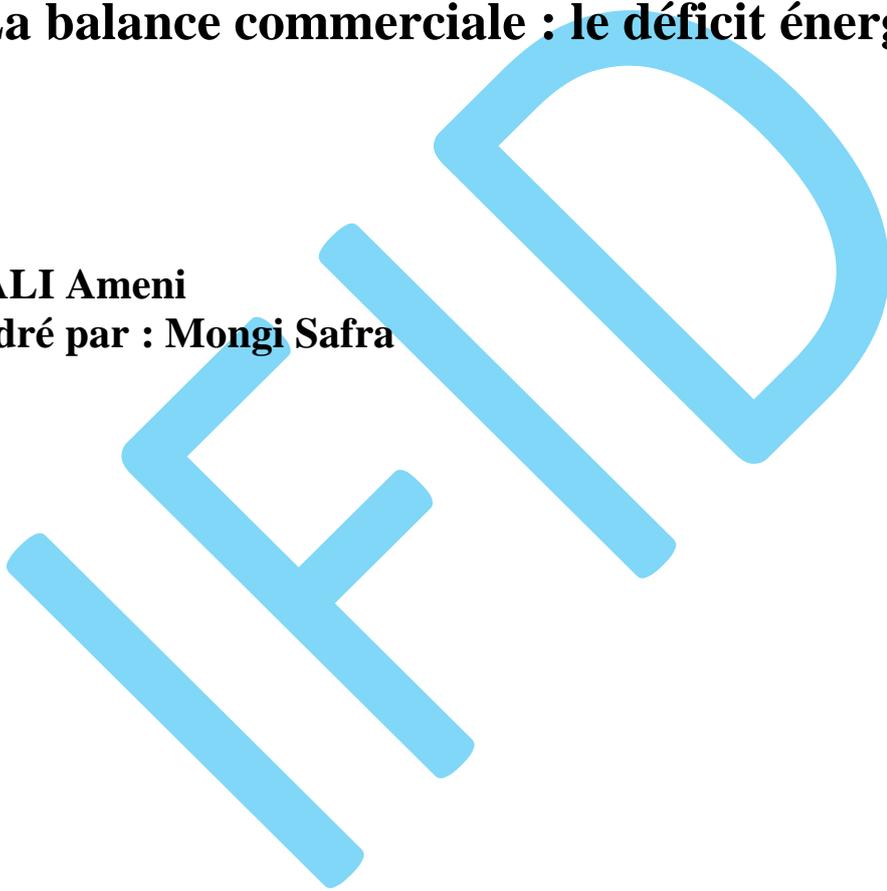


# **La balance commerciale : le déficit énergétique**

**JEBALI Ameni**  
**Encadré par : Mongi Safra**



## Introduction :

Pour mieux répondre à la problématique de cette mémoire, il faut tout d'abord commencer par une présentation théorique et critique du déficit énergétique. Son poids vis-à-vis l'économie tunisienne et les enjeux derrière son accroissement.

De ce fait, le présent chapitre va proposer une description analytique de l'ensemble de la contribution du secteur tunisien de l'énergie à l'économie nationale et plus particulièrement au commerce extérieur, au budget de l'Etat ainsi qu'au produit intérieur brut.

Il sera alors réparti en deux grandes sections. La première va présenter d'une manière approfondie le secteur énergétique tunisien en termes de bilan et politique énergétique, le cadre réglementaire de ce secteur ainsi l'évolution du déficit énergétique en matière de demande et de production.

Tandis qu'à la deuxième section, elle va mettre en lumière la relation entre le déficit énergétique et son effet macroéconomique sur la balance commerciale, la croissance économique ainsi que le budget de l'Etat.

# 1 Chapitre 1 : Cadre théorique du déficit énergétique avec illustrations :

## 1.1 Introduction

### 1.2 Le concept du bilan énergétique :

L'énergie représente un secteur primordial pour l'économie. La production, le transport, la transformation, la distribution ainsi que la commercialisation des diverses sources d'énergie représentent les principales composition de l'énergie.

L'énergie est soit une consommation intermédiaire, si elle est utilisée lors d'un processus de production ou de fabrication pour le compte d'autres biens et services, soit un bien de consommation finale si elle est consommée directement par des ménages désireux de se déplacer, de s'éclairer ou d'utiliser des biens ménagers.

Le lien qui existe entre la consommation d'énergie totale  $E$  pour une année donnée qui est évaluée généralement en tonnes-équivalent-pétrole (tep) et le produit intérieur brut  $Y$  qui est évalué généralement en monnaie détermine la contribution de l'énergie dans l'économie.

Le rapport entre  $E$  et  $Y$  varie à la fois dans le temps pour un pays isolé et dans l'espace à un moment donné pour un échantillon de pays. Il est aussi nécessaire d'évaluer la consommation d'énergie per capita c'est-à-dire la consommation annuelle d'énergie par habitant.

La divergence temporelle et spatiale peut être justifiée par plusieurs facteurs tels que :

- Des facteurs géographiques : le climat, l'étendue du territoire
- Des facteurs technologiques liés à l'efficacité plus au moins grande des appareils producteurs, transformateurs et utilisateurs d'énergie
- Des facteurs structurels liés à la nature de l'énergie utilisée comme à la structure de la production nationale

Le concept d'énergie est très vaste, il existe ainsi plusieurs typologies d'énergie : énergie primaire, l'énergie finale et l'énergie utile<sup>1</sup>.

- L'énergie primaire : c'est l'énergie à l'état brut c'est-à-dire avant toute transformation. Elle représente ainsi l'énergie, importée ou nationalement produite, telle qu'elle peut être saisie à l'entrée du système énergétique. Elle se décompose en énergie non renouvelable à l'échelle humaine qui se présente en stock (pétrole, charbon, gaz naturel uranium) et en énergie renouvelable sous forme de flux (énergie éolienne, solaire ou hydraulique).

---

<sup>1</sup> Energie Economie et politiques : Jean-Pierre Hansen- Jacques Percebois avec Alain Janssens

- L'énergie finale : c'est l'énergie utilisée, consommée après transformation de l'énergie primaire en énergie secondaire tels que électricité, produits pétroliers et combustibles solides et gazeux pour combler les différents besoins (chauffage, processus industriel ou transport). Il faut noter que l'énergie finale est bien évidemment inférieure à celle primaire suite aux résidus de la transformation.
- L'énergie utilisée : c'est l'énergie réellement disponible à la sortie des équipements utilisateurs d'énergie mais, faute de connaître le parc des équipements et leur rendement, on ne jouit pas de comptabilité en termes de flux d'énergie utilisée.

Le bilan énergétique d'un pays représente la traduction comptable de la façon dont l'énergie est produite, transformée, utilisée et importée pendant une année. Il est établi en en terme d'énergie primaire et reproduit les flux d'énergie produits, importés ou exporté au cours d'une année. Il contient aussi l'énergie finale disponible et retrace sa répartition par secteurs utilisateurs (secteur domestique et tertiaire, transport, industrie).

### **1.3 Cadre réglementaire du secteur énergétique :**

#### **1.3.1 La politique énergétique de la Tunisie :**

La Tunisie a été un des premiers pays en développement, et particulièrement de la région méditerranéenne qui a fixé une politique énergétique. Elle représente ainsi un pays pionnier et avant-gardiste en matière d'initiation de politique d'efficacité énergétique.

