

Les émissions de CO₂ en Tunisie : Faits stylisés et Décomposition par la méthode LMDI durant la période 1990-2008

Sana Essaber Jouini ^{#1},

[#] ISCAE, Université de Manouba, Tunisie ¹

^{*} Laboratoire d'Economie et de Gestion Industrielle (LEGI),

Ecole Polytechnique de Tunisie, Université de Carthage, Tunisie

¹sabeursana@yahoo.com

Abstract— Le but de cet article est d'effectuer une analyse en longue période de la croissance des émissions de CO₂ pour le cas de la Tunisie. Pour cela nous commençons par décrire sa volatilité et indiquer les faits stylisés qui marquent cet indicateur environnemental dans le temps. Notre analyse révèle une volatilité marquante des émissions durant la période 1970-2010. Cette volatilité s'est relâchée néanmoins en fin de période. Identifier les forces motrices derrière le changement des niveaux des émissions de CO₂ dans le temps serait utile sinon nécessaire pour la mise en place d'une politique économique et énergétique de long terme. C'est le but du travail analytique que nous effectuons dans ce papier.

Nous appliquons alors la technique Log Mean Divisia Index (LMDI) dans sa forme additive sur un ensemble de données tunisiennes de cinq secteurs économiques (manufacturier, agriculture, transport, tertiaire et secteur résidentiel) et nous examinons les facteurs qui expliquent les changements des émissions de CO₂ provenant de ces secteurs pour la période 1990-2008. Les facteurs sont l'effet activité, l'effet structure, l'effet intensité, l'effet energy mix et l'effet facteur d'émission. Nous trouvons que les principaux facteurs qui expliquent les variations des émissions de CO₂ sont les changements dans l'effet activité et dans l'effet intensité. L'observation des résultats annuels de la décomposition montre aussi que la variation annuelle des émissions de CO₂ n'affiche pas une évolution stable durant la période étudiée. Cela confirme nos premiers constats portant sur la volatilité des émissions de carbone dans le pays durant la période étudiée.

Keywords— Analyse de décomposition, Emissions de dioxyde de carbone, Faits stylisés, Tunisie

I. INTRODUCTION

Les émissions croissantes des gaz à effet de serre (GES) sont imputées essentiellement à une forte consommation de combustibles polluants pour répondre aux besoins de croissance des pays. Toutes choses égales par ailleurs, une croissance économique s'accompagne d'un accroissement des émissions de CO₂. Ces effets peuvent être minimisés en diminuant l'intensité énergétique. Cela serait possible grâce à une autre répartition entre les différentes formes d'énergie

utilisées, ou par le recours à des énergies renouvelables, ou aussi par des innovations technologiques adoptées. Identifier les facteurs qui contribuent à la hausse des émissions de carbone provenant de la consommation de l'énergie pourrait de ce fait aider à élaborer les politiques de maîtrise de l'énergie et des scénarios futurs de mix énergétiques pour atteindre une meilleure efficacité énergétique et lutter contre le changement climatique sans sacrifier la croissance économique. Des analyses de décomposition sont utilisées à cet effet. Leur principe est de séparer les changements enregistrés dans le temps des émissions de carbone qui sont reliées à l'énergie, en contributions provenant de différents facteurs spécifiques et en se basant sur l'identité de Kaya (Kaya, 1990). Ainsi trois effets sont d'abord mis en exergue: l'effet d'échelle ou d'activité, l'effet structure de l'activité, et l'effet intensité pour expliquer les variations dans le temps, annuelles ou totales, des émissions de CO₂. D'autres effets ont été introduits dans l'analyse de décomposition qui a vu un développement aussi bien des techniques appliquées que des facteurs discernés dans les études plus récentes.

Notre revue de la littérature révèle que les études ont porté essentiellement sur les pays développés et peu d'études se sont intéressées aux pays en développement et aucune n'a été effectuée pour le cas spécifique de la Tunisie. Dans ce contexte, notre objectif est de donner une contribution au débat théorique et empirique. Au niveau théorique, nous avons élaboré un modèle inspiré de la structure décrite dans Ang (1994, 1995) que nous avons vérifié ensuite empiriquement. Nous cherchons, en effet, à comprendre les forces qui ont amené vers l'évolution enregistrée durant les dernières décennies des émissions de carbone en Tunisie. Les résultats de cette analyse peuvent aider à juger de la portée des mesures adoptées pour maîtriser la consommation d'énergie, et par là les émissions de carbone qui lui sont reliées, et pourraient aussi guider les politiques futures d'efficacité énergétique dans le pays.

