
ATTRAITES DU MECANISME DE DEVELOPPEMENT PROPRE POUR LA TUNISIE⁹

Alain Bernard*
Besma Talbi**
Marc Vielle***

Résumé

Dans ce papier nous cherchons à évaluer le bénéfice pour la Tunisie d'une participation au mécanisme de développement propre instauré dans le cadre du protocole de Kyoto. A partir d'une analyse monographique des projets tunisiens pouvant potentiellement être éligibles à ce type de mécanisme, nous réalisons différentes simulations à l'aide du modèle d'équilibre général calculable GEMINI-E3 pour en évaluer l'impact économique. Ces simulations sont complétées par d'autres scénarios dans lesquels nous supposons une participation plus large des pays en voie de développement à la lutte contre le changement climatique.

Mots clés

Protocole de Kyoto ; Mécanisme de Développement Propre ; Tunisie ; Modèle d'Équilibre Général Calculable.

POTENTIAL BENEFITS FOR THE TUNISIAN ECONOMY OF THE CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM

Abstract

The paper aims at measuring the benefit for the Tunisian economy of a participation to the Clean Development Mechanism, one of the flexibility systems provided by the Kyoto protocol. Starting from a detailed -technical and economic- analysis of the most promising projects that are eligible to the mechanism, the study consists in the various relevant simulations with a world Computable General Equilibrium model, GEMINI-E3, in a version specifically designed to fully cope with the data on the Tunisian economy.

A comparison is made with a scenario taking into account a larger participation of non-Annex B countries, such as China and India, which may obtain a large share of the projects through very low abatement costs in the present situation.

Key words

⁹ - Nous tenons à remercier Jean-Jacques Becker et Adel Dhif pour leurs remarques sur une première version de cet article. Il va de soit que les insuffisances ou erreurs qui persisteraient ne peuvent que nous être imputées.

* Ingénieur Général honoraire des Ponts et Chaussées, Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire, Paris.

** Laboratoire d'Économie et Gestion Industrielle (LEGI) à l'École Polytechnique de Tunis.

*** École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Laboratoire de Recherche en Économie et Management de l'Environnement – Toulouse School of Economics (LERNA).

Kyoto Protocol ; Clean Development Mechanism ; Tunisia ; Computable General Equilibrium Model.

Abridged English Version

Bringing climate change under control requires a dramatic decrease of greenhouse gases over the first half of the present century. The Kyoto protocol represents only a first step in this direction. Over the next decades, all countries will be required to fully commit to abatement targets.

In spite of its shortcomings, the Kyoto protocol offers a framework to the participation of non-Annex B countries under the so-called Clean Development Mechanism. The latter has a double target: i) to initiate, in non-Annex B countries, an endeavor to GHG abatement consistent with a path of sustainable development; and ii) to allow Annex B countries to resort to the least costly world sources of abatement, thus insuring an efficient allocation among all countries, and a benefit to non-Annex B countries through the sale of polluting rights. Consequently, CDM projects are to be thought as the first steps in a comprehensive abatement policy in developing countries.

The paper aims at assessing the benefits of CDM projects to the Tunisian Economy. Starting from a detailed characterization of the most promising projects, we simulate their effects with a world Computable General Equilibrium model, individualizing Tunisia among represented countries. The first part of the paper is a presentation of the version of the model (GEMINI-E3) resorted to in the study.

GEMINI-E3 is a dynamic, recursive, multi-sector and multi-country CGE model. It has been framed from its beginning in 1992 to provide macroeconomic measures of energy and environmental policies, classical macroeconomic aggregates such as Gross Domestic Product (GDP) and Households' Final Consumption (HFC), but also welfare indicators such as the well-known Dupuit's surplus, i.e. Compensating -or Equivalent- Variation of Income in its modern form (CVI, EVI).

The Tunisian version of the model has been specifically designed in order to fully cope with the various economic and sectoral data available for the country, linked by foreign trade to thirteen other countries/regions, and to assess in great detail the effects of its participation to the Clean Development Mechanism.

The second part of the study is devoted to the assessment of a reference scenario, "Kyoto without the flexibility mechanisms" –and in particular without CDM for Tunisia. It is important because the implementation of the Kyoto protocol has spill-over effects on non-Annex B countries through foreign trade. As is well known, and has been particularly taken into account in GEMINI-E3, abatement policies in Annex-B countries involve a "domestic" cost for each of them, but also an "imported cost" in the form of Change in the Terms of Trade. In the present case, the cost is (on the whole) for non-Annex B countries -not mainly but also Tunisia-, and a gain for developed countries.

Part three of the paper details the CDM projects presently envisioned for Tunisia, in particular their technical characteristics, and describes the economic and environmental effects for the country as assessed with the model. Benefits are of three types.

At the macroeconomic level, the additional activity generated by the implementation of the selected projects is important, around 70 millions of US dollars yearly in the average over 2010-2020. The second effect is to decrease the dependence of the Tunisian economy on imported energy. It may be considered as a side-effect but it is very important to put the Tunisian economy on a *low fossil energy path*. The third effect is related to environment and GHG emissions, which are significantly decreased, and then puts the economy on a *low-carbon path*.

The Tunisian economy is under the competition of other countries able to develop CDM projects, and particularly China and India that have fairly low abatement costs in the

present situation. But there is a place for smaller countries with a capacity to conduct investment projects efficiently and rapidly, thus with a competitive edge over many others.

Introduction

La maîtrise du changement climatique passe par une réduction drastique des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) dans la première moitié du siècle. Les enseignements du dernier rapport du GIEC (Intergovernmental Panel on Climate Change (2007)) et des études récentes (United Nations Development Program (2008)) montrent en effet que la limitation à 2 degrés de l'augmentation de température ne pourra être obtenue que par une division par deux des émissions mondiales en 2050 par rapport aux émissions constatées à l'année 2000. Les efforts en termes de réduction de ces émissions sont donc très importants et les politiques en cours et en particulier le protocole de Kyoto sont bien insuffisants pour atteindre une telle cible. L'objectif de la négociation actuelle a donc pour but d'intégrer de nouveaux participants dans le groupe des pays acceptant de contraindre leurs émissions. On pense bien évidemment aux États-Unis mais aussi aux pays en forte croissance qui représenteront les principaux émetteurs de gaz à effet de serre dans un proche avenir, tels que la Chine, l'Inde ou le Brésil (International Energy Agency (2007), Viguié (2004)). Le second élément clef de la négociation sera d'aboutir à un durcissement des contraintes pour obtenir les niveaux d'émissions souhaités en 2050. De ce point de vue c'est bien l'ensemble des pays du monde qu'il faudra intégrer rapidement dans un accord international. Le protocole de Kyoto malgré ses insuffisances citées ci-dessus représente un cadre incontournable de la négociation et permet déjà d'intégrer les pays n'appartenant pas à l'annexe B¹⁰ dans une dynamique de réduction des émissions de gaz à effet de serre par l'utilisation du Mécanisme de Développement Propre (MDP). Ce mécanisme a un double objectif. Tout d'abord permettre d'initier au sein des pays en développement des réductions de gaz à effet de serre tout en les inscrivant dans une dynamique de développement durable. Ensuite permettre aux pays industrialisés de bénéficier de réductions d'émissions de gaz à effet de serre à bas coûts ou tout au moins à des coûts moins élevés que celles obtenues au sein de leurs économies. Les projets MDP (Mathy (2004), Duic et alii (2003), Duic et alii (2007), Shrestha et Abeygunawardana (2007)) doivent donc s'entendre comme les premiers pas vers la mise en œuvre au sein des pays en développement de réductions plus ambitieuses des émissions de gaz à effet de serre.

Différentes études ont montré que l'utilisation des mécanismes de flexibilité et en particulier le MDP pouvait avoir un impact important dans la mise en place du protocole de Kyoto (Bréchet et alii (2004), Bréchet et alii (2005), Anger, Böhringer, et Moslener (Anger et alii (2007)) montrent que le MDP peut diminuer fortement le prix du CO₂ et ainsi réduire le coût macro-économique de la mise en place du protocole de Kyoto pour les pays de l'annexe B. Selon plusieurs modèles éco-nomiques, le mécanisme de développement propre pourrait représenter une part importante du total de l'effort de réduction des émissions exigé par le protocole de Kyoto. Les estimations (Cf. tableau 1) vont de 397 Mtc pour le modèle GREEN de l'OCDE (van der Mensbrugge (1998)) à 723 Mtc pour le modèle EPPA (Decaux et Ellerman (1998)). Le recours au MDP pour respecter les engagements de Kyoto représente entre 31% à 55% des réductions d'émission dans ces modèles mondiaux. Ces résultats se situent dans le haut de la fourchette et sont certainement surestimés car ces modèles ne prennent pas en compte les obstacles politiques et les coûts de transaction qui limitent les activités issues du MDP (Michaelowa and Jotzo (2005)). La méthode utilisée par Zhang (Zhang (1999)) est différente : il utilise les données provenant des communications nationales qui projettent des niveaux inférieurs de réductions. Ses résultats sont dans le bas de la fourchette et vont de 21% à 58% des réductions demandées aux pays de l'annexe B.