Pionnière car elle a mis en place, depuis 1985, une politique volontariste d'utilisation rationnelle de l'énergie, anticipant donc largement l'occurrence du déficit énergétique qui était prévu pour le milieu des années 90.

Avant-gardiste car la Tunisie, a, dès le départ, articulé sa politique d'efficacité énergétique, sur les trois piliers essentiels, sur lesquels toute politique novatrice doit nécessairement se baser.

##### **1.3.1.1 Historique de la politique énergétique tunisienne**

« Depuis le début des années 90, la Tunisie fait face à un accroissement soutenu de la demande d'énergie d'environ 5% par an. Cette évolution résulte de la croissance du secteur productif mais aussi du développement social et des nouvelles exigences des consommateurs induites par l'amélioration du niveau de vie des ménages, l'ouverture du pays sur l'extérieur et le renforcement des infrastructures. Pour répondre à cette demande, la Tunisie cherche à diversifier et à sécuriser ses approvisionnements sur le long terme, à réduire sa facture énergétique et à promouvoir l'utilisation rationnelle de l'énergie »<sup>2</sup>.

Afin de minimiser les émissions de gaz à effet de serre, et pour faire face à une telle situation énergétique, la Tunisie s'est décidée de s'orienter à l'économie sobre s'en émettent dans une politique énergétique compatible avec le développement durable. Le tort de cette

---

<sup>2</sup> Tunisie Document de Stratégie pays 2007-2011, Département des opérations pays (Région Nord, ORNA), 2007, Banque Africaine de Développement.

politique est à la fois de satisfaire la demande énergétique au moindre coût, à autoriser l'accès de l'énergie aux populations rurales des zones isolées, à améliorer le bilan énergétique et la balance des paiements et à limiter les émissions polluantes dues à la consommation d'énergie.

Dès les premières évolutions des prix du pétrole, au milieu des années soixante-dix, l'efficacité énergétique est devenue un objectif du gouvernement tunisien. En effet, pendant les années 60 et 80, la politique énergétique du pays a été soulignée par l'accroissement de l'offre, de ce fait l'Etat tunisien a décidé d'intégrer la composante de la maîtrise de la demande d'énergie au niveau de sa politique, de créer l'ANME (Agence Nationale de la Maîtrise de l'Energie), ainsi que la structure institutionnelle du secteur de l'énergie à savoir la création de la STEG (électricité et gaz) et celle de l'ETAP (exploration et production des hydrocarbures).

Plusieurs réformes institutionnelles et réglementaires ont été mises en place lors de la dernière décennie afin de bien structurer le secteur de l'énergie. De plus, cette période a été caractérisée par l'entrée de l'investissement privé dans la production d'électricité et la forte pénétration du gaz naturel.

Il faut indiquer que la politique de maîtrise de l'énergie (efficacité énergétique et énergies renouvelables) a été entamée au cours des années 2000 en tant que pilier majeur de la politique énergétique tunisienne.

#### ***1.3.1.2 Politique de Maîtrise de l'énergie en Tunisie***

La politique d'efficacité énergétique en Tunisie est considérée comme une politique de développement durable. Certes, le domaine énergétique suscite des changements dans l'environnement économique, physique et social à court et à long terme affectant même les prochaines générations.

En collaboration avec le ministère de l'Industrie, de l'Energie et des Petites et Moyennes Entreprises en Tunisie, l'ANME accorde des séminaires portant sur les principales questions du secteur de l'énergie. Ces workshops examinent les différents problèmes qui se posent aux gouvernements et proposent des mesures permettant d'améliorer l'efficacité énergétique tout en protégeant l'environnement. De plus, ils cherchent à renforcer la conscience de l'importance de la promotion des énergies renouvelables, la rationalisation de la consommation de l'énergie et la substitution de l'énergie par l'octroi de subventions propres et moins coûteuses (Développement du gaz naturel).

Parmi les principales études stratégiques faites par l'ANME on cite « La Stratégie de Développement des Energies Renouvelables en Tunisie » et « La Stratégie de Développement de l'Utilisation Rationnelle de l'Energie en Tunisie » et ceux dans le cadre pour satisfaire à la demande du Gouvernement.

C'est ainsi que furent élaborés d'ambitieux programmes d'efficacité énergétique et de développement des énergies renouvelables. Ces programmes visaient essentiellement à :

- Réduire la dépendance énergétique du pays vis-à-vis des énergies fossiles, en réduisant la demande et en diversifiant l'offre par le recours à d'autres ressources comme les énergies renouvelables.
- Améliorer la sécurité d'approvisionnement énergétique en réduisant le taux de dépendance énergétique.
- Améliorer la compétitivité de l'économie et des opérateurs économiques grâce à la réduction de leur facture énergétique, et réduire le volume des subventions.

Pour le renforcement de sa politique de maîtrise de l'énergie, la Tunisie a également mis en place, un programme qui privilégie deux outils : le dispositif institutionnel et réglementaire et les incitations financières.

### **1.3.2 Cadre réglementaire en Tunisie:**

#### **1.3.2.1 L'exploration dans la chaîne pétrolière :**

La chaîne pétrolière et gazière se déclenche par l'exploration. Toutefois, ce processus commence par une phase dite prospection, pour une région encore peu ou mal connue, qui consiste en examen des données existantes, couvrant de larges superficies, en vue d'en identifier les zones potentiellement prospectives. Celles-ci feront ainsi l'objet de demandes de permis d'exploitation.

Les principaux participants dans cette opération sont les ingénieurs de forage et de réservoir ainsi que les géophysiciens et les géologues.

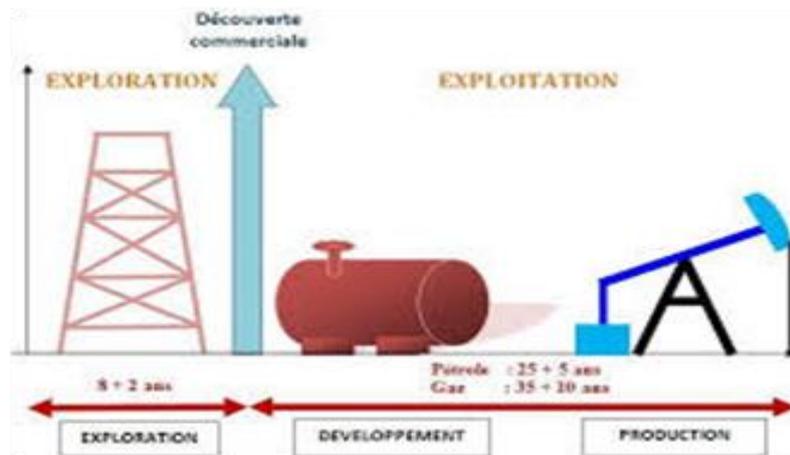
Dès que l'autorisation est validée, l'exploration proprement dite commence. En effet, des nouvelles données géophysiques et géographiques sont obtenues pour être traitées et interprétées par la suite afin d'identifier des prospects prêts à être forés.

Il faut indiquer que l'exploration est classée en tant que une opération à risque élevé. En fait, ce n'est pas facile d'accumuler les paramètres nécessaires à cette activité. De plus les hydrocarbures sont dotés d'une incertitude et risques plus au moins élevé. C'est ainsi que l'on classe les prospects identifiés non selon leur potentiel en volumes d'hydrocarbures en place mais aussi selon leur coefficient de succès ou probabilité de découverte.