La deuxième section de ce travail sera consacrée à une analyse de longue période (1970-2010) de la croissance des émissions de CO₂ pour le cas de la Tunisie en décrivant sa

volatilité et en indiquant les faits stylisés qui marquent cet indicateur environnemental dans le temps. Dans la troisième section, nous présentons la technique LMDI retenue pour décomposer les émissions de CO₂ provenant des secteurs économiques tunisiens durant la période 1990-2008. Les résultats de cette décomposition et leurs interprétations feront l'objet de la quatrième section de ce papier. Enfin, nous concluons dans la dernière section

II. EMISSIONS DE CO₂ EN TUNISIE: QUELQUES FAITS STYLISÉS

La répartition des émissions de GES montre que les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) représentent la part prépondérante des émissions actuellement en Tunisie avec environ 98%. Le reste est réparti entre les émissions de méthane (CH₄) et d'oxyde nitreux (N₂O).

L'utilisation de l'énergie génère surtout des émissions de CO₂ qui provient du carbone contenu dans les combustibles. Cela explique la prépondérance de ce gaz dans l'ensemble des émissions du secteur de l'énergie et son utilisation comme indicateur des émissions de GES dans la majorité des travaux empiriques, pour analyser la relation entre consommation de l'énergie et émissions de GES. L'observation du cas tunisien montre une volatilité marquée des émissions durant la période 1970-2010. Cette volatilité est présentée dans la figure (2). La figure 1 retrace le taux de croissance des émissions de CO₂ par tête, la consommation d'énergie par tête et le PIB par tête durant la période 1970-2010.

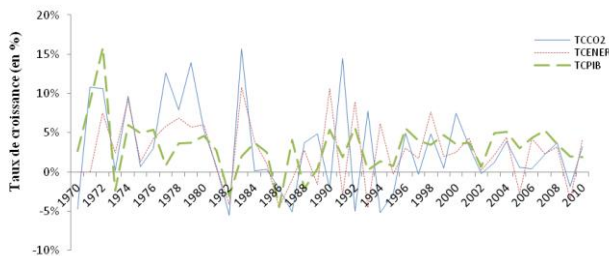


Fig. 1: Taux de croissance des émissions de CO₂ par tête, la consommation d'énergie par tête et le PIB par tête en Tunisie (1970-2010)

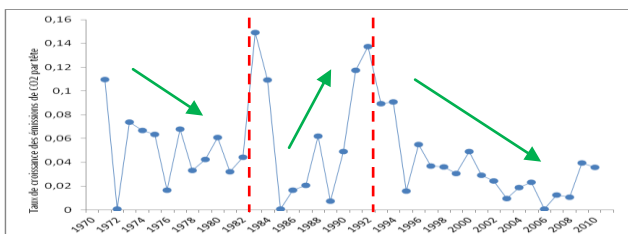


Fig. 2 : Volatilité au cours du temps du taux de croissance des émissions de CO₂ par tête en Tunisie (1970-2010)

Ces deux graphiques nous permettent de dégager les constats suivants :

L'observation en longue période de la croissance des émissions de CO₂ est caractérisée par un relâchement de la volatilité. Néanmoins, trois sous-périodes alternant une tendance à la baisse succédant à une phase haussière marquent cette volatilité.

- **Phase 1 (1970-1982) :** l'accès facile aux carburants suite à la production nationale de produits pétroliers, couplée à une phase d'industrialisation intensive durant les années 70 justifie la forte demande pour l'énergie et par suite les émissions de CO₂ qui en découlent. Néanmoins, ce rythme a baissé suite aux effets notables des deux crises pétrolières sur la consommation de l'énergie. En absence de politique de maîtrise de l'énergie dans le pays durant cette période, l'explication de la baisse de la volatilité des émissions de CO₂ pourrait trouver son origine dans la baisse du rythme de croissance aggravée par la crise d'endettement des années 80.
- **Phase 2 (1983- 1993) :** la consommation de l'énergie a enregistré un taux élevé (11%) en 1983 et 1992 faisant preuve d'une forte demande due au rythme de croissance accélérée des secteurs industriels dits énergivores tels que les IMCCV2 et les mines. Cela est illustré dans la figure 1 qui montre que cette hausse de la consommation d'énergie est couplée par une hausse des émissions de carbone de 15%. En effet, l'économie a connu un regain de la croissance, fruit de réformes structurelles que la Tunisie a adopté depuis le milieu des années 80. Cela s'est traduit par l'évolution positive et croissante des émissions de CO₂ durant cette sous-période.
- **Phase 3 (1994-2010) :** Mais depuis, la crise d'endettement qu'a connu le pays dans les années 80 a pesé lourd sur le rythme de la croissance, de la consommation de l'énergie et des émissions de carbone comme nous pouvons le constater par le rythme décroissant de la volatilité du taux de croissance des émissions de CO₂ avec une reprise en 2006 (Figure 2) et les taux en baisse de ces trois indicateurs³ cités (Figure 1). Un autre constat attire notre attention : depuis 2002 le taux de croissance économique a dépassé en valeur ceux de la consommation de l'énergie et des émissions de CO₂. Cela peut expliquer pourquoi les deux intensités énergétiques primaire et finale ont commencé à décroître atteignant respectivement

2 Industries de Matériaux de Construction, Céramique et Verre

3 A partir du milieu des années quatre vingt dix, les ressources en énergie arrivent à peine à couvrir la demande nationale en énergie. Cela est attribué au tassement de la production nationale de produits pétroliers face à une consommation d'énergie qui ne cesse de s'accroître. Ces ressources ont d'ailleurs accusé une baisse en 1996, et c'est la mise en exploitation du gisement de gaz off-shore de Miskar dans le Golf de Gabes en cette même année qui a augmenté les réserves.