¹⁰- Annexe B : Ensemble des pays ayant accepté des engagements en matière de niveaux d'émissions des gaz à effet de serre sur la période 2008-2012.

L'objet de ce papier est d'évaluer les bénéfices du MDP pour l'économie tunisienne. A partir d'une étude détaillée des projets MDP proposés pour la Tunisie, nous évaluons leur impact à l'aide d'un modèle économique mondial qui détaille la Tunisie dans le cadre de la mise en place du protocole de Kyoto.

Dans une première section nous présentons le modèle économique utilisé pour cette étude. La deuxième section détaille les modalités et les implications économiques de l'adoption d'une politique de réduction des gaz à effet de serre pour les pays industrialisés sans utilisation de mécanisme de flexibilité. La troisième section décrit les projets MDP actuellement en cours de définition pour la Tunisie et évalue leurs effets pour ce pays. Enfin la quatrième section cherche à évaluer les implications de la mise en place d'un marché de permis d'émission au niveau mondial auquel pourraient participer l'ensemble des pays et donc la Tunisie.

Tableau 1 : Estimation de l'importance du marché MDP

	Taille du marché MDP (MtC)	Réductions d'émissions totales requises pour les pays de l'annexe I	Contribution du MDP
EPPA (Ellerman (1998))	723	1312	55%
Haites (Haites (2004))	265-575	1000	27-58%
G- CUBED (McKibbin (1999))	495	1102	45%
GREEN (van der Mensbrughe (1998))	397	1298	31%
SGM (Edmonds, Pitcher, and Sands (2004))	454	1053	43%
Vrolijk (Vrolijk (1999))	67-141	669	10-21%
Zhang (Zhang (1999))	132-358	621	21-58%

2- Le modèle GEMINI-E3

Nous utilisons la version 5 du modèle GEMINI-E3 calibré à partir de la banque de données du GTAP (Dimaranan (2006)) et dont l'année de référence est 2001. Les spécifications du modèle sont décrites dans (Bernard and Vielle (2008)) et une description complète du modèle peut être consultée sur internet à l'adresse suivante <http://www.gemini-e3.net>.

Le modèle GEMINI-E3 est un modèle d'équilibre général calculable de l'économie mondiale, dynamique et récursif à plusieurs secteurs et plusieurs pays/régions. GEMINI-E3 (Bernard and Vielle (2008)) a été spécifiquement conçu dès le début de sa construction pour produire les éléments d'appréciation macro-économique pertinents dans l'évaluation des politiques énergétiques et environnementales telles que celles liées au changement climatique. Le modèle GEMINI-E3, dont la création remonte à 1992 a fait l'objet de nombreuses utilisations notamment pour évaluer le coût de réduction des gaz à effet de serre dans un optimum de second rang (Bernard and Vielle (2000)), pour analyser la mise en place de la directive européenne sur les quotas d'émissions (Bernard et alii (2005)) et pour évaluer les comportements stratégiques de la Russie dans le protocole de Kyoto (Bernard et

alii (2003)). Le modèle GEMINI-E3 a été mis à contribution par la Mission Interministérielle sur l'Effet de Serre en 2000 pour la détermination de la taxe carbone devant être appliquée pour respecter le protocole de Kyoto, et ses évaluations ont été reprises dans plusieurs rapports de l'administration publique française ayant trait aux politiques de changement climatique (Guesnerie (2003), Commissariat Général du Plan (2002), Centre d'Analyse Stratégique (2008)). Au niveau international l'équipe du modèle GEMINI-E3 participe régulièrement à l'Energy Modeling Forum (en particulier Working Groups 19, 21 et 22) et collabore à deux projets financés par la Commission Européenne ayant trait à la définition de politique de lutte contre le changement climatique (TOCSIN et PLANETS). L'équipe GEMINI-E3 a aussi coopéré avec de nombreuses équipes universitaires : MIT Cambridge USA, Resources for the Future (Washington, USA), GERAD (Montréal Canada) -équipe qui développe le modèle TIMES-, LOGILAB-HEC (Université de Genève, Suisse). Enfin le modèle est utilisé par les instances fédérales Suisses pour l'examen des politiques climatiques Post-Kyoto.

2-1- Structure et fonctionnement du modèle

Un progrès essentiel dans le développement de GEMINI-E3 a résulté de la définition d'un protocole précis d'utilisation, avec des règles assurant un calcul rigoureux des coûts macro-économiques. De fait, une caractéristique du modèle est que sa construction s'est constamment appuyée sur des fondements théoriques, portant notamment sur la fiscalité optimale (et l'approche de l'optimum de second rang) et la théorie du commerce international. C'est ainsi que la première présentation d'ensemble du modèle dans une revue scientifique comporte un article introductif intitulé "l'utilisation des modèles d'équilibre général calculables pour l'analyse coût-bénéfice et l'évaluation des politiques" (Bernard (1998)) précisant les résultats qui peuvent en être attendus. Les problèmes de double dividende, et en particulier les interactions entre fiscalité et commerce extérieur, ont fait l'objet d'une analyse théorique approfondie. Cette démarche a permis de consolider les fondements conceptuels du modèle numérique et de donner une grande transparence à la présentation des résultats.

Nous utilisons pour cette étude une version agrégée du modèle en 14 régions qui sont décrites dans le tableau 2. La nomenclature sectorielle du modèle est décrite dans le tableau 3.

Tableau 2 : Description géographique du modèle GEMINI-E3

Nom	Pays ou régions
TUN	Tunisie
EUR	Union Européenne (25)
XEU	Autres Pays Européens
FSU	Ex-Union Soviétique
USA	États-Unis
CAN	Canada
AUZ	Australie et Nouvelle Zélande
JAP	Japon
CHI	Chine
IND	Inde
ASI	Reste de l'Asie
LAT	Amérique Centrale et Latine + Mexique
MID	Moyen Orient
AFR	Afrique

Tableau 3 : Nomenclature sectorielle du modèle GEMINI-E3

Secteur	Intitulé
1	Charbon
2	Pétrole brut
3	Gaz naturel
4	Produits pétroliers
5	Électricité

6	Agriculture
7	Sylviculture
8	Produits minéraux
9	Chimie
10	Sidérurgie
11	Papier et cartons
12	Transport terrestre
13	Transport maritime
14	Transport aérien
15	Biens de consommation
16	Biens d'équipement
17	Services
18	Logement

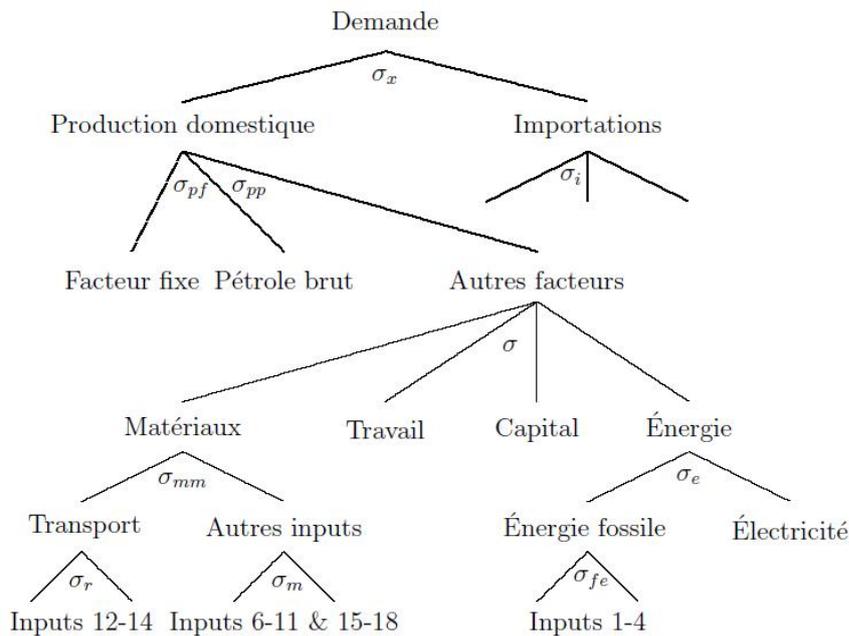
Le modèle décrit pour chacun des secteurs un équilibre ressources-emplois détaillant d'un côté la production et les importations, de l'autre les utilisations finales du bien (consommation des ménages, exportation, investissement) de même que les consommations intermédiaires. Pour chaque secteur il représente les facteurs utilisés pour réaliser la production (travail, capital, énergie, autres consommations intermédiaires). Le modèle calcule en outre l'ensemble des échanges internationaux de biens et services, et les émissions de gaz à effet de serre des différentes activités économiques. La description de la production fait appel à des CES (Arrow et alii (1961)) emboîtées. En effet, l'utilisation de formes flexibles, telles les fonctions Translog ou Léontieff, est rendue difficile par le nombre élevé de facteurs, et par suite d'élasticités indépendantes que l'on doit considérer et donc estimer. L'hypothèse de rendements d'échelle constants et de séparabilité entre facteurs retenue pour GEMINI-E3 permet d'en réduire de façon importante le nombre. Ce qui apparaît essentiel est de prendre en compte les canaux par lesquels agissent les prix, à travers les élasticités prix directes et croisées, et les relations de complémentarité et/ou substituabilité entre facteurs de production. Ceci est obtenu via une structure de fonction CES emboîtée, comme le montre la figure 1.