Le plus favorable des prospects fait donc l'objet d'un forage, et en cas de découverte, un ou plusieurs forages additionnels dits d'appréciations seront nécessaires pour confirmer la découverte, d'évaluer convenablement ce nouveau gisement et d'en décider ou non le développement et la production.

D'une manière générale, la phase de l'exploration peut être plus ou moins longue et peut durer jusqu'à neuf ans sans tenir compte de la découverte d'un gisement ni de commencer à l'évaluer et le développer. Il s'agit alors d'une activité capitalistique et long terme.

Figure 1: l'exploration dans la chaîne pétrolière



### 1.3.2.2 Le contexte réglementaire Tunisien

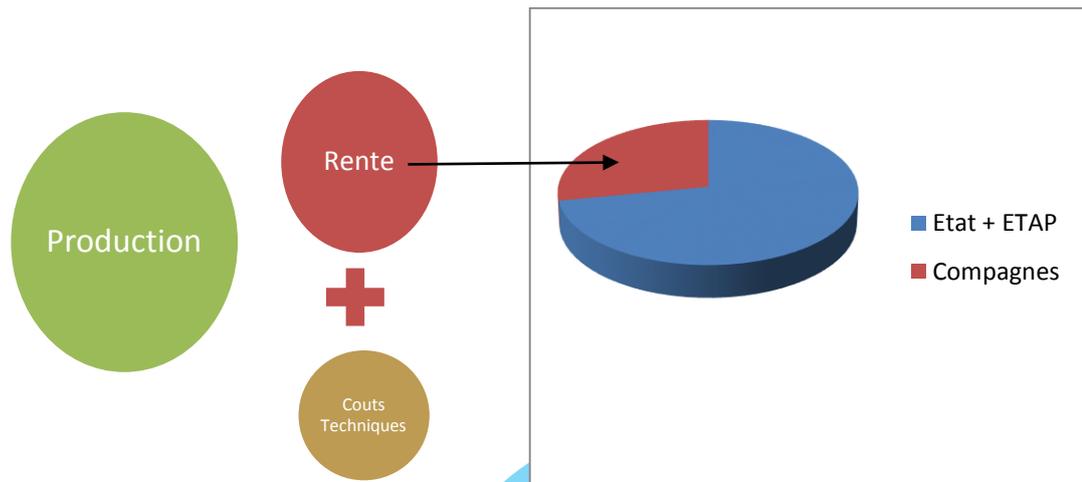
Le secteur pétrolier est le secteur le plus taxé dans la plus part des pays. La part de l'Etat dans la rente générée par les activités amont du ce secteur varie entre 40% à 90% et ce pour le cas des champs produisant du pétrole<sup>3</sup>. Si on prend en vocifération de la participation de la société nationale, la moyenne mondiale est de 72% sinon elle est de l'ordre de 65%. La part de l'Etat est ainsi relative à son potentiel pétrolier, plus son potentiel est important, risque d'échec est faible grands gisements, infrastructures développées, cout d'exploitation faible, plus sa part en rente est importante car malgré la taxation sévère, la rentabilité des investissements en exploration et exploration reste conséquente pour l'investisseur.

Il est difficile de calculer cette part pour le cas des champs de gaz ainsi que de la comparer entre les pays car e prix du gaz est différent d'un pays à un autre.

Le prélèvement de la rente pétrolière se fait via la taxation, la participation de la société nationale et les différents bonus. En Tunisie, comme part tout dans le monde, le secteur de l'amont pétrolier (exploration et production) est le plus taxé. L'Etat prélève ainsi sa rente sous forme de taxes ou à travers la participation de la société nationale ETAP (l'Entreprise Tunisienne d'Activités Pétrolières) au développement et à l'exploitation des découvertes commerciales sans prendre de risques en phase d'exploration.

<sup>3</sup> "International Petroleum fiscal systems and production sharing contracts" Daniel Johnson, 1994

Figure 2: La rente pétrolière et son partage en Tunisie



Le partage de la rente se fait à travers deux formules contractuelles offertes aux investisseurs qui doivent choisir entre une de ces deux formules lors de la présentation de leur offre de permis: Le contrat de Partage et le contrat d'Association.

### 1.3.2.3 Le contrat d'association :

L'ETAP s'associe avec un partenaire dans le cadre d'une association sans personnalité physique. Le taux de participation de l'ETAP est fixé au niveau de la convention particulière, qui est égale au moins 50% sauf pour quelques anciennes convention ou le taux est de l'ordre de 20%.

Avec ce contrat, les deux partenaires, ETAP et son associé, sont co-titulaires des titres d'hydrocarbures (permis de recherche et concession, permis de prospection) à hauteur de leur taux de participation respectif.

L'associé de l'ETAP se charge de tous les investissements de recherche. En cas où, il réalise une découverte commerciale, l'ETAP a le droit de participer (exercer ou non son option de participation) au développement de ladite découverte au taux maximum défini dans la convention particulière. Si la société nationale décide de participer, elle le fait à hauteur de son taux de participation qui ne doit pas dépasser celui fixé au niveau de la convention.

Les deux partenaires partagent ainsi la production provenant de la découverte commerciale selon les périmètres arrêtés au niveau de la concession. Ils financent, au prorata de leurs taux de participation, tous les deux l'ensemble des investissements de développement ainsi que les coûts d'exploitation. L'ETAP rembourse sa part des frais de recherche imputables à la concession en consacrant une partie de la production lui revenant selon le mécanisme défini dans le contrat d'association. En cas où, l'associé ne réalise pas de découverte commerciale, il perd ainsi tous les fonds investis et l'ETAP ne se charge d'aucun remboursement de ces frais de recherche.

Dans le cadre du contrat d'association, l'Etat perçoit sa rente sous forme de cash-flow net de l'ETAP et des recettes fiscales générées par la concession (redevances impôts sur les bénéfices et autre taxes). De plus, l'Etat se bénéficie de 20% des hydrocarbures liquides qui sont destinées au marché local tunisien au prix FOB moins 10%. Cette vente doit être payée en dinar tunisien et qui représente l'équivalent d'une redevance au taux de 2%.

#### **1.3.2.4 Le contrat de partage de production :**

Le contrat de partage de production est assimilé à un contrat de service à risque dans lequel l'ETAP est titulaire du titre d'hydrocarbures et le partenaire de l'ETAP est entrepreneur pour le compte de l'ETAP. Il s'engage ainsi à réaliser et financer tous les travaux de recherche, de développement et d'exploitation à ses frais et risques.

Si il y aura une découverte commerciale, l'ETAP se bénéficie d'un compromis d'exploitation vue qu'il est le titulaire de ce contrat. Les coûts pétroliers décaissés par l'entrepreneur peuvent être récupérés annuellement à partir d'une partie de la production des hydrocarbures provenant de la concession (pétrole ou gaz de recouvrement).

Le taux de recouvrement des coûts pétroliers est convenu au niveau du contrat de partage de production. Ledit taux de recouvrement (cost oil/gas) constitue un plafond annuel et la valeur de la quantité d'hydrocarbures prélevée pendant une année et ne serait excéder le montant effectif des dépenses recouvrables.

De ce fait, l'ETAO et son partenaire partagent la production restante, après prélèvement du pétrole et/ou gaz de recouvrement, selon les taux de partage de production convenus dans le contrat<sup>4</sup>.