¹ La volatilité du taux de croissance des émissions de CO₂ est mesurée par l'écart type du taux de croissance des émissions de CO₂ par tête sur la période considérée. Les données sont tirées de la Banque Mondiale, WDI (2013a)

0,31 et 0,24 tep/1000 DT PIB en 2008 par comparaison respectivement à 0,42 et 0,32 tep/1000 DT PIB en 1985. Cette baisse semble être liée aux conséquences de la politique de maîtrise de l'énergie suivie par le pays à partir de 1986 (création de l'AME⁴) et au changement structurel de la structure de production de l'économie tunisienne qui s'est traduit par la baisse de la part relative des industries grosses consommatrices d'énergie en faveur des industries moins énergivores et des services.

III. Décomposition LMDI des émissions totales de CO₂ en Tunisie durant 1990-2008

A. Technique de décomposition : L'approche LMDI

Les différentes méthodologies ont été développées spécialement pour décomposer l'énergie et les émissions de CO₂. Ang (2004, 2005) fournit une synthèse des différentes méthodes ainsi que leurs avantages et inconvénients relatifs et conclut que la méthode LMDI est la meilleure méthode, grâce à ses propriétés mathématiques : une décomposition parfaite, une cohérence dans l'agrégation et la possibilité de traiter avec des valeurs nulles. De même, LMDI est facile à appliquer quelque soit le nombre de facteurs inclus dans l'analyse et c'est pourquoi elle est préférée aux autres méthodes (Xu et Ang, 2013). Nous choisissons pour notre travail d'appliquer la méthode de décomposition LMDI dans sa dimension additive et en utilisant des séries annuelles s'étalant de 1990 à 2008.

Notre objectif est de procéder à une analyse de décomposition des émissions totales de CO₂ en Tunisie sur une période allant de 1990 à 2008. Nous construisons à cet effet, une base de données agrégée et sectorielle de l'économie tunisienne portant sur différents types de variables économiques et environnementales⁶ : le Produit intérieur brut en millions de dinars tunisiens (MDT) aux prix constants de 2005, la valeur ajoutée par secteur en MDT aux prix constants de 2005, la consommation privée⁷ en MDT aux prix constants de 2005, la consommation d'énergie finale totale et par secteur en milliers de tonnes équivalent pétrole (ktep), la consommation par type d'énergie de chaque secteur en milliers de tonnes équivalent pétrole (ktep), les émissions totales de dioxyde de carbone en 1000teCO₂, les émissions de CO₂ par secteur final en 1000teCO₂, les émissions provenant de chaque type de combustible consommé et par secteur en 1000teCO₂, et la population totale, en milliers.

⁴ Agence de Maîtrise de l'Energie appelée aujourd'hui ANME : Agence Nationale de Maîtrise de l'Energie

⁵ Le choix de cette période nous a été imposé par la disponibilité des données.

⁶ Les données énergétiques sont collectées de l'Agence Nationale de Maîtrise de l'Energie (ANME). Le PIB et les valeurs ajoutées par secteur sont tirés des comptes nationaux, des Statistiques Financières Internationales et de l'Institut National de Statistiques (INS) aux prix constants de 1990. Nous avons effectué des transformations sur les données pour les exprimer aux prix constants de 2005. Les données sur la population sont tirées de l'INS.

⁷ Le secteur résidentiel ne présente pas de valeur ajoutée, son intensité énergétique est calculée par le ratio entre la consommation d'énergie finale et les dépenses totales de consommation privée durant la période.

⁸ Kilo tonnes équivalent CO₂ noté aussi kteCO₂

Nous utilisons une « identité de Kaya prolongée » qui permet une analyse détaillée des changements dans les émissions de CO₂ (Zhang and Ang, 2001; Wang et al., 2005; Hatzigeorgiou et al., 2008; Ma and Stern, 2008). Nous rassemblons à cet effet les facteurs reliés au changement dans : la production, le développement démographique, la structure, l'intensité énergétique, le fuel mix, et le facteur d'émission de chaque combustible.

B. Le modèle de décomposition LMDI des émissions totales de CO₂ en Tunisie:

Nous calculons les émissions de CO₂ reliées à l'énergie (C) par la formule (1) suivante, avec j indiquant les secteurs et i les types de combustibles utilisés en Tunisie:

$$C = \sum_{ji} C_{ji} \quad (1)$$

Nous utilisons un modèle hybride comme dans Wu et al. (2005, 2006) et O'Mahony (2012) pour appliquer l'approche de décomposition additive aux émissions de carbone reliées à l'énergie des secteurs productifs de l'économie tunisienne qui consomment les combustibles, à savoir le secteur manufacturier, agriculture, transport et tertiaire, ainsi que du secteur résidentiel.