La demande des ménages est dérivée du modèle de dépense linéaire ou de Stone-Geary (Stone (1983)), découlant d'une fonction d'utilité, ce qui permet d'exprimer de manière rigoureuse le gain ou la perte économique sous forme de surplus des consommateurs¹¹. La demande de travail ainsi que le comportement d'épargne sont en revanche supposés inélastiques. La mesure de la perte économique soulève un problème qui est lié aux effets de report entre les périodes. La modification du prix relatif de la consommation et de l'investissement provoque une variation du coût d'usage du capital productif et par suite du partage investissement-consommation (et donc du rythme d'accumulation du capital). La mesure du surplus des consommateurs incorpore donc cet effet, qui ne traduit pas véritablement un gain ou une perte économique nette pour l'année considérée mais un report sur les périodes futures (positif si l'investissement augmente, négatif si l'investissement diminue). La mesure qui serait alors pertinente est la somme actualisée des surplus, peu sensible à la variation du rythme d'accumulation du capital (si le taux d'actualisation reflète bien le coût d'opportunité du capital). Mais ceci ne serait vrai que sur un horizon suffisamment long, très supérieur à la période totale prise en considération. La solution technique retenue a été d'imposer la constance du volume d'investissement global de chaque année (mais évidemment pas de la répartition par branche) au moyen d'un ajustement adéquat du taux d'épargne des ménages¹². Ceci ne signifie pas qu'une variation de l'investissement est jugée non pertinente, et dans certaines applications on n'impose pas cette contrainte : c'est simplement un artifice pour obtenir une mesure rigoureuse de la perte économique annuelle.

¹¹- A savoir la différence entre la variation effective de revenu et la variation compensatrice de revenu (celle qui laisserait inchangée l'utilité après la modification du système de prix pour les consommateurs), ce qui est bien la notion introduite par Dupuit.

¹²- Cette modification du taux d'épargne des ménages est faible, au maximum égale à 2 points.

Figure 1 : Structure de la production dans GEMINI-E3



2-2- Les émissions de gaz à effet de serre

Le modèle calcule les émissions de CO₂ liées à la combustion d'énergie fossile et les émissions des autres gaz à effet de serre compris dans le "panier kyoto" (CH₄, N₂O, gaz fluorés): au total 110 sources d'émission de gaz à effet de serre sont décrites par pays. La réduction des émissions de gaz à effet de serre peut être obtenue à l'aide de différents instruments : taxe, quotas, permis négociables, et plus généralement les instruments de flexibilité prévus par le protocole de Kyoto.

3- Le compte de référence

Le compte de référence appelé aussi scénario "Business as Usual" est indispensable pour évaluer les scénarios de politique économique envisagés dans les sections suivantes. Nous supposons dans ce compte de référence qu'aucune politique de lutte contre le changement climatique n'est mise en œuvre.

3-1- Prix internationaux de l'énergie

Les projections du prix du pétrole prises en compte dans cette étude s'appuie sur un examen des différentes prévisions existantes sur ce sujet. Dans notre scénario de référence nous supposons que le prix du brut atteindrait en 2010 76 \$2006 par baril et puis augmenterait pour atteindre un palier à 100 \$2006 en 2015. Le tableau 4 compare nos hypothèses à celles d'autres instituts : ils sont plus hauts que ceux retenus par l'Agence Internationale de l'Énergie mais plus bas en fin de période que ceux retenus par le Département de l'énergie des États-Unis.

Tableau 4 : Prévisions de prix du pétrole (USD₂₀₀₆ par baril)

	• 2006	• 2010	• 2020	• 2030
• GEMINI-E3	• 61.72	• 76.00	• 100.00	• 100.00
• International Energy Outlook 2008 (Energy Information Administration (2008))	•	•	•	•
• Reference	• 66.00	• 80.00	• 77.90	• 113.10

• <i>High price</i>	• 66.00	• 85.70	• 132.10	• 185.70
• International Energy Agency 2007 (International Energy Agency (2007))	• 61.72	• 59.03	• 57.30	• 62.00

Concernant les autres énergies fossiles, nous supposons que le prix du gaz naturel est indexé sur le prix du pétrole avec un taux d'indexation de 0.75 (Silverstovs et al. (2005)), ce qui veut dire que si le prix du pétrole augmente de 10% celui du gaz croît de 7.5%. Pour le prix du charbon nous supposons qu'il reste constant sur la période de simulation.

3-2- PIB, demande d'énergie et émissions de gaz à effet de serre

Le compte de référence est calibré pour chaque région sur la base d'un ensemble cohérent d'hypothèses sur la croissance mondiale. Pour la Tunisie, le compte de référence s'appuie sur des hypothèses de croissance du PIB pour la période 2001 à 2020 fournies par l'Institut d'Économie Quantitative de Tunisie. Ces hypothèses supposent une croissance du PIB de 4.1% par an de 2001 à 2010, puis de 4.4% par an de 2010 à 2020. Pour la période 2020 à 2030 nous avons retenu une hypothèse de croissance de 4.2% par an. Le tableau 5 résume ces hypothèses de croissance économique.

Tableau 5 : Produit Intérieur Brut - Taux de croissance annuel moyen

	2001-2010	2010-2020	2020-2030
EUR	2.2%	2.2%	2.1%
XEU	2.2%	2.2%	2.1%
FSU	5.4%	3.7%	3.2%
USA	3.3%	3.0%	2.8%
CAN	2.8%	2.2%	1.7%
AUZ	2.7%	2.4%	2.4%
JAP	1.9%	1.4%	0.9%
TUN	4.1%	4.4%	4.2%
CHI	7.9%	5.7%	5.1%
IND	6.3%	5.3%	5.0%
ASI	3.8%	3.4%	3.1%
LAT	4.0%	3.6%	3.5%
MID	5.2%	3.9%	3.6%
AFR	5.0%	4.3%	4.1%
Monde	3.3%	3.0%	2.8%

Les tableaux 6 et 7 donnent respectivement les émissions de gaz à effet de serre et de CO₂ pour la période 2001-2030 dans le compte de référence. A noter que le modèle GEMINI-E3 ne décrit pas encore pour la Tunisie les gaz à effet de serre autres que le CO₂. Les émissions mondiales de gaz à effet de serre atteindraient ainsi en 2010 10.6 Gt-équivalent carbone¹³, en 2020 elles seraient de 12.8 Gt-eqC et en 2030 de 15.

Concernant La Tunisie les émissions de CO₂ augmenteraient sur la période (2001-2030) de 1.65% par an et atteindraient ainsi 8.7 Gtc en 2030. Le tableau 8 donne les émissions de CO₂ par secteur. La figure 2 donne l'évolution des consommations d'énergie en Tunisie. L'électricité augmenterait fortement de 3.5% par an sur la période, les produits pétroliers et le gaz naturel augmenteraient plus légèrement respectivement de 1.8% et de 1.3% par an.