Les obligations fiscales de la concession sont à la charge de l'ETAP. La part de cette dernière, dans le pétrole et le gaz, doit lui permettre de s'acquitter de la redevance proportionnelle à la production de la concession. De l'impôt sur les bénéfices et de l'impôt sur les bénéfices de l'entrepreneur ainsi que l'obligation de la vente sur le marché local.

La part de l'Etat dans la rente pétrolière est constituée de la part du pétrole et/ou gaz de partage revenant au titulaire EATP durant toute la période de vie économique du champ.

#### **1.3.2.5 Code des hydrocarbures :**

Le secteur de l'énergie en Tunisie est régi par le Décret-loi n° 85-9 soit par le Code des hydrocarbures qui a entré en vigueur en 2000. Ceci, en plus des dispositions particulières insérées dans les conventions signées entre l'investisseur et l'Etat.

Le code des hydrocarbures précise dans son article 4 que « Les gisements d'Hydrocarbures situés dans le sous-sol de l'ensemble du territoire national et dans les Espaces Maritimes tunisiens font partie de plein droit, en tant que richesses nationales, du domaine public de

---

<sup>4</sup> Il est à noter que les paramètres de partage de la production sont maintenant inclus dans la convention particulière suite à l'amendement du Code des Hydrocarbures de 2017

l'État Tunisien ». L'Etat est donc le propriétaire des gisements d'hydrocarbures. Il donne ainsi à l'investisseur le droit d'accès limité dans le temps pour rechercher et découvrir les gisements d'hydrocarbures.

La concision d'exploitation est le garant de tout droit de production des hydrocarbures découverts en quantités commerciales. Cette garantie est accordée à tout investisseur tunisien, public ou étranger ayant la capacité technique et financière « d'entreprendre les activités de recherche et d'exploitation en se conformant au code des hydrocarbures et aux saines pratiques de l'industrie pétrolière internationale <sup>5</sup>».

La réglementation du secteur énergétique en Tunisie a été trop marquée par la constitution de 2014.

En effet, au niveau treizième article de la constitution « «Les ressources naturelles sont la propriété du peuple tunisien. La souveraineté de l'État sur ces ressources est exercée en son nom.

Les contrats d'investissement relatifs à ces ressources sont soumis à la commission spécialisée au sein de l'Assemblée des représentants du peuple.

Les conventions ratifiées au sujet de ces ressources sont soumises à l'Assemblée pour approbation». Pour être alors conforme à cet article, les conventions particulières relatives au permis de prospection et de recherche doivent être soumises à l'accord de l'Assemblée des Représentants du Peuple (ARP).

Avant l'application de cet article, les parties signent avec l'Etat, représenté par le Ministre en charge de l'énergie, un protocole d'accord dans lequel sont définis essentiellement le programme des travaux durant la durée de validité du permis de prospection et les conditions de transformation du permis de prospection en permis de recherche tel que les taux de participation de l'ETAP pour le contrat d'association et les modalités de partage de production pour le contrat partage de production. Ainsi que le programme de travaux de recherche pendant les périodes de validité du permis de recherche.

Ce protocole ne sera pas signé que lorsque le permis de prospection se transforme en permis de recherche. Le permis de prospection est accordé par arrêté. Pour le cas de permis de recherche, une convention est signée entre l'Etat, ETAP et l'investisseur. Cet engagement est adhérent par décret et le permis est approuvé par arrêté du ministre en charge de l'énergie après avis favorable du Comité Consultatif des Hydrocarbures.

Les autorités de contrôle ont décidé ainsi d'amender le code des hydrocarbures pour qu'il soit plus conforme. De ce fait, des modifications ont eu lieu permettant à l'ARP de mieux statuer sur les dépenses, les travaux minima et les modalités de partages de la rente.

---

<sup>5</sup> Article 7 du Code des Hydrocarbures

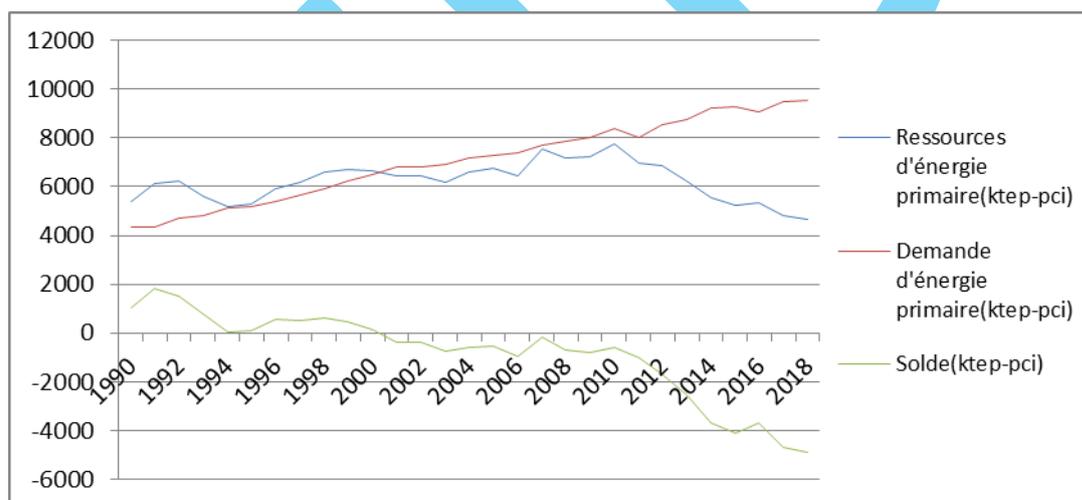
Il faut noter qu'au 30 mai 2017, il y avait la publication de la loi, loi 2017-41, qui porte sur l'amendement du code des hydrocarbures. Cette loi porte sur :

- L'approbation de la convention particulière relative aux permis de recherche et de prospection par loi.
- La publication de ce pacte au Journal Officiel pour créer plus de transparence permettant ainsi d'améliorer le climat d'affaires vu que ce secteur a souffert des accusations de corruption.
- L'offre des avantages fiscaux en toute transparence à tout projet qui n'est pas viable dans le cadre contractuel et fiscal fixé par le code des Hydrocarbures.

#### 1.4 Déficit énergétique en Tunisie :

Le bilan énergétique tunisien a marqué une évolution remarquable au cours de ces dernières années. Il a passé d'une situation énergétique favorable, caractérisée par une balance énergétique largement excédentaire, jusqu'au milieu des années 80, vers une situation d'équilibre au cours de la période 1994-2000 puis vers une situation déficitaire depuis 2001 comme le montre le graphique suivant.