Les changements dans les émissions de CO₂ dans les quatre secteurs productifs en Tunisie (L'Agriculture, les Industries manufacturières, le Transport et le secteur Tertiaire) entre deux années (t) et (t-1) de 1990 à 2008 se présentent comme la somme des changements dus aux changements dans l'activité ($\Delta Cact$), changements dans la structure intersectorielle ($\Delta CStr$), changements dans l'intensité énergétique (ΔCIE), changements dans le fuel mix ou mix énergétique (ΔCEM), et changements dans le facteur d'émission (ΔCU).

Les changements dans les émissions provenant du secteur résidentiel sont décomposés en effet population ($\Delta Cpop$), effet intensité énergétique (ΔCIE), effet energy mix (ΔCEM) et effet facteur d'émissions de CO₂ (ΔCU).

Les émissions totales de carbone sont ainsi décrites par l'équation (2) suivante:

$$C = \sum_{ji} PIB \times \frac{VA_j}{PIB} \times \frac{E_j}{VA_j} \times \frac{E_{ji}}{E_j} \times \frac{C_{ji}}{E_{ji}} + \sum_i P \times \frac{E_s}{P} \times \frac{E_{s,i}}{E_s} \times \frac{C_{s,i}}{E_{s,i}} \quad (2)$$

$$C = \sum_{ji} PIB \times S_j \times IE_j \times EM_{ji} \times U_{ji} + \sum_i P \times IE_s \times EM_{s,i} \times U_{s,i} \quad (3)$$

- C représente les émissions de carbone reliées à l'énergie dans les cinq secteurs de consommation d'énergie finale à savoir: l'agriculture, les industries manufacturières, le transport, le tertiaire et le secteur résidentiel (j=1 à 5 respectivement) ;
- i représente les différents types d'énergie, i=1, 2, 3, 4 (i=1 Produits pétroliers; i=2 Gaz naturel ; i=3 Charbon; i=4 Electricité);

- E_i représente la consommation du type d'énergie i ;
- PIB représente le produit intérieur brut;
- VA_j représente la valeur ajoutée du secteur productif j ;
- E_j représente la consommation d'énergie du secteur de production j ;
- E_{ji} représente la consommation du type d'énergie i du secteur j ;
- C_{ji} représente les émissions causées par le type d'énergie i du secteur j ;
- P représente la population totale;
- S_j (structure économique) représente la proportion du PIB émanant de la production du secteur j ;
- IE_j représente l'intensité énergétique du secteur j ;
- EM_{ji} (energy mix) représente la part dans la consommation totale de l'énergie du secteur j provenant de la consommation du type d'énergie i ;
- U_{ji} représente le coefficient d'émission de carbone du type d'énergie i du secteur j ;
- E_{si} représente la consommation du type d'énergie i du secteur résidentiel;
- C_{si} représente les émissions de carbone causées par le type d'énergie i de la part du secteur résidentiel;
- IE_5 représente la consommation d'énergie par tête;
- EM_{5i} (energy mix) représente la part dans la consommation de l'énergie totale du secteur résidentiel provenant du type d'énergie i ;
- U_{5i} représente le coefficient d'émission de carbone du type d'énergie i du secteur résidentiel.

Les changements dans les émissions de carbone entre deux années (t) et ($t-1$) peuvent être présentés sous forme d'une combinaison linéaire, d'une somme de neuf effets comme suit :

$$\Delta C = C_t - C_{t-1} = \Delta C_{Act} + \Delta C_{Sj} + \Delta C_{IEij} + \Delta C_{EMji} + \Delta C_{Uji} + \Delta C_P + \Delta C_{IE5i} + \Delta C_{EM5i} + \Delta C_{U5i} \quad (4)$$

Où la décomposition additive de l'approche LMDI est menée comme suit:

$$\Delta C_{act} = \sum_{ji} \frac{C_{ji}^t - C_{ji}^{t-1}}{\ln C_{ji}^t - \ln C_{ji}^{t-1}} \ln \left(\frac{PIB^t}{PIB^{t-1}} \right) \quad (5)$$

$$\Delta C_{S_j} = \sum_{ji} \frac{C_{ji}^t - C_{ji}^{t-1}}{\ln C_{ji}^t - \ln C_{ji}^{t-1}} \ln \left(\frac{S_j^t}{S_j^{t-1}} \right) \quad (6)$$

$$\Delta C_{IE_j} = \sum_{ji} \frac{C_{ji}^t - C_{ji}^{t-1}}{\ln C_{ji}^t - \ln C_{ji}^{t-1}} \ln \left(\frac{IE_j^t}{IE_j^{t-1}} \right) \quad (7)$$

