keynesian macroeconomics", Federal Reserve Bank of Minneapolis Quarterly Review, n°3.
- [Maz 99]: Mazouzi H., El Fallah-Seghrouchni A., 1999, "Une démarche méthodologique pour l'ingénierie des protocoles d'interaction", Actes Ingénierie des systèmes multi-agents, JFIADSMA'99, Saint-Gilles, Ile de la Réunion.

- [Mel 12]: Melhem S et Melhem M., 2012, "Spéculateurs hétérogènes et volatilité Excessive dans le prix du pétrole : une approche dynamique non linéaire", document de recherche, Laboratoire Montpellierain d'Economie Théorique et Appliquée, Université de Montpellier.
- [Mod 58]: Modigliani F. et Miller M., 1958, "The cost of capital, corporation finance and the theory of investment", *American Economic Review*, 48(3):261-97.
- [Moo 03]: Moore B.J., 2003, "L'endogénéité de l'offre de monnaie : fixe-t-on le prix ou la quantité des réserves?", In Pierre Piégay and Louis-Philippe Rochon, editors, *Théories monétaires Post Keynésiennes*. Economica, Paris.
- [Moy 07]: Moyen S. et Sahuc J.G., 2007, "Le modèle d'Equilibre Général de la "Nouvelle Synthèse" : Quelles Hypothèses Retenir ?", article publié sur *Economie & prévision* n° 183-184 (page 15-34).
- [Ong 00]: Ongena S. et Smith D., 2000, "Bank relationships: a review", In *Performance of financial institutions* by P. Harker and S. Zenios (eds), Cambridge University Press.
- [ONS 11]: Différentes statistiques Socioéconomiques établies par l'ONS "Office National de Statistiques" en 2001, disponible suivant le lien suivant : [www.ons.dz](http://www.ons.dz) (page Consultée en octobre 2011).
- [Pet 95]: Petersen M.A. et Rajan R.G., 1995, "The benefits of lending relationships: evidence from small business data", *The Journal of Finance* 49, 3-37.
- [Rat 09]: Ratto M., Roeger W. et Veld J., 2009, "QUEST III: an estimated open-economy DSGE model of the euro area with fiscal and monetary policy", *Economic Modelling*, 26(1):222-33.
- [Sah 07]: Sahuc J.G. et Smets F., 2007, "Differences in interest rate policy at the ECB and the Fed: An investigation with a medium-scale DSGE model", *Banque de France, NER* n°182.
- [Sea 72]: Searle J.R., 1972, "Les actes de langages", Paris, Herman.
- [Sep 09]: Seppecher P., 2009, "Un modèle macroéconomique multi-agents avec monnaie endogène", Thèse de Doctorat au GREQAM, Université de la Méditerranée - Aix-Marseille II.
- [Sha 90]: Sharpe S., 1990, "Asymmetric Information, Bank Lending, and Implicit Contracts: a Stylized Model of Customer Relationship", *The Journal of Finance*, vol. XLV, n°4, 1069-1087.
- [She 11]: Différentes statistiques économiques établies par Sherbrooke en 2011, disponible suivant le lien suivant : <http://perspective.usherbrooke.ca/>.
- [Sho 93]: Shoham Y., 1993, "Agent Oriented Programming", in *Artificial Intelligence*, Vol. 60, n°1, pp. 51-92.
- [Sim 80]: Sims C.A., 1980, "Macroeconomics and reality", *Econometrica* n°48, p. 1-48.
- [Sim 07]: Sims C., 2007, "Monetary policy models", *Brookings Papers on Economic Activity*, 2, pp.75-87.
- [Sme 03]: Smets F. et Wouters R., 2003, "An estimated dynamic stochastic general equilibrium model of the euro area", *Journal of the European Economic Association*, n°1, p. 1123-1175.

- [Sme 05]: Smets F. et Wouters R., 2005, "Comparing shocks and frictions in US and euro area business cycles: a Bayesian DSGE approach", *Journal of Applied Econometrics*, n°20, p. 161-183.
- [Sme 07]: Smets F. et Wouters R., 2007, "Shocks and frictions in US Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach", ECB working Paper n° 722.
- [Tes 01]: Tesfatsion L., 2001, "Guest editorial : Agent-based modelling of evolutionary economic systems", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 5(5) : 1-6.
- [Tra 01]: Tranvouez E., 2001, "IAD et ordonnancement : une approche coopérative du réordonnancement par systèmes multi-agents", Thèse de doctorat, Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille III, Faculté des Sciences et Techniques de Saint-Jérôme, France.
- [Tuc 08]: Tucker P., 2008, "Money and credit, twelve months on", *Discours*, 12 septembre.
- [Wal 06]: Walsh C.E. et Stiglitz J.E., 2006, "Economics, fourth edition", *Modern Introductory Economics Textbook*, W.W. Norton Editions.
- [Woo 03]: Woodford M., 2003, "Interest and Prices. Foundations of a Theory of Monetary Policy", Princeton University Press.
- [Woo 09]: Woodford M., 2009, "Convergence in macroeconomics: elements of the new synthesis", *American Economic Journal: Macroeconomics*, 1(1): 267-79.
- [Wor 11]: Différentes statistiques économiques publiées par le département d'Etat américain, annuellement "world factbook de 2011", disponible suivant le lien suivant : <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>.
- [Wra 03]: Randall Wray L., 2003, "L'approche post-keynésienne de la monnaie", In Pierre Piégay and Louis-Philippe Rochon, editors, *Théories monétaires Post Keynésiennes*. Economica, Paris.