Graphique 1: Bilan énergétique Tunisien entre 1990-2018

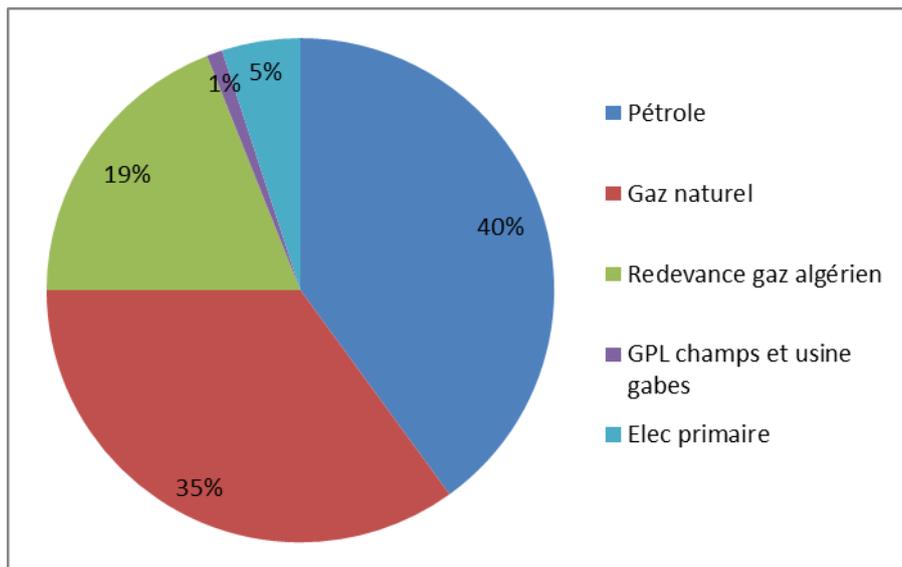


Source : observatoire-national-énergie

Courant 2018, les ressources d'énergie primaire se trouvent à 4 Mtep, enregistrant ainsi une dégradation de 15% par rapport à 2017 à cause, surtout, de la baisse de la production du gaz naturel.

Les ressources d'énergie primaire demeurent majorées par la production nationale du gaz et de pétrole qui participent tous les deux à hauteur de 75% de la totalité des ressources d'énergie primaire. Tandis qu'à l'électricité renouvelable (production STEG uniquement) reste minime et ne représente que 1% des ressources primaires.

Figure 3: Répartition des ressources d'énergie primaire Janvier 2019



Source : observatoire-national-énergie

Entre janvier 2017 et janvier 2018, on remarque que la demande d'énergie primaire a légèrement augmenté, évolution de 1%, pour se situer à 8,3 Mtep. Cette évolution est due essentiellement à la hausse de la demande des produits pétroliers de 3%.

On constate aussi que la décomposition de la demande en énergie primaire à peu changé. En effet, le gaz naturel représente 54% courant la période 2017-2018.

Si on tient compte de la redevance, le bilan d'énergie primaire fait apparaître fin 2018, un déficit de 4,3 Mtep contre 3,5 Mtep enregistré en 2017. Le taux d'indépendance énergétique, qui n'est autre que le rapport des ressources d'énergie primaire par la consommation primaire, se trouve à 48% en 2018 contre 57% en 2017. D'autre part, sans comptabilisation de la redevance, ce rapport se place à 39% en 2018 contre 46% en 2017.

#### 1.4.1 Evolution des ressources énergétiques :

Les ressources énergétiques de la Tunisie sont principalement constituées d'énergies fossiles<sup>6</sup> (pétrole et gaz naturel)<sup>7</sup>. Ces ressources d'énergie primaire accusent à partir de l'année 2010, une baisse significative et continue.

Entre 1994 et 1999 la production d'énergie primaire a connu un taux annuel moyen de 5,4%. Cette tendance s'est inversée à partir de l'année 2000.

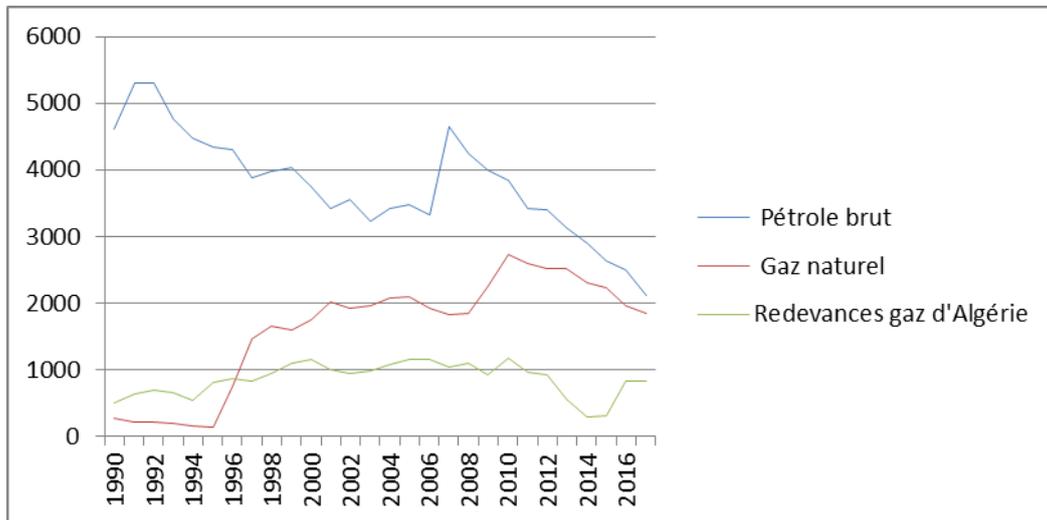
Entre 1999 et 2003, la production a régressé au rythme annuel moyen de 2% pour reprendre entre 2003 et 2007 avec un taux annuel moyen de 5%. Cette tendance s'est inversée sur la période 2010-2015, associée à une reprise en 2016.

<sup>6</sup> Les énergies fossiles sont celle dérivées de la méthanisation d'êtres vivants morts et enfouis dans le sol depuis plusieurs millions d'années. Ce sont principalement le charbon, le pétrole et le gaz naturel.

<sup>7</sup> Les ressources en gaz naturel incluent le forfait fiscal algérien (redevance en nature).

La production totale est en effet passée de 7753 Ktep à 4986 Ktep, enregistrant ainsi une baisse annuelle de 8,5%. Des trois composantes de la production totale, le pétrole a enregistré une baisse annuelle moyenne de 3,3% entre 1992 et 2006. Plus spectaculaire encore, la chute entre 2007 et 2016. Au cours de cette période, on a enregistré une baisse à un taux annuel moyen de 9%.

**Graphique 2: Répartition de la production nationale d'énergie 1990-2016**

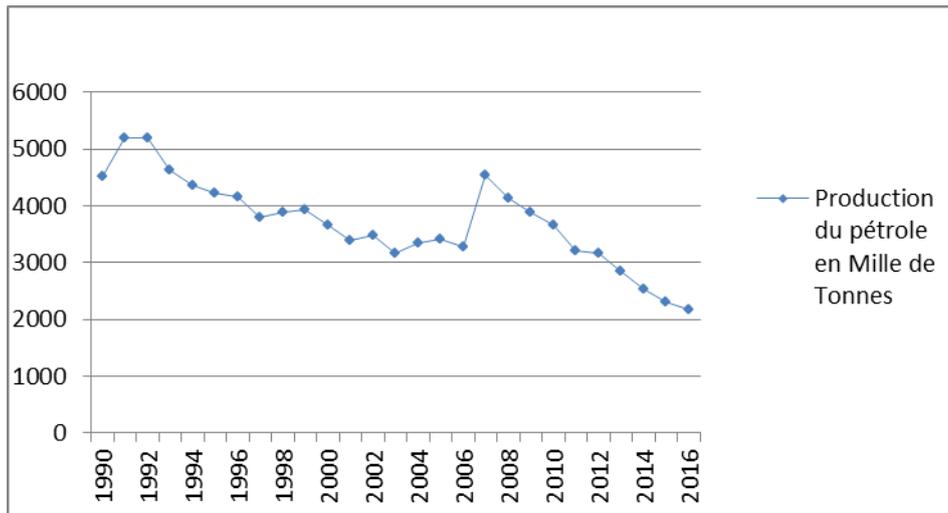


Source : observatoire-national-énergie

A noter toutefois, l'apparition d'un pic singulier en 2007 (4648 Ktep), impliquant un taux de croissance de 39,4% entre 2006 et 2007. On constate également une profonde modification dans la structure des ressources nationales sur la période 1990-2006, avec une réduction de la part des produits pétroliers au profit de celle du gaz naturel.