$$\Delta C_{EM_{j_i}} = \sum_{ji} \frac{C_{ji}^t - C_{ji}^{t-1}}{\ln C_{ji}^t - \ln C_{ji}^{t-1}} \ln \left(\frac{EM_{ji}^t}{EM_{ji}^{t-1}} \right) \quad (8)$$

$$\Delta C_{U_{j_i}} = \sum_{ji} \frac{C_{ji}^t - C_{ji}^{t-1}}{\ln C_{ji}^t - \ln C_{ji}^{t-1}} \ln \left(\frac{U_{ji}^t}{U_{ji}^{t-1}} \right) \quad (9)$$

$$\Delta C_P = \sum_{ki} \frac{C_{ki}^t - C_{ki}^{t-1}}{\ln C_{ki}^t - \ln C_{ki}^{t-1}} \ln \left(\frac{P^t}{P^{t-1}} \right) \quad (10)$$

$$\Delta C_{IE_{5,i}} = \sum_{ji} \frac{C_i^t - C_i^{t-1}}{\ln C_i^t - \ln C_i^{t-1}} \ln \left(\frac{IE_5^t}{IE_5^{t-1}} \right) \quad (11)$$

$$\Delta C_{EM_{5,i}} = \sum_i \frac{C_i^t - C_i^{t-1}}{\ln C_i^t - \ln C_i^{t-1}} \ln \left(\frac{EM_{5,i}^t}{EM_{5,i}^{t-1}} \right) \quad (12)$$

$$\Delta C_{U_{5,i}} = \sum_i \frac{C_i^t - C_i^{t-1}}{\ln C_i^t - \ln C_i^{t-1}} \ln \left(\frac{U_{5,i}^t}{U_{5,i}^{t-1}} \right) \quad (13)$$

L'activité économique et la taille de la population reflètent le changement de l'effet activité. L'intensité énergétique et la consommation d'énergie par tête reflètent le changement de l'effet intensité. La structure économique, le mix énergétique des secteurs productifs et du secteur résidentiel reflètent le changement de l'effet structure.

IV- RÉSULTATS DE LA DÉCOMPOSITION :

La décomposition LMDI que nous avons effectué est parfaite dans le sens que la variation des émissions de CO2 entre deux années est égale à la somme des effets des différents facteurs supposés influencer cette variation dans notre travail (Tableau 1). Cela est vérifié pour toute la période étudiée, conformément à l'équation (4) du modèle présenté dans la section 3.2 précédente.

Il est clair que la hausse des émissions de CO2 est due essentiellement à l'effet activité. Nous trouvons que cet effet présente toujours un signe positif sur la période 1990-2008. Selon Reddy and Ray (2010), l'effet activité peut être positif quand plus d'output est produit avec la même quantité d'énergie ce qui implique une meilleure efficacité énergétique.

Le deuxième effet important pour le cas tunisien c'est l'effet intensité. La moyenne sur toute la période affiche un signe négatif (-2742). De même pour l'effet structure qui en moyenne vient en troisième position. Cela signifie qu'il y a eu une amélioration significative dans l'efficacité énergétique et que la composition de l'économie tunisienne est devenue moins intensive en énergie au fil du temps. L'effet structure montre des changements dans le mix productif de l'économie. Il est induit par les changements dans la composition du PIB. Quand cet effet présente un signe négatif, il implique un déplacement vers des industries moins intensives en énergie et ceci pourrait causer une baisse de l'intensité énergétique durant la période étudiée 1990-2008. C'est le cas des secteurs productifs de l'économie tunisienne à partir des années 2000. Notons que la moyenne de toute la période 1990-2008 indique un signe négatif de l'effet structure. Ceci peut signifier que l'effet de changement de structure du PIB en faveur des services en Tunisie depuis 2000 l'emporte sur l'effet induit par les activités plus intensives en énergie début de période.

TABEAU 1 : RESULTATS DE LA DECOMPOSITION DES EMISSIONS DE CO₂ LIEES A LA CONSOMMATION FINALE DE L'ENERGIE DES SECTEURS FINAUX DE L'ECONOMIE UNISIENNE