Tableau 6 : Emissions de gaz à effet de serre (panier Kyoto) en Gt-eqC

	2001	2010	2020	2030
--	------	------	------	------

¹³- Par la suite dans le texte **t-eqC** : tonne équivalent carbone et **tC** : tonne de carbone

EUR	1302	1305	1359	1404
XEU	139	146	158	162
FSU	812	918	1051	1143
USA	1899	2000	2199	2370
CAN	194	200	215	215
AUZ	170	182	195	198
JAP	340	340	338	321
CHI	1262	1980	2887	3954
IND	437	599	794	1049
ASI	763	871	1013	1134
LAT	755	859	1035	1198
MID	469	558	686	802
AFR	550	673	833	1010
Monde	9097	10638	12769	14967

Tableau 7 : Emissions de CO₂ en GtC

	2001	2010	2020	2030
EUR	1055	1065	1114	1165
XEU	108	111	117	121
FSU	607	681	784	876
USA	1605	1696	1850	2006
CAN	150	150	154	158
AUZ	116	122	127	132
JAP	313	311	306	292
TUN	5.4	6.0	7.0	8.7
CHI	857	1505	2334	3225
IND	281	413	579	768
ASI	479	538	626	716
LAT	363	385	448	539
MID	355	398	475	576
AFR	208	261	336	419
Monde	6503	7643	9257	11002

Figure 2 : Consommation d'énergie en Tunisie en Mtep

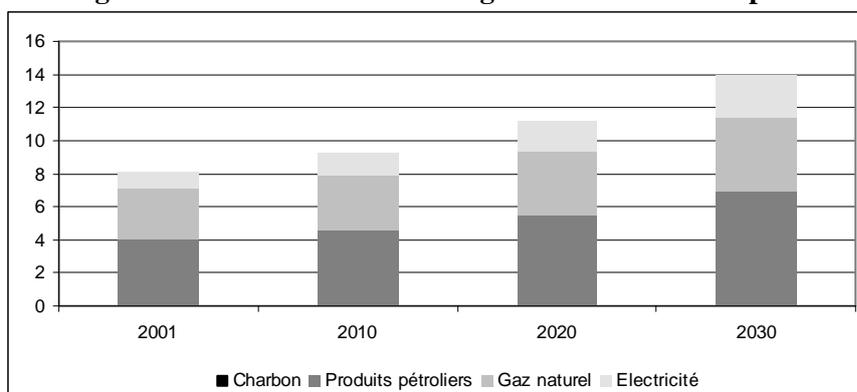


Tableau 8 : Emissions de CO₂ en GtC par secteur pour la Tunisie

	2001	2010	2020	2030
Raffinage	0.09	0.09	0.11	0.14
Electricité	1.85	1.96	2.14	2.41
Agriculture	0.31	0.41	0.55	0.74
Sylviculture	0.00	0.00	0.00	0.00
Produits Minéraux	0.11	0.14	0.18	0.22
Chimie	0.17	0.22	0.28	0.37
Sidérurgie	0.11	0.14	0.18	0.23
Papier et Cartons	0.06	0.07	0.09	0.12
Transport terrestre	0.59	0.73	0.89	1.11
Transport maritime	0.07	0.08	0.10	0.12
Transport aérien	0.43	0.52	0.63	0.77
Biens de consommation	0.12	0.15	0.19	0.24
Biens d'équipement	0.17	0.21	0.29	0.41
Services	0.39	0.46	0.56	0.69
Ménages	0.93	0.79	0.87	1.10

4- Mise en œuvre du protocole de Kyoto

Ce scénario suppose que les pays de l'annexe B signataires du protocole de Kyoto (United Nations Framework Convention on Climate Change (1997)) remplissent leurs engagements à l'aide d'une taxe sur le carbone sans l'utilisation de mécanisme de flexibilité (Permis d'Emission Négociables, Mise en Œuvre Conjointe et Mécanisme de Développement Propre). Après 2012, ces mêmes pays décident de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre par rapport à l'année 1990 de 20% en 2020 et de 30% en 2030. L'ex Union Soviétique adopte des objectifs similaires de réduction mais son *Air Chaud* (Bernard et alii (2003)) qui s'épuise en 2017 est suffisant pour compenser les réductions d'émission contractées après cette année. On suppose donc qu'elle ne vend pas cet *Air Chaud* aux autres pays de l'annexe B, mais utilise les possibilités de *banking* du protocole de Kyoto, lui permettant ainsi sur la période 2007-2030 de s'affranchir de toute politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Pour les pays de l'annexe B n'ayant pas signé le protocole (États-Unis), on suppose qu'ils entrent à partir de 2012 dans le groupe des pays signataires en choisissant de limiter leurs émissions de 10% en 2020 par rapport à l'année de référence 2012 et de 20% en 2030 toujours par rapport à l'année 2012. Le tableau 9 résume l'ensemble de ces hypothèses.

Tableau 9 : Objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre

	Année de référence	Objectif 2012	Objectif 2020	Objectif 2030
EUR	1990	Kyoto	-20%	-30%
XEU	1990	Kyoto	-20%	-30%
FSU	1990	Kyoto	-20%	-30%
USA	2012	Aucun	-10%	-20%
CAN	1990	Kyoto	-20%	-30%
AUZ	1990	Kyoto	-20%	-30%
JAP	1990	Kyoto	-20%	-30%

Chaque pays qui s'est engagé dans des réductions d'émission de gaz à effet de serre met donc en œuvre une taxe sur l'ensemble des gaz à effet de serre (*panier Kyoto* : CO₂, CH₄, N₂O, et gaz fluorés).

Dans ce scénario on suppose que les pays en développement (y compris la Tunisie) n'adoptent aucune politique de limitation de leurs émissions.

Le tableau 10 donne les niveaux de taxe sur les émissions de gaz à effet de serre en US \$2001 nécessaires pour atteindre les objectifs ci-dessus. Ces taxes sont très différentes entre les régions du fait en premier lieu de coûts marginaux d'abattement entre pays différents (Bernard et Vielle (2003)) et ensuite d'objectifs de réduction des émissions différents. Le tableau 11 indique ainsi les réductions d'émission effectives. Si en 2010, ces réductions apparaissent contrastées, elles ont tendance à converger en 2030 vers un niveau de réduction en moyenne égal à -35%. En effet, en 2010, les variations d'émission vont de -34% pour l'Australie et la Nouvelle Zélande à +0.3% pour les États-Unis du fait que ce pays adopte des contraintes d'émission qu'à partir de 2012.

En 2020, les taxes se situent pour les pays industrialisés dans un intervalle allant de 17 US\$2001 pour les États-Unis à 169 US\$2001 pour le Canada.

Tableau 10 : Taxe sur les émissions de gaz à effet de serre en US \$ par tonne de CO₂ - scénario Kyoto

	2010	2020	2030
EUR	3	42	216
XEU	1	19	92
USA	0	17	76
CAN	20	169	337
AUZ	57	160	224
JAP	21	152	301

Tableau 11 : Variation des émissions de gaz à effet de serre - scénario Kyoto

	2010	2020	2030
EUR	-2.1%	-18.1%	-31.9%
XEU	-0.9%	-14.9%	-28.4%
USA	0.3%	-14.4%	-30.9%
CAN	-11.3%	-33.7%	-42.5%
AUZ	-34.4%	-49.1%	-59.7%
JAP	-11.5%	-28.3%	-34.2%

Concernant les pays en développement qui ne mettent pas en œuvre de réduction des émissions de gaz à effet de serre, leurs émissions de CO₂ augmentent en raison du phénomène de fuites de carbone (Paltsev (2001)) résultant de la baisse des prix de l'énergie consécutive à la baisse de la demande d'énergie des pays industrialisés et à une délocalisation des industries intensives en énergie en provenance des pays industrialisés (Cf. le tableau 12). Ainsi les émissions de CO₂ des pays en développement augmentent en 2030 de 2%. Concernant la Tunisie, on constate un phénomène similaire mais amplifié, les émissions de CO₂ augmentent de 1.8% en 2020 et 6% en 2030. Cette hausse est principalement due à une hausse de la consommation de gaz naturel (+10.2% en 2030) et des produits pétroliers (+3.9%).

Tableau 12 : Variation des émissions de carbone - scénario Kyoto

	2010	2020	2030
EUR	-2.1%	-18.1%	-31.9%
XEU	-0.9%	-14.9%	-28.4%
FSU	0.2%	1.1%	2.9%
USA	0.3%	-14.4%	-30.9%
CAN	-11.3%	-33.7%	-42.5%
AUZ	-34.4%	-49.1%	-59.7%
JAP	-11.5%	-28.3%	-34.2%
TUN	0.2%	1.8%	6.0%
CHI	0.7%	0.9%	0.3%
IND	1.3%	2.1%	2.3%
ASI	1.5%	3.4%	4.4%
LAT	0.5%	2.8%	5.6%
MID	0.4%	1.7%	3.5%
AFR	0.5%	2.3%	4.0%
Monde	-1.1%	-6.4%	-10.2%

Les impacts de ce scénario sur le bien-être sont variables entre régions. Tout d'abord concernant les pays industrialisés qui mettent en œuvre des réductions d'émission de gaz à effet de serre. Ce coût est limité pour les pays de l'Union Européenne, les États-Unis et le Japon. Il se situe en 2030 dans un intervalle allant de 0.14% de la consommation finale des ménages pour les USA à 0.51% pour le Japon. Pour le Canada le coût est beaucoup plus important et est évalué à 3.24% de la consommation finale des ménages. Cette perte élevée doit bien évidemment être rapprochée de la baisse effective des émissions qui est beaucoup plus forte que celle des autres pays industrialisés et est égale à -42.5%. Pour l'Australie et la Nouvelle Zélande le coût est également très important dû à des baisses d'émissions importantes et à des pertes liées aux termes de l'échange provenant en particulier à des baisses d'exportation de charbon. Le coût total pour cette région est évalué à 4.9%. Les autres pays européens (XEU) sont aussi fortement pénalisés (2.96% en 2030) du fait en partie des pertes liées aux termes de l'échange provenant de la baisse de demande d'énergie adressée à la Norvège.