Le démarrage de la production nationale du pétrole été en 1966 avec la mise en production du gisement d'El Borma. Plus de 205 millions de tonnes de pétrole ont été déterrées du sous-sol tunisien jusqu'au fin 2016. Cette production n'est autre que le fruit d'une cinquantaine de gisements. Parmi ceux, les deux gisements d'El Borma et Ashtart contribuent à 68% de la production cumulée totale. Tandis que 27 petits gisements ne produit que 5% du pétrole extrait depuis 1966.

**Graphique 3: Evolution de la production du pétrole brut 1990-2016**

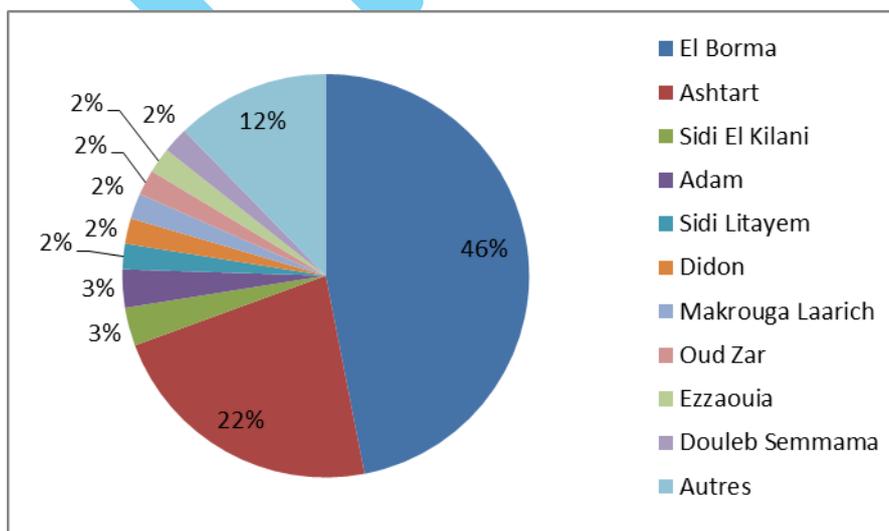


Source : observatoire-national-énergie

La production des deux principaux gisements El Borma et Ashtart représente 94,3% de la production totale. Depuis une vingtaine d’années, la production annuelle totale de pétrole brut à globalement décliné pour atteindre u niveau de 3,2 millions de tonnes en 2003. Cette régression résulte de l’épuisement des réserves des deux principaux gisements non compensé par l’entrée en production de 27 nouveaux gisements.

En 2016, la contribution des gisements d’El Borma et d’Ashtart, à la production nationale n’est plus que 25,6%. Alors que les 37 autres gisements fournissent le reste de la production. Huit concession sont à l’arrêt depuis plusieurs années dont deux sont abandonnées ; Tazerka et Oudna. Cette diminution issue sur tout de la régression continue du volume des réserves récupérables pendant ces dernières années.

**Graphique 4: La production cumulé de Pétrolé commerciale par gisement**



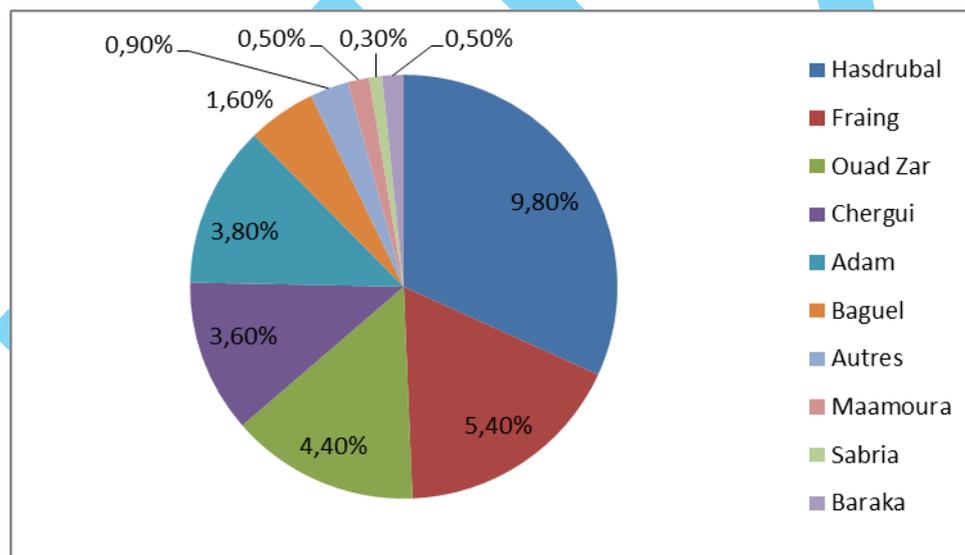
Source : observatoire-national-énergie

Il faut noter que l'augmentation des cours mondiaux a bien stimulée la production totale pour atteindre fin 2007 4,3 millions de tonnes. Cette situation n'a pas duré longtemps, pour se régresser de nouveau avec un rythme relativement élevé. En 2016, la production nationale se trouve à un niveau faible de 2,2 millions de tonnes, correspondant à 46% de la production de 2006, à 37% de celle de 1980 et du même ordre que celle de 1967.

C'était en 1954 que la production nationale du gaz naturel a débuté avec la découverte du gisement de Djebel Abderrahman au Cap Bon. En 2016, et depuis sa mise en marche, le volume cumulé de gaz naturel atteint 54,2 milliards de mètres cubes.

En 1972, la production du gaz naturel a été stimulée par la mise en production du gisement El Borma. Cette branche d'activité atteint un pic en 1982 de 419 millions de mètres cube. Depuis, la production a régulièrement dégradé pour arriver à un faible rendement en 2016 44 millions de mètres cubes. Il faut noter qu'El Borma occupe le deuxième rang en termes de production de gaz naturel avec 14% de la production cumulée.

**Graphique 5: La production cumulée de gaz commercial par gisement**



Source : observatoire-national-énergie

La détente de gaz a enregistré une forte hausse au cours de 1996 avec la mise de en marche du gisement offshore de Miskar. Sa production été de l'ordre de 1,5 à 1,9 milliards de mètres cubes entre 1997 et 2010. Depuis, elle a été en déclin pour atteindre 738 milliards de mètres cubes en 2016.

Avec une production cumulée de 30 milliards de mètres cubes, le gisement de Miskar représente à ce jour la principale ressource nationale de gaz. Pour compenser la régression de production d'El Borma et Miskar, une quinzaine de gisements jouent un rôle important.

A titre d'exemple, la mise en production du gisement offshore d'Hasdrubal a fourni en 2010 une production maximale de 3,1 milliards de mètres cubes et depuis la production se

dégrade régulièrement pour aboutir à un faible seuil de 2,2 milliards de mètres cubes fin 2016.