	Emissions totales de CO ₂	Variations	ΔC due à l'activité	ΔC due à la structure	ΔC due à l'intensité	ΔC due au mix énergétique	ΔC due au facteur d'émissions de CO ₂	ΔC due à la population	ΔC due à l'intensité	ΔC due au mix énergétique	ΔC due au facteur d'émissions de CO ₂	Différences du modèle
1990	9095											
1991	9383	288	348	(180)	142	(54)	(68)	22	79	(1)	1	288
1992	9842	459	663	50	(253)	(23)	(46)	24	57	(11)	(1)	459
1993	10037	195	225	65	(79)	(15)	(72)	12	75	(17)	0	195
1994	10040	3	293	152	(491)	(28)	81	31	(8)	(25)	(3)	3
1995	10334	294	188	22	11	(33)	(17)	26	94	3	(1)	294
1996	10804	469	401	(526)	566	16	(39)	21	38	(4)	(2)	469
1997	11143	339	1010	(274)	(453)	(14)	(5)	20	67	(14)	1	339
1998	11584	441	479	48	(126)	(68)	37	20	47	5	(1)	441
1999	12246	663	704	1	(34)	(57)	(7)	21	24	9	2	663
2000	12940	694	401	105	296	(15)	(104)	17	18	(21)	(3)	694
2001	13228	288	582	(72)	(421)	44	61	17	95	(17)	(1)	288
2002	13018	-210	121	(298)	(22)	(123)	80	18	25	(9)	(1)	-210
2003	13119	101	720	(350)	(151)	(117)	(35)	17	54	(34)	(2)	101
2004	13629	510	694	(98)	(75)	(103)	35	18	35	(3)	7	510
2005	13586	-43	380	(9)	(328)	(128)	0	18	32	(8)	-	-43
2006	13650	64	788	(258)	(322)	(23)	0	18	(59)	(81)	-	64
2007	14014	364	688	(18)	(251)	(33)	1	17	(16)	(23)	-	364
2008	13795	-218	610	27	(750)	(77)	1	18	(17)	(31)	-	-218
Total			9 295	(1 614)	(2 742)	(851)	(98)	354	640	(280)	(3)	

Notes: Emissions de CO₂ en 1000teCO₂, Consommation d'énergie en ktep, la production des secteurs productifs en MDT à prix constants de 2005, et l'intensité énergétique en tep/1000DT. Les valeurs entre parenthèses sont négatives.

Quant à l'effet intensité, il mesure les progrès dans l'efficacité énergétique, les changements technologiques ou d'autres facteurs qui ne sont pas liés au volume de production ou sa composition. Dans le cas de l'économie tunisienne, cet effet est négatif pour les secteurs productifs ce qui signifie qu'il y a une baisse dans la consommation d'énergie totale par unité de PIB impliquant ainsi une meilleure utilisation de l'énergie.

Le changement du coefficient de pollution ou l'effet intensité de CO₂ est défini par le ratio entre les émissions de CO₂ et la consommation d'énergie. Il reflète les changements dans la qualité et la nature des combustibles. Il est aussi appelé l'effet carbonisation (Andreoni and Galmarini, 2012). Il est négatif dans notre cas d'étude ce qui signifie que ce facteur contribue à la baisse des émissions de CO₂ entre 1990 et 2008.

Ceci peut être attribué à l'amélioration dans la qualité du combustible et dans les technologies de lutte contre la pollution.

Enfin, le changement dans le mix énergétique remplaçant le pétrole par le gaz naturel et le recours aux énergies renouvelables, associés au développement des technologies, permettent de réduire l'intensité d'émissions de CO₂ des activités industrielles (Andreoni and Galmarini, 2012).

L'analyse de décomposition des émissions de carbone résidentielles révèle que l'intensité énergétique contribue de manière marquante à la hausse du niveau cumulé des émissions durant la période étudiée, suivie de l'effet de la population, les deux présentant une moyenne positive sur la période 1990-2008.

Nous remarquons néanmoins que le signe de l'effet intensité devient négatif à partir de 2006. Cela pourrait être expliqué par les performances enregistrées en matière d'efficacité énergétique particulièrement reliées aux systèmes d'éclairage et de chauffage.

Pour mieux analyser les tendances des différents facteurs qui contribuent à la variation des émissions de carbone, totales et annuelles, nous récapitulons dans le tableau 2 les

résultats de la décomposition des émissions de carbone provenant des secteurs productifs et du secteur résidentiel de l'économie tunisienne durant 1990-2008. Nous divisons la période en trois sous-périodes (1990-1995), (1996-2000) et (2001-2008).

TABLEAU 2 : RESULTATS DE LA DECOMPOSITION DES CHANGEMENTS DANS LES EMISSIONS DE CO₂ RELIEES A LA CONSOMMATION D'ENERGIE EN MOYENNE (EN 1000TECO₂)

	1990-1995	1996-2000	2001-2008	1990-2008
Secteurs productifs				
Effet activité (ΔE _{act})	343,4	599	572,8	486,2
Effet structure (ΔE _{str})	21,8	-129,2	-134,5	-84,9
Effet intensité (ΔE _{int})	-134	49,8	-290	-144,3
Effet energy mix (ΔE _{EM})	-30,6	-27,6	-70	-44,7
Effet facteur d'émission (ΔE _U)	-24,4	-23,6	17,8	-5,1
Effet total secteurs productifs	176,2	468,4	96,1	207,2
Secteur résidentiel				
Effet population (ΔE _{pop})	23	19,8	17,6	18,6
Effet intensité (ΔE _{int})	59,4	38,8	18,6	33,6
Effet energy mix (ΔE _{EM})	-10,2	-5	-25,7	-14,7
Effet facteur d'émission (ΔE _U)	-0,8	-0,6	0,3	-0,15
Effet total secteur résidentiel	71,4	53	10,8	37,3
Effet total	247,6	521,4	106,9	244,5