Concernant les pays n'adoptant pas de réduction des émissions de gaz à effet de serre on constate trois cas de figure. Le premier a trait aux pays producteurs d'énergie, ceux-ci subissent une perte parfois élevée due à la baisse de consommation d'énergie. C'est le cas de l'ex Union Soviétique (-5.45% en 2030) du Moyen Orient (-5%) de l'Afrique (Nigeria et l'Algérie, -3.8%) de l'Amérique Latine (Venezuela, -0.85%). Le second groupe concerne les pays en développement qui bénéficient de gains liés aux termes de l'échange, on trouve dans ce groupe la Chine (+0.13%), l'Inde (+1.31%), le reste de l'Asie (+0.09%). Enfin le dernier groupe ne contient que la Tunisie qui se trouve pénalisée par des pertes liées aux termes de l'échange. Cette perte est relativement importante est égal à -1.14% de la consommation des ménages.

Tableau 13 : Variation de bien-être en % de la consommation finale - scénario Kyoto

	% 2010	% 2020	% 2030
EUR	0.03	0.02	-0.45
XEU	-0.14	-1.06	-2.96
FSU	-0.27	-2.00	-5.45
USA	0.00	-0.01	-0.14
CAN	-0.03	-1.14	-3.24
AUZ	-0.97	-2.89	-4.89
JAP	0.00	-0.25	-0.51
TUN	-0.04	-0.37	-1.14

CHI	-0.07	-0.05	0.13
IND	0.09	0.53	1.31
ASI	-0.04	-0.04	0.09
LAT	-0.06	-0.37	-0.85
MID	-0.36	-2.09	-5.00
AFR	-0.23	-1.51	-3.81
Monde	-0.04	-0.28	-0.75

5- Participation de la Tunisie au MDP

5-1- La Tunisie et le MDP

La Tunisie a signé la Convention Cadre des Nations - Unies sur les Changements Climatiques à Rio de Janeiro en 1992 et l'a ratifié en juillet 1993. Comme toutes les parties non annexe I de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, le seul engagement de la Tunisie consiste à préparer une communication nationale. Cette communication (Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire (2001)) doit comprendre un inventaire des émissions de gaz à effet de serre, un programme d'actions pour atténuer les changements climatiques et une stratégie d'adaptation aux effets néfastes des changements climatiques.

La Tunisie a aussi ratifié le protocole de Kyoto en juin 2002 et accorde une attention particulière à la mise en vigueur du protocole notamment la mise en œuvre du mécanisme pour un développement propre, le seul mécanisme de flexibilité qui permet la coopération entre les pays industrialisés et les pays en développement. La Tunisie a défini une liste de projets qui pourraient s'inscrire dans le cadre de ce mécanisme.

5-2- Liste détaillée des portefeuilles de projets d'atténuation des GES

Durant l'année 2006, l'Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Énergie (ANME) avec l'appui financier du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) ont permis de concrétiser des idées de projets, en consolidant un portefeuille de 47 projets d'atténuation des GES dans le secteur de l'énergie et 3 projets dans le secteur de déchets. Les portefeuilles de projets MDP dans le secteur d'énergie sont répartis en six classes : 3 projets d'éclairage, 2 projets de chauffe-eau solaire, 25 projets de cogénération, 5 projets de récupération des gaz associés à la production du pétrole, 9 projets de production d'électricité à partir de l'énergie éolienne et 3 projets de l'amélioration de l'efficacité énergétique dans l'industrie.

Dans ce papier, nous nous intéressons seulement aux projets ayant reçu l'approbation du NIP (Note d'Information sur les Projets) par l'Autorité Nationale Désignée (AND) (fin septembre 2007).

5-2-1- L'éclairage

Trois projets ont été identifiés :

- Un projet d'amélioration de l'efficacité énergétique dans l'éclairage public par l'installation de variateurs-régulateurs de tension 140 000 KVA sur le réseau existant des communes. La réalisation de ce projet permettra de réduire la consommation d'électricité de 35 à 40%, d'économiser 40 400 tep d'énergie par an, et donc d'éviter 18 114 tC annuellement. Pendant la durée de vie totale du projet, il serait généré 310 000 tep d'économie d'énergie représentant 181 135 tC évitées.

- Un projet visant la diffusion large des Lampes Basse Consommation (LBC) en Tunisie. Ce projet permet de diffuser 2 millions de LBC par le réseau classique des distributeurs tunisiens d'équipements électriques. Ce projet permet de fournir l'éclairage avec des niveaux de consommation de 80% inférieurs à ceux de la consommation des lampes à incandescence, Ce qui permet d'économiser 8 800 tep d'énergie par an et de réduire les émissions de 7 527 tC annuellement. Durant la vie totale du projet, il serait généré 77 000 tep d'économie représentant 52 689 tC évités.

- Un projet d'électrification rurale par de l'énergie solaire photovoltaïque en Tunisie. Ce projet consiste à équiper 1700 ménages ruraux en système photovoltaïque et incluant également une composante d'approvisionnement en eau qui consiste à équiper 63 puits non connectés au réseau électrique. La réalisation de ce projet permettrait d'économiser annuellement 600 tep d'énergie et d'éviter des émissions de l'ordre de 464 tC par an. Pendant la durée de vie totale du projet, environ 12 300 tep de combustibles seront économisés et 9 746 tC seront évitées sur toute la période de crédit.

5-2-2- Chauffe-eau solaire : changement d'échelle du marché résidentielle

Le chauffage solaire de l'eau permet de satisfaire les besoins d'eau chaude sanitaire des secteurs résidentiel et tertiaire, dans une proportion de 70% à 80% des besoins annuels, grâce au potentiel solaire existant en Tunisie. Ce projet générerait 61 000 tep d'économie d'énergie par an représentant 15 561 tC évitées annuellement.

5-2-3- Cogénération : installation d'un générateur dans l'usine agroalimentaire de RANDA

La cogénération consiste à combiner la production d'électricité et de chaleur, dans un même équipement et à éviter les pertes énergétiques liées à la production spécifique de chaleur. Depuis juin 2005, le Ministère de l'Industrie, de l'Énergie et des PME (Petites et Moyennes Entreprises), a mis en place une Task-force cogénération destinée à promouvoir cette technologie, en identifiant des entreprises disposées à installer des générateurs. Parmi ces établissements industriels, on cite le générateur de RANDA qui génèrera 30 GWh d'électricité par an. Ce cogénérateur permettra aussi de récupérer (et donc d'économiser) l'équivalent de 2 700 tep d'énergie par an ce qui permettra de générer des réductions significatives des émissions, totalisant 38 371 tC.

5-2-4- Récupération des gaz associés à la production de pétrole

La production du pétrole, s'accompagne en général de la production de gaz associés, dont une partie est émise dans l'atmosphère ou brûlée dans des torchères. Les gaz émis, sans combustion, contiennent du CH₄ ayant un potentiel d'effet de serre important, alors que les gaz brûlés à la torchère émettent du CO₂ en quantités moins importantes. La non récupération de ces gaz associés entraîne des émissions de GES dans l'atmosphère, contribuant aux changements climatiques. On cite parmi les projets MDP de récupération des gaz torchés, le gisement de Djebel Grouz et Maamoura. Le projet de Djebel Grouz permettra de récupérer la totalité des gaz habituellement torchés, soit de l'ordre de 36 millions de Nm³/an, ce qui représente l'équivalent de 21 700 tep annuellement pendant une période s'étalant sur 10 ans. Il permettra également de générer des réductions des émissions, totalisant 218 400 tC sur 10 ans. De plus, le projet permettra d'atténuer les émissions d'autres gaz traces dans la zone, comme le CH₄ et N₂O. Alors que le projet de Maamoura permettra de récupérer l'équivalent de 108 500 tep annuellement pendant une période s'étalant sur 7 ans au moins et permettra de générer des réductions des émissions totalisant 1 037 400 tC sur 10 ans.