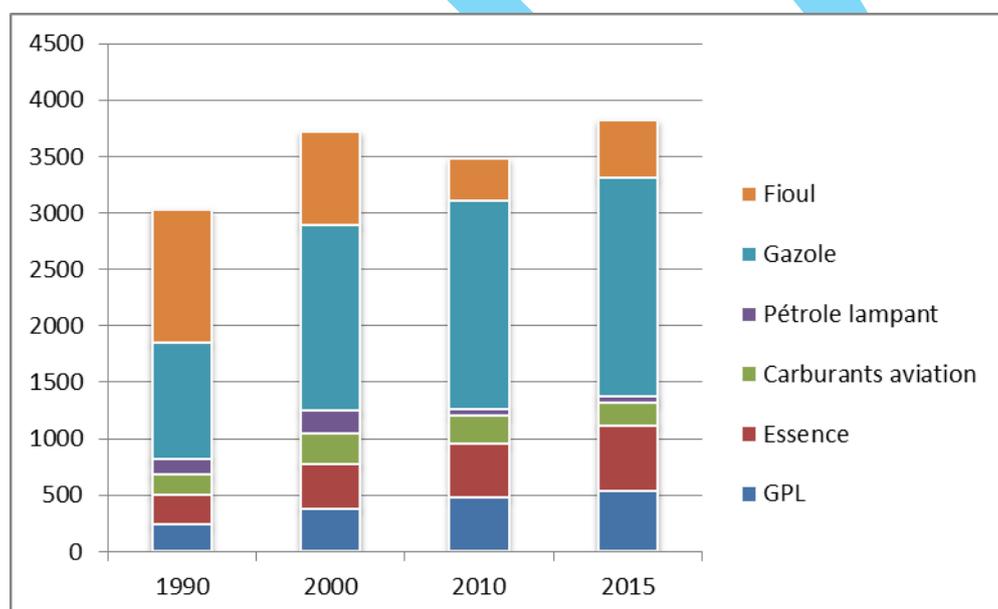
#### 1.4.2 Evolution de la consommation des produits énergétiques :

La consommation nationale des produits pétroliers, hors coke de pétrole, lubrifiants et bitumes a atteint 3,8 millions de tonnes fin 2015. Cette consommation a plafonné en 2007 avec 3,9 millions de tonnes.

On remarque bien que le gazole domine la consommation des produits pétroliers avec plus de 50% de la consommation totale, suivi par l'essence 15% et le fioul 13%. Depuis 1990, les plus fortes croissances sont enregistrées par le GPL +3,3% en moyenne par an, l'essence +3,2% et le gazole +2,6%. Les produits en déclin sont le pétrole lampant -4% et le fioul 3,3%.

L'histogramme suivant résume l'évolution de la consommation des produits pétroliers.

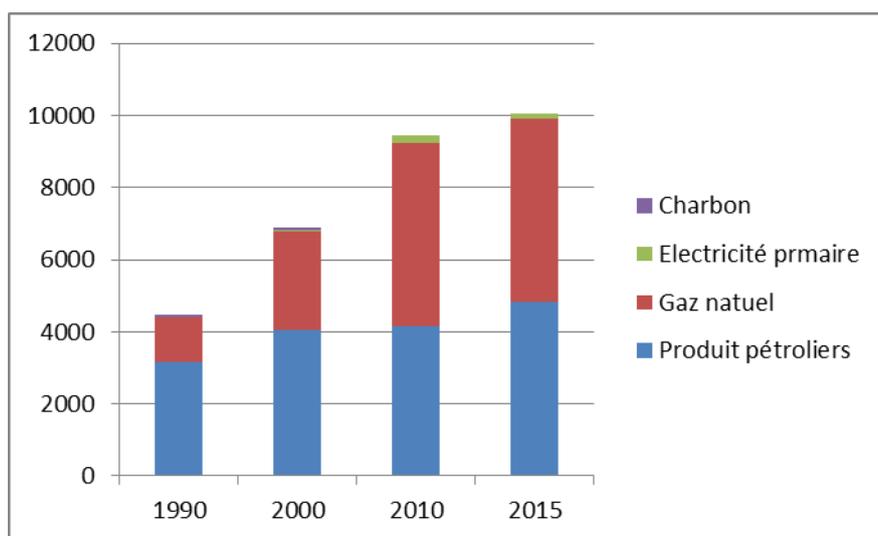
Graphique 6: Evolution de la consommation des produits pétroliers en Ktep



SOURCE : INS BCT AIE DGE

Les produits pétroliers représentent 48% de la consommation nationale d'énergie primaire commerciale. En 2015, cette consommation a dépassée 10 millions Mtep. Elle se décompose comme suit : 48% des produits pétroliers, 50% de gaz naturel et 2% d'énergies renouvelables. La part des produits pétroliers dans la consommation nationale de l'énergie primaire a été de 48% contre 44% en 2010 et 59% en 2000. Cette baisse de la demande des produits pétroliers est justifiée par la forte croissance de la consommation de gaz naturel 50% en 2015 ainsi que les importations illicites de carburants.

**Graphique 7: La part de produits pétrolier dans la consommation de l'énergie primaire**

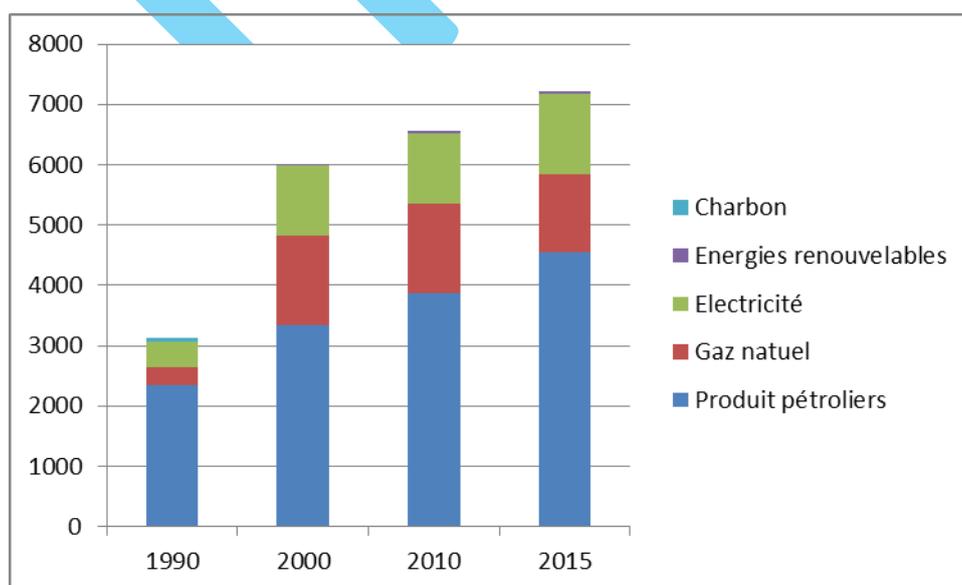


SOURCE : INS, AIE

Si on analyse la consommation de l'énergie finale, on constate que les produits pétroliers représentent plus de 63% au cours de l'année 2015. Sans tenir compte de la biomasse traditionnelle, la consommation nationale de l'énergie finale a atteint 7,2 Mtep fin 2015 enregistrant une croissance de 10% par rapport à 2010 et 50% par rapport à 2000. La consommation des produits pétroliers a été de 4,6 Mtep, en 2015, avec un taux de croissance annuelle de 2,7%.

La part des produits pétroliers était de 75% en 1990, 70 en 2000 et 59% en 2010. Cette régression s'explique par la forte progression de la demande d'énergie électrique et de gaz naturel.