Source : Données de l'ANME et de l'INS et calculs de l'auteur

Nos calculs montrent que les principaux facteurs qui expliquent les variations des émissions de CO₂ sont les changements dans l'effet activité et dans l'effet intensité. L'observation des résultats annuels de la décomposition montre aussi que la variation annuelle des émissions de CO₂ n'affiche pas une évolution stable durant la période étudiée. Cela est d'ailleurs confirmé dans la figure 3 suivante:

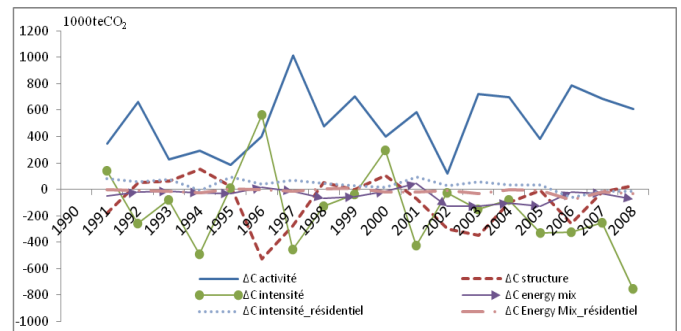


Fig. 3: Résultats annuels de la décomposition des changements des émissions de CO₂ totales (1990-2008)

Plusieurs constats émergent de l'observation de ce graphique. Tout d'abord il est évident que le signe positif et important de l'effet activité est compensé par le signe négatif et relativement important de l'effet intensité sur la période étudiée. Ensuite, nous remarquons que la tendance de l'effet intensité suit de près celle de l'effet structure et ce à partir de l'année 1996. L'effet structure négatif signifie un déplacement de l'économie vers des secteurs moins énergivores et donc moins émetteurs en dioxyde de carbone. Cela justifierait l'étroite relation entre l'impact de l'effet intensité et l'impact de l'effet structure sur l'effet total. Le mix énergétique n'a pas présenté quand à lui un impact important et il est resté à peu près stable jusqu'à 2001. Depuis cette date, son impact devient plus significatif et est négatif. Nous pouvons même dire que les deux effets intensité et mix énergétique ont réussi à adoucir l'effet positif et notable de l'effet activité sur l'effet total des émissions de CO₂ que ce soit à l'échelle globale ou à l'échelle annuelle surtout après 2000.

La contribution moyenne de chacun des six effets étudiés sur le changement total des émissions de CO₂ reliées à la consommation de l'énergie est illustrée dans le tableau 3 suivant:

TABLEAU 3 : L'IMPACT DES EFFETS ACTIVITE, STRUCTURE, INTENSITE, ENERGY MIX, FACTEUR D'EMISSION ET POPULATION SUR LES VARIATIONS TOTALES DES EMISSIONS DE CO₂, EN 1000TECO₂ ET EN POURCENTAGE

	ΔE _{tot}	ΔE _{act}	ΔE _{str}	ΔE _{int}	ΔE _{EM}	ΔE _U	ΔE _{pop}	ΔE _{int} _{Res}	ΔE _{EMRes}	ΔE _U _{Res}
Contributions Absolues	4 701	9 295	-1 614	-2 742	-851	-98	354	640	-280	-3
Contribution Relative (%)	100	198	-34	-58	-18	-2	8	14	-6	0

Source: Calculs de l'auteur

V- CONCLUSION :

Identifier les forces motrices derrière le changement des niveaux des émissions de CO₂ qui sont reliées à l'énergie dans le temps serait utile sinon nécessaire pour la mise en place d'une politique économique et énergétique de long terme. C'était le but du travail analytique que nous avons effectué dans ce papier. A cet effet, nous avons procédé à une

analyse de décomposition globale en plusieurs facteurs clés de la variable émissions de CO2 (les facteurs sont l'effet activité, l'effet structure et l'effet intensité, l'effet population, l'effet energy mix et l'effet facteur d'émission) en appliquant l'approche LMDI (Log Mean Divisia Index) sur la période 1990-2008. Cette analyse rétrospective nous a permis de cerner quels sont les facteurs qui contribuent à la hausse et ceux qui contribuent à la baisse du total changement de la variable étudiée. Nous avons trouvé que ce sont les changements dans l'activité et l'intensité énergétique qui affectent le plus les émissions de CO2 reliées à la consommation de l'énergie. En effet, dans les secteurs productifs (agriculture, industrie, transport et tertiaire), la composante activité économique semble être le facteur dominant derrière la croissance de la consommation d'énergie et par conséquent les émissions de CO2 pendant la période étudiée. Cette hausse a été freinée par l'effet intensité qui présente un effet cumulé négatif réduisant ainsi les émissions de CO2 durant cette période.