5-2-5- Production d'électricité à partir de l'énergie éolienne

L'énergie éolienne est devenue une source de plus en plus crédible et compétitive de production d'électricité au niveau international. La Tunisie dispose de potentialités intéressantes, pouvant faire l'objet d'application dans des sites prêtant à la production d'électricité à partir de l'énergie éolienne. Parmi ces projets, on cite le parc éolien de Bizerte d'une capacité de 80 MWh qui permettra de réduire les émissions des gaz d'ordre de 1 289 071 tC, le parc de Gabès et d'Oum el Kébil ont la même capacité installée de 14 MWh permettront de réduire chacun les émissions de l'ordre de 121 349 tC. Alors que Parc éolien à sidi Daoud (35 MWe) produira de l'électricité de 100 GWh par an en évitant la génération des émissions de 15 752 tC par an.

5-2-6- L'efficacité énergétique dans l'industrie : séchage solaire du phosphate

à la Compagnie de Phosphates de Gafsa (CPG)

Les Industries Grosses Consommatrices d'Énergie (IGCE) ont un gisement important d'économie d'énergie, susceptible d'être mobilisé à travers la mise en place d'actions d'efficacité énergétique, de substitution, ou de changement de procédés. La politique volontariste d'efficacité énergétique menée dans l'industrie depuis plus de deux décennies en Tunisie à l'aide de l'établissement de la Task-force IGCE en 2005, ont permis d'identifier des projets MDP d'efficacité énergétique. Parmi ces projets, on retient le projet de séchage solaire du phosphate à la compagnie de phosphates de Gafsa (CPG). La CPG est également un grand consommateur d'énergie, spécialement pour le séchage du produit fini. La mise en place de procédés de séchage solaires à l'usine de M'dhilla, permettrait d'éviter des émissions correspondantes en GES représentant 97 133 tC sur toute la durée de vie du projet et générerait 121 000 tep d'économie d'énergie sur toute sa durée de vie.

5-2-7- Le secteur des déchets

Pour le secteur des déchets, 2 projets MDP ont été enregistrés par le Conseil Exécutif : le projet de décharge de Djebel Chakir et le projet des 9 décharges contrôlées (Sfax, Bizerte, Kairouan, Djerba, Gabès, Monastir, Sousse, Nabeul et Médenine). Grâce à la mise en place du système d'extraction et de torchage de méthane, le projet MDP des neuf décharges, permettra de générer des réductions des émissions équivalentes à environ 175 000 tonnes de CH₄, soit 867 892 tC. Alors que la mise en place de projet MDP pour les 10 décharges dont Djebel Chakir individuellement permettant de générer des réductions d'émissions agrégées de l'ordre de 350 000 tonnes CH₄ soit 1 877 075 tC sur toute la période de crédit des projets. Le troisième projet MDP, a trait aux décharges Tozeur-Mahdia-Zaghouan qui permettra de réduire les émissions de méthane d'équivalents 273 000 tC.

Le tableau 14 récapitule les différents projets MDP retenus pour cette étude.

Tableau 14 : Liste des projets MDP ayant reçu l'approbation du NIP par l'AND (fin septembre 2007)

Projets	Economies d'énergie cumulées(k tep)	Emissions évitées cumulées (Mteq-CO2)	Investissement (Millions US \$)
Cogénération usine Randa	57	0.14	3.4
Chauffage solaire	610	0.48	231
Lampes Basse Consommation	77	0.19	2.28
Récupération gaz Djebel Grouz	217	0.80	10.1
Récupération gaz associés Nabeul	760	3.80	77.27
Éoliennes Cimenterie de Gabès	181.1	0.45	18.34
Éoliennes Bizerte	-	4.72	87.76
Photovoltaïque	15	0.04	19.55
Eclairage public-varianteurs	310	0.66	30.02
Séchage solaire des phosphates	121	0.36	16.36

Éoliennes Cimenterie d'Oum el Kélil	181.1	0.45	18.34
Éoliennes Sidi Daoud	-	1.21	52.5
Décharges Tozeur- Mahdia-Zaghouan	-	1.00	2.51
Décharges régionales	-	3.18	46.59
Décharges - Djebel Chakir	-	3.69	11

5-3- Evaluation de l'impact de l'utilisation du MDP pour la Tunisie

Nous avons simulé avec le modèle GEMINI-E3 l'impact de l'utilisation du mécanisme de développement propre sur l'économie tunisienne. La méthode retenue consiste pour chacun des projets décrits ci-dessus à les intégrer dans le modèle GEMINI-E3 afin d'évaluer leurs implications. Bien évidemment quelques simplifications ont été nécessaires. Nous avons ainsi supposé que l'ensemble de ces projets sont mises en œuvre à partir de l'année 2008. Nous avons de plus supposé que l'investissement est réalisé en cinq ans sur la période 2008-2012. Après cette période les projets sont supposés opérationnels et produisent à plein leurs effets. Ici encore par souci de simplification nous avons supposé que la durée de vie de ces projets était de 20 ans alors que certains projets ont une durée de vie plus courte et d'autres un peu plus longue. Enfin l'ensemble de ces projets sont supposé financé à 100% par l'étranger¹⁴. Sans ce financement nous avons supposé que ces projets n'auraient pas vu le jour.

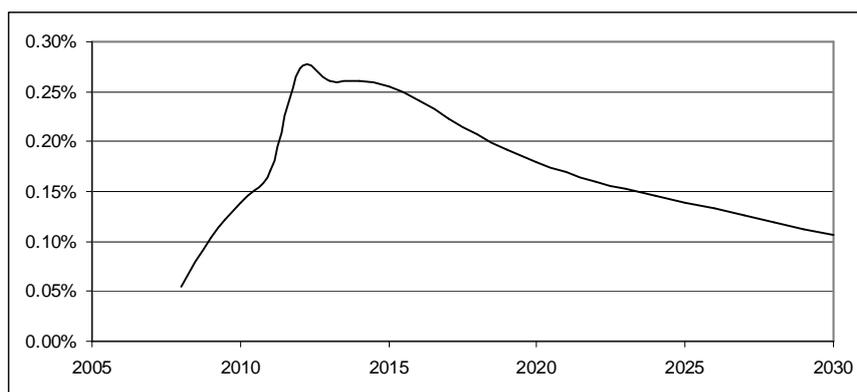
Prenons pour exemple, la mise en place d'éoliennes. Elle se traduit dans un premier temps par une phase d'investissement étalée sur 5 ans, puis la production d'électricité réalisée par ces éoliennes se substitue à des moyens classiques de production d'électricité basés principalement dans le cas de la Tunisie sur des centrales à gaz naturel. Cette substitution permet de diminuer les émissions de CO₂ mais aussi de diminuer les importations par la Tunisie d'hydrocarbures.

Nous avons simulé la mise en place de ces projets dans le cadre de la mise en œuvre du protocole de Kyoto (cf. section 4), les résultats présentés ci-après sont réalisés en écart par rapport à ce scénario, ils permettent d'analyser l'attrait pour la Tunisie de ces instruments. Nous ne présentons les résultats que pour l'économie tunisienne, l'impact sur les autres pays étant limité du fait du poids de celle-ci dans le monde.

L'impact sur le Produit Intérieur Brut (PIB) serait significatif bien que limité. Comme le montre la figure 3, l'augmentation du PIB sur la période 2008-2012 serait dû à un choc de demande consécutif aux investissements réalisés dans les projets MDP en totalité financés par l'extérieur. Ce choc de demande serait ensuite relayé par une augmentation de la capacité productive qui stimulerait la production tunisienne. Comme on peut le constater l'impact maximum est atteint en 2012 avec une augmentation de 0.27% du PIB tunisien, puis l'effet tend à s'estomper l'impact positif venant à être minoré par la croissance économique tunisienne, l'effet positif n'est plus alors en 2020 que de 0.18% et de 0.10% en 2030.

Figure 3 : Variation du PIB tunisien par rapport au scénario Kyoto en %

¹⁴. La part du financement étranger n'est pas toujours définie dans le descriptif des projets, lorsque cela est le cas, cette part est généralement supérieure à 80%.



Les impacts macro-économiques sont détaillés dans le tableau 15, la relance de l'activité économique conduit à une augmentation des importations en volume et ceci malgré la baisse des importations d'hydrocarbures consécutive à la mise en place du MDP. La réévaluation qui s'en suit déprime mais de façon modérée les exportations. La consommation des ménages augmente sur l'ensemble de la période bénéficiant de l'impact positif sur l'activité économique.

Les importations de gaz naturel baisseraient de 12% en 2020 et de 8% en 2030 suite à la substitution d'énergie renouvelable dans le secteur électrique, à la production de méthane dans les décharges et à la récupération des gaz torchés des sites pétroliers.

Au niveau de l'ensemble de la Tunisie les émissions de CO₂ baisseraient de 6.2% et 4.8% respectivement en 2020 et 2030.

La mise en œuvre des projets MDP détaillés dans cette étude est donc bénéfique à la Tunisie, elle lui permet de bénéficier d'un surcroît d'activité économique cependant limité, de détendre sa contrainte énergétique en augmentant son indépendance énergétique et bien évidemment de réduire ses émissions de gaz à effet de serre.

Tableau 15 : Impacts macro-économiques sur l'économie tunisienne écart en % par rapport au scénario Kyoto

	% 2010	% 2020	% 2030
Produit Intérieur Brut	0.16	0.20	0.12
Importations	0.68	0.12	0.04
Consommation	0.49	0.38	0.23
Investissement	1.32	0.00	0.00
Exportations	-0.32	0.02	-0.04

En termes de surplus le gain lié à l'utilisation du MDP est estimé à 0.37% de la consommation des ménages en 2020 et à 0.23% en 2030.

Tableau 16 : Variation de bien-être pour la Tunisie en écart au scénario Kyoto

	2010	2020	2030
en Millions de \$ 2001	85	106	99
en % de la consommation finale	0.44%	0.37%	0.23%

6- Instauration d'un marché mondial de permis d'émission négociables

Nous supposons dans ce scénario, l'institution d'un marché de permis d'émission négociables

au niveau mondial. Les pays de l'annexe B (y compris les États-Unis) conservent les allocations définies en section 4. Pour les pays en développement et afin de les inciter à participer à ce marché, nous supposons que les allocations d'émission sont basées sur les émissions constatées dans le compte de référence. Cette proposition a notamment été avancée dans (Philibert (2000)), elle comporte plusieurs attraits. Tout d'abord elle permet d'intégrer les pays en voie de développement dans une stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre, ensuite elle devrait permettre à ces pays de bénéficier de transferts financiers liés à la vente de permis d'émission et ainsi stimuler leur croissance économique, enfin pour les pays industrialisés elle devrait leur permettre de bénéficier de réductions d'émission à faible coût. Ce scénario permet de simuler en quelque sorte une utilisation sans contrainte du mécanisme de développement propre tant au sujet de l'additionnalité des projets que des secteurs concernés.

Nous avons supposé que l'ex-Union Soviétique ne participait pas à ce marché, car dans ce cas la vente de son *Air Chaud* aurait pour effet de faire tendre le prix du carbone vers zéro au moins pour les premières années (Babiker et al. (2002), Manne and Richels (2001)), et comme l'ont montré Bernard et al. (2003) il serait plus pertinent dans ce cas de supposer que l'ex-Union Soviétique adopte un comportement monopolistique visant à maximiser les gains qu'elle pourrait tirer de la vente de son *Air Chaud*.

Enfin nous avons supposé que la participation des pays en voie de développement aux permis d'émission négociables était restreint à des baisses d'émissions de CO₂ et donc ne s'appliquait pas aux autres gaz à effet de serre (CH₄, N₂O, gaz fluorés) dont le recensement pose problème chez eux.

Comme l'indique le tableau 17, la prise en compte d'un marché de permis d'émission mondial sans contrainte permet de faire chuter le prix du carbone à des niveaux très bas, ce prix est ainsi égal à 4 dollar en 2030.

Tableau 17 : Prix du permis en US \$ par tonne de CO₂ - scénario Marché de permis mondial

	2010	2020	2030
Prix du permis	1	3	4

Le principal pourvoyeur de quotas d'émission négociables est la Chine qui représente dans ce scénario 83% des achats de permis des pays industrialisés (Cf. tableau 18), puis viennent l'Inde et le reste de l'Asie. La Tunisie ne profite que très légèrement des possibilités offertes par ce marché de permis d'émission, ses ventes son égales en 2030 à 68 Mt-EqC. Au niveau des acheteurs de permis, les États-Unis et l'Union Européenne représentent respectivement 46% et 30% des achats en 2030.

Tableau 18 : Vente de permis d'émission négociables en Gt-EqC - scénario Marché de permis mondial

	2010	2020	2030
EUR	-26	-215	-383
XEU	0	-20	-38
FSU	0	0	0

USA	13	-256	-589
CAN	-25	-69	-85
AUZ	-47	-78	-92
JAP	-37	-84	-96
TUN	0.0	0.0	0.1
CHI	103	601	1073
IND	9	61	112
ASI	4	26	39
LAT	2	11	16
MID	2	10	16
AFR	2	14	26
SOMME	0	0	0

Selon le tableau 19 qui donne les variations de CO₂, la Chine voit ses émissions de carbone baisser de 33% en 2030, et l'Inde de 14% reflétant le fait que selon GEMINI-E3, ces pays sont caractérisés par de faibles coûts d'abattement. Les baisses des émissions de CO₂ des pays industrialisés sont bien évidemment limités, elles sont de 4.3% dans le cas des États-Unis et 2.8% pour les pays de l'Union Européenne. Dans la plupart des pays les réductions d'émission de carbone sont obtenues par une réduction de la consommation de charbon qui baisse d'environ 25% au niveau mondial. Concernant la Tunisie l'absence de charbon dans ses consommations d'énergie limite très fortement les réductions d'émission pour de tels prix du carbone et ses émissions ne baissent que 0.8%.

Tableau 19 : Variation des émissions de carbone - scénario Marché de permis mondial

	2010	2020	2030
EUR	-0.5%	-2.3%	-2.8%
XEU	-0.8%	-3.4%	-4.2%
FSU	0.1%	0.3%	0.4%
USA	-0.8%	-3.4%	-4.3%
CAN	-0.4%	-1.8%	-2.1%
AUZ	-0.7%	-3.5%	-4.4%
JAP	-0.3%	-1.9%	-2.4%
TUN	-0.2%	-0.6%	-0.8%
CHI	-6.7%	-25.2%	-32.7%
IND	-2.0%	-10.4%	-14.4%
ASI	-0.7%	-4.0%	-5.3%
LAT	-0.3%	-1.5%	-2.0%
MID	-0.4%	-1.8%	-2.6%
AFR	-0.7%	-3.6%	-5.3%
Monde	-1.8%	-8.7%	-12.6%

L'instauration d'un marché mondial de permis d'émission permet bien évidemment en répartissant de façon plus large les réductions d'émission et en profitant des faibles coûts

d'abattement des pays en voie de développement de réduire le coût de mise en œuvre du protocole de Kyoto. Ce coût pour les pays de l'annexe B est ainsi fortement diminué grâce à la mise en place d'un marché de permis d'émission. Le tableau 20 donne les variations de bien-être dans ce nouveau cas de figure. Pour les pays en voie de développement la participation à ce marché est profitable pour tous sauf pour l'Inde dont les gains liés à la vente de permis d'émission sont compensés par une diminution des gains liés aux termes de l'échange. La moindre baisse des consommations de pétrole et de gaz naturel (les réductions d'émission étant principalement réalisées par une diminution de la consommation de charbon) profite aux pays producteurs de ces énergies dont les pertes sont bien moins importantes. Les pertes de l'ex-Union Soviétique, du Moyen-Orient, de l'Afrique et de l'Amérique Latine sont respectivement de -0.27%, -0.25%, -0.15% et -0.03% en 2030. Pour la Tunisie le coût est pratiquement nul (-0.04% en 2030).

Tableau 20 : Variation de bien-être en % de la consommation finale - scénario Marché de permis mondial

	% 2010	% 2020	% 2030
EUR	0.01	-0.02	-0.06
XEU	-0.03	-0.13	-0.20
FSU	-0.07	-0.21	-0.27
USA	0.00	-0.04	-0.07
CAN	-0.03	-0.19	-0.28
AUZ	-0.14	-0.49	-0.61
JAP	0.01	-0.01	-0.02
TUN	0.00	-0.02	-0.04
CHI	0.02	0.37	0.67
IND	0.01	0.11	0.23
ASI	0.04	0.13	0.16
LAT	-0.01	-0.02	-0.03
MID	-0.07	-0.19	-0.25
AFR	-0.05	-0.13	-0.15
Monde	0.00	-0.02	-0.04

L'instauration d'un marché de permis d'émission négociables ouvert aux pays en voie de développement comporte donc peu d'intérêt pour la Tunisie, en effet sa participation serait très limitée du fait principalement d'un potentiel de réduction d'émissions à très bas coûts peu important.