Toutefois, dans le secteur résidentiel nous trouvons que c'est essentiellement la variation de l'effet intensité qui explique la variation des émissions de CO2.

Pour une meilleure synthèse des résultats obtenus, nous avons résumé nos principaux constats sur les émissions de carbone dans le tableau 4 ci-dessous. Les symboles "Increase", "Decrease", "Mixed", and "Marginal" indiquent que l'effet conduit essentiellement à la hausse, à la baisse, à un changement tantôt vers la hausse tantôt vers la baisse, et enfin à un effet marginal sur la variation cumulée des émissions de CO2.

Tableau 4: Synthèse des impacts de l'effet activité, effet structure, effet intensité, effet energy mix, effet coefficient de carbone et effet population sur le total des émissions de carbone durant 1990-2008

Application area	Effet Activité	Effet Structure	Effet Intensité	Effet Mix Energétique	Effet coefficient de carbone	Effet Population
Agriculture	Increase (↑)	Mixed	Mixed	Mixed	Marginal	-
Manufacturing	Increase (↑)	Mixed	Mixed	Mixed	Mixed	-
Transport	Increase (↑)	Mixed	Mixed	Mixed	marginal	-
Tertiary	Increase (↑)	Increase (↑)	Mixed	Decrease (↓)	Mixed	-
Residential	-	-	Mixed	Decrease (↓)	Marginal	Increase (↑)
Economy-wide	Increase (↑)	Decrease (↓)	Decrease (↓)	Decrease (↓)	Decrease (↓)	Increase (↑)

REMERCIEMENTS:

Je voudrais remercier Pr Sudhakara Reddy et Dr Binay Ray pour leur précieuse contribution dans cet article.

References

- [1] Andreoni V. and S. Galmarini, 2012, "Decoupling economic growth from carbon dioxide emissions : A decomposition analysis of Italian energy consumption", Energy XXX, pp:1-10
- [2] Ang B.W., H.C. Huang and A.R. Mu, 2009. Properties and linkages of some index decomposition analysis methods. Energy Policy, 37, pp 4624-4632.
- [3] Ang BW, Liu Na., 2007. Energy decomposition analysis: IEA model versus other methods. Energy Policy, 35(3), pp1426-32.
- [4] Ang, B.W., 2005. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. Energy Policy, 33, pp 867-871.
- [5] Ang, B.W., 2004. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?. Energy Policy, 32.
- [6] Ang BW., 1995. Decomposition methodology in industrial energy demand analysis. Energy, 20(11), pp1081-95.
- [7] Ang, B.W., Choi, K.H., 1997. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method. The Energy Journal, 18 (3), pp 59-73.
- [8] Ang, B.W., Zhang, F.Q., 2000. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. Energy, 25, pp1149-1176.
- [9] Banque Mondiale, 2013, World Developmet Indicators, accessible en ligne: <http://www.worldbank.org/data/onlinebases/onlinebases.htm>
- [10] Hatzigeorgiou E, Polatidis H, Haralambopoulos D., 2008, "CO2 emissions in Greece for 1990-2002: a decomposition analysis and comparison of results using the AMDI and LMDI techniques", Energy 33, pp: 492-9.
- [11] Kaya Y., 1990, "Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios", Paper presented to the IPCC Energy 22 and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Paris, (mimeo).
- [12] Ma C. and Stern D., 2008, "China's changing energy intensity trend: a decomposition analysis", Energy Economics 30, pp: 1037-1053.
- [13] National Institute of Statistic of Tunisia, See: <http://www.ins.nat.tn/indexfr.php/>
- [14] O'Mahony T., Zhou P., Sweeney J., 2012, "The driving forces of change in energy related CO2 emissions in Ireland: a multi-sectoral decomposition from 1990 to 2007", Energy Policy 44, pp: 256-267.
- [15] Reddy B.S. and B.K. Ray, 2010. Decomposition of energy consumption and energy intensity in Indian manufacturing industries. Energy for Sustainable Development, 14, pp 35-47.
- [16] Xu X.Y. and Ang B.W., 2013, "Index decomposition analysis applied to CO2 emission studies", Ecological Economics 93, pp: 313-329
- [17] Wang C, Chen JN, Zou J., 2005, "Decomposition of energy-related CO2 emission in China: 1957-2000", Energy 30, pp: 73-83.
- [18] Wu L., Kaneko S. and Matsuoka S., 2006, "Dynamics of energy-related CO2 emissions in China during 1980 to 2002: the relative importance of energy supply-side and demand-side effects", Energy Policy 34, pp: 3549- 3572.
- [19] Wu L., Kaneko S., Matsuoka S., 2005, "Driving forces behind the stagnancy of China's energy-related CO2 emissions from 1996 to 1999: the relative importance of structural change, intensity change and scale change", Energy Policy 33, pp: 319-335.
- [20] Zhang FQ and Ang BW., 2001. Methodological issues in cross-country/region decomposition of energy and environment indicators. Energy Econ, 23(2), pp179-90.