7- Conclusion

Cette étude a eu pour but d'analyser l'attrait pour la Tunisie de l'utilisation du Mécanisme de Développement Propre proposé par le protocole de Kyoto. Nous avons montré dans une première section que les pays industrialisés parties prenantes du protocole de Kyoto ont tout intérêt à mettre en œuvre ce mécanisme de flexibilité car les coûts d'abattement des gaz à effet de serre auxquels ils font face sont très élevés en comparaison des coûts d'abattement des pays en développement. Puis dans une seconde section, nous avons détaillé les projets en cours de définition en Tunisie devant être éligibles au MDP. Cette étude nous a permis de définir les montants d'investissement, les secteurs concernés et les baisses d'émissions de gaz à effet de serre envisagés. L'introduction de ces projets au sein du modèle GEMINI-E3 nous a permis d'évaluer leurs incidences macro-économiques. Les effets apparaissent bénéfiques sur trois plans. Au niveau économique l'activité supplémentaire générée par ces projets est significative est estimée en moyenne sur l'ensemble de la période à 70 millions de dollar 2001 par an. L'adoption de ces projets permet aussi d'augmenter l'indépendance énergétique de la Tunisie en limitant ses importations de gaz naturel. Enfin ces projets permettent de générer des

baisses d'émissions de gaz à effet de serre, inscrivant la Tunisie dans un développement plus durable. Pour autant la troisième section a montré que des pays comme la Tunisie peuvent être concurrencés sur ce marché du MDP par d'autres pays dont les potentiels d'abattement apparaissent importants et à bas coûts. Notre étude montre ainsi qu'une utilisation large de ce mécanisme de flexibilité bénéficieraient principalement à des pays comme la Chine et l'Inde.

Bibliographie

- Anger (N.), Böhringer (C.), and U. Moslener (2007). "Macroeconomic impacts of the clean development mechanism: The role of investment barriers and regulations". *Climate Policy*, 7, pp. 500–517.
- Arrow (K.J.), Chenery (H.B.), Minhas (B.S.), and R.M. Solow (1961). "Capital-labor substitution and economic efficiency". *Review of Economics and Statistics*, 43, pp. 225–250.
- Awerbuch (Sh.) and Sauter (R.), (2006). "Exploiting the oil–GDP effect to support renewables deployment". *Energy Policy*, 34(17), pp. 2805–2819. Babiker (M. H.), Jacoby (H. D.), Reilly (J. M.), and Reiner D. M. (2002). "The Evolution of a Climate Regime: Kyoto to Marrakech". *Environmental Science & Policy*, 5, pp. 195–206.
- Bernard (A.), (1998). "L'utilisation des modèles d'équilibre général calculables pour l'analyse coût-bénéfice et l'évaluation des politiques". *Economie & Prévision*, 5, pp. 3–18, octobre-décembre.
- Bernard (A.), Paltsev (S.), Reilly (J.M.), M. Vielle, and L. Viguié (2003). *Russia's Role in the Kyoto Protocol*. Report 98, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge MA, June.
- Bernard (A.) and Vielle (M.), (2000). "Comment allouer un coût global d'environnement entre pays : permis négociables versus taxes ou permis négociables et taxes ?" *Economie Internationale*, (82).
- Bernard (A.) and Vielle (M.), (2003). "Measuring the Welfare Cost of Climate Change Policies: A Comparative Assessment Based on the Computable General Equilibrium Model GEMINI-E3". *Environmental Modeling & Assessment*, 8(3), pp. 199–217.
- Bernard (A.) and Vielle (M.), (2008). GEMINI-E3, "A General Equilibrium Model of International National Interactions between Economy, Energy and the Environment". *Computational Management Science*, 5 (3), pp. 173–206, May.
- Bernard (A.), Vielle (M.) and Viguié (L.), (2005). "Premières simulations de la directive européenne sur les quotas d'émission avec le modèle GEMINI-E3". *Economie & Prévision*, 3/4/5 (169-170-171), pp. 171–196.
- Bréchet (T.), Grandjean (G.) and Lussis (B.), (2004). *Le mécanisme pour un développement propre dans le contexte belge : une évaluation macroéconomique*. Technical report, Mars.
- Centre d'Analyse Stratégique (2008). *La valeur tutélaire du carbone, Rapport de la commission présidée par Alain Quinet*. La documentation française, Juin.
- Commissariat Général du Plan (2002). *Effet de serre : modélisation économique et décision publique, Rapport du groupe présidé par Pierre-Noël Giraud*. La documentation Française.
- Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire (2001). *Communication initiale de la Tunisie à la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*. Technical report, République Tunisienne, Octobre.
- Dimaranan (B. V.) (2006). *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 6 Data Base*. Center for Global Trade Analysis Purdue University, Center for Global Trade Analysis, Purdue University, December.
- Duic (N.), Alves (L.M.), Chen (F.) and da Graça Carvalho (M.), (2003). "Potential of Kyoto Protocol Clean Development Mechanism in transfer of clean energy technologies to Small Island Developing States: case study of Cape Verde". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 7, pp. 83–98.
- Edmonds (J.), Pitcher (H.) and Sands (R.), (2004). *Second generation model 2004: An overview*. Technical report, Pacific Northwest National Laboratory.
- Ellerman (A.D.) and Decaux (A.) (1998). *Analysis of post-kyoto CO₂ emissions trading using marginal abatement curves*. Technical report, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change.

- Energy Information Administration (2008). *International Energy Outlook 2008*. EIA/DOE, Washington D.C.
- Guesnerie (R.), (2003). *Kyoto et l'économie de l'effet de serre*. Les rapports du Conseil d'Analyse Economique. La Documentation Française.
- Haites (E.), (2004). *Estimating the market potential for the clean development mechanism: Review of models and lessons learned*. Technical report, Margaree Consultants Inc., January.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. WMO and UNEP.
- International Energy Agency (2007). *World Energy Outlook 2007: China and India Insights*.
- Manne (A.) and Richels (R.) (2001). *US Rejection of the Kyoto Protocol: the impact on compliance costs and CO₂ emissions*. Technical report, September.
- Mathy (S.) (2004). *L'intégration des pays en voie de développement dans les politiques climatiques Application aux secteurs de l'électricité et du transport en Inde*. PhD thesis, Ecoles des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Mars.
- Warwick (J.) McKibbin (1999). *An early action proposal with known costs: A sensible and realistic option for emissions trading in australia*. Technical report, Australian National University and The Brookings Institution.
- Michaelowaa (A.) and Jotzo (F.), (2005). "Transaction costs, institutional rigidities and the size of the clean development mechanism". *Energy Policy*, 33, pp. 511–523.
- Paltsev (S.) (2001). "The Kyoto Protocol: Regional and Sectoral Contributions to the Carbon Leakage". *The Energy Journal*, 22(4), pp. 53–79.
- Philibert (C.), (2000). "How could emissions trading benefit developing countries". *Energy Policy*, 28(13), pp. 947–956, November 2000.
- Schneider (L.), (2007). *Is the CDM fulfilling its environmental and sustainable development objectives? an evaluation of the CDM adoptions for improvement*. Technical report, Öko-Institut, November.
- Ram (M.) Shrestha and A.M.A.K Abeygunawardana (2007). "Small-scale CDM projects in a competitive electricity industry: how good is a simplified baseline methodology?" *Energy Policy*, 35.
- Siliverstovs (B.), Hégaret (G.), Neumann (A.) and von Hirschhausen (Ch.), (2005). "International market integration for natural gas? A cointegration analysis of price in Europe, North America and Japan". *Energy Economics*, 27(4), pp. 603–615.
- Stone (J.R.N.) (1983). "Linear Expenditure Systems and Demand Analysis : An Application to the Pattern of British Demand". *Economic Journal*, 64, pp. 511–527.
- United Nations Development Program (2008). *Human development Report 2007/2008: Fighting Climate Change*. UNDP.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (1997). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. FCCC/CP/1997/L.7/Add.1. United Nations, Kyoto, December.
- Van der Mensbrugge (D.), (1998). *A (preliminary) analysis of the Kyoto protocol : Using the OECD GREEN model*. Technical report, OECD Development Centre.
- Viguier (L.), (2004). "A proposal to increase developing country participation in international climate policy". *Environmental Science & Policy*, 7, pp. 195–204.
- Vrolijk (C.) (1999). *The potential size of the clean development mechanism. In Second International Conference: Emerging markets for emissions trading*. London, 26 April.
- Zhong Xiang Zhang (1999). *Estimating the size of the potential market for all three flexibility mechanisms under the Kyoto protocol*. rapport final de la Banque Mondiale Asiatique de