**Graphique 8: La consommation d'énergie finale en Ktep**



SOURCE : INS AIE

## 2 Chapitre 2 : L'effet macroéconomique du déficit énergétique :

### 2.1 Introduction :

### 2.2 Déficit énergétique et déficit commercial

#### 2.2.1 La balance commerciale :

La balance commerciale est un des principaux outils pour mesurer la performance d'un pays dans les échanges internationaux. Elle représente ainsi la différence, en termes de valeur monétaire, entre les importations et les exportations de biens ou de biens et services, tout dépend du pays, pendant une période donnée. C'est un des éléments de la comptabilité nationale qui décrit et résume les échanges des biens exportés et des biens importés, d'un pays vis-à-vis le reste du monde.

Pour la comptabilité nationale française ainsi que tunisienne, le terme de balance commerciale est limité aux échanges de biens, hors services.

La balance commerciale est établie à partir des statistiques douanières annuelles des importations et exportations de marchandises. La comptabilisation de la balance commerciale peut être faite selon deux façons différentes :

- FOB «Free On Board »: Le paiement des importations se fait sans décaissement des frais de transport et autres frais et taxes. Si on achète une marchandise à un prix « FOB », il faut ensuite qu'on paie son transport et les taxes ainsi que les frais d'assurances pour ce produit.
- CIF « Cost, Insurance, Freight » : Le paiement des importations se fait en décaissant tous les coûts nécessaires à l'acheminement jusqu'à la frontière nationale<sup>8</sup>.

Il faut noter que la balance commerciale peut être influencée par plusieurs facteurs tels que les traités de libre échange, Les taux de changes, les droits de douanes, la compétitivité des entreprises, les délocalisations ou relocalisations des entreprises nationales.

La différence entre les valeurs des exportations et des importations de biens correspond au le solde de la balance commerciale. Si ce dernier est positif, cela signifie que le pays exporte plus de biens et services qu'il n'en importe : on parle alors d'une «balance excédentaire » ou d'« excédent commercial ». Sinon, on parle de «déficit commercial».

---

<sup>8</sup> Le prix « FOB » est ainsi toujours inférieur au prix CIF.

La balance commerciale appartient au compte des transactions courantes (balance courante), qui elle-même fait partie de la balance des paiements. Elle permet d'interpréter le son degré de compétitivité internationale d'un pays vis-à-vis au reste du monde.

### 2.2.2 Les origines du déséquilibre de la balance commerciale

Comme on a déjà défini, le solde de la balance commercial n'est autre que la différence entre les importations et les exportations des biens hors services. Théoriquement, le solde de la balance commerciale doit être nul. Cependant, cet équilibre n'a jamais eu lieu. En effet, la problématique de la balance commerciale réside dans sa difficulté d'enregistrer l'ensemble des données commerciales.

La balance commerciale se calcule à partir du solde des transactions des biens. Les exportations sont enregistrées en valeur FOB exclus les coûts accessoires sus mentionnés alors que les importations sont généralement enregistrées en valeur CIF. Il existe un surplus commercial si les exportations excèdent les importations, sinon on parle d'un déficit commercial lorsque les importations excèdent les exportations.

Les transactions comptabilisés au niveau de la balance commerciale sont ceux effectuées entre les agents économiques résidants dans un pays d'une part et à l'étranger d'autre part. Ce solde représente, depuis longtemps, un critère de la santé économique. Son déficit ainsi que son excédent doivent être traité distraitement puisque l'excédent des besoins d'importation sont justifiés par le maintien du rythme de croissance.

Avec simplification, l'équilibre macroéconomique<sup>9</sup> est :

$$Y=CF+FBC+X-M$$

Or on sait que le Solde commercial égal à :

$$\begin{aligned} \text{Solde commercial} &= \text{Exportations (FOB)} - \text{Importations (CAF)} \\ &= X - M \end{aligned}$$

Si on se trouve avec un solde négatif c'est-à-dire :  $(X-M) < 0$

On a alors :  $PIB < CF+FBC$

En terme réel, la consommation et l'investissement intérieur dépassent la capacité de production d'un pays. Alors le pays doit faire de ce que les investissements des équipements soient financés soit par les nouvelles importations ou soit par l'épargne étrangère.

---

<sup>9</sup> X= la somme des valeurs exportées, M=la somme des valeurs importés CF=valeur des consommations finales, FBC=formation brute du capital, Y=PIB=la production intérieure brute

Enfin, un déficit de la balance commerciale implique un cumul d'engagement vis-à-vis de l'extérieur. C'est à dire une augmentation de la dette souveraine, sans tenir compte du service de la dette.

L'accélération du volume des importations accompagné d'un rythme modéré des exportations est le principal déterminant du déséquilibre de la balance commerciale. Afin de satisfaire la demande intérieure ou nationale, le pays importe pour combler un manque au niveau de la production intérieure ou tout simplement pour bâtir les prix national. Cette accélération est justifiée aussi par l'ensemble des accords internationaux. C'est-à-dire les conventions commerciales signées entre les Etats pour encourage les échanges commerciaux entre eux. De plus la réduction des droits douanières et des taxes pour encourager l'Etat à importer de plus s'il trouve que le cout d'importation sera inférieur à celui de la production.

Une des autres causes du déficit commercial est l'excès d'émission monétaire dans un pays. Selon cette logique, il existe un lien entre le déficit extérieur et l'offre de la monnaie. La perte enregistrée suite à une diminution des réserves de change afin de rembourser les engagements vis-à-vis l'étranger, s'achemine par une dégradation de l'offre de la monnaie. En revanche, un excédent extérieur enrichit d'avantage les réserves de change et par la suite stimule l'offre de la monnaie.

Cela signifie que la diminution des réserves de change se produit avec une politique monétaire expansionniste qui rend le niveau du crédit à l'économie supérieur à celui des encaisses que désirent les agents, provoquant par la suite une réduction de l'offre de la monnaie. Ainsi, les agents économiques abandonnent les encaisses non désirés en achetant des biens et titres à l'extérieur Cette situation se poursuit jusqu' à ce que les encaisses liquides retrouvent le niveau voulu.

On conclut alors que l'émission excessive de la monnaie par rapport à la demande représente l'origine directe du déficit. Selon cette approche, le déséquilibre de la balance commerciale n'est que la manifestation d'un déséquilibre plus profond du marché monétaire d' où son équilibre ne se retrouve qu'à une réduction de l'offre de la monnaie ou du crédit à l'économie et à l'état.

On peut classer les achats extérieurs selon leur affectation. Les importations de matières premières et demi-produits, d'équipement et d'énergies forment le premier groupe: celui des importations productives. Dans le second sont groupées les importations de consommation parmi lesquelles on distingue les achats de produits alimentaires.

Selon cette logique on peut deviser la balance commerciale en sous-balances tels que :

- Balance alimentaire
- Balance des matières premières demi-produits
- Balance des biens d'équipement

- Balance des biens de consommation
- Balance énergétique

Cela signifie que :

$$\begin{aligned} \text{Balance commerciale} &= \text{Balance énergétique} + \text{Balance des biens d'équipement} \\ &+ \text{Balance des biens de consommation} + \text{Balance alimentaires} \\ &+ \text{Balance des matières premières demiproducts} \end{aligned}$$

On peut alors conclure que :

$$\text{Balance commerciale} = \text{Balance énergétique} + \text{Balance hors produits énergiques}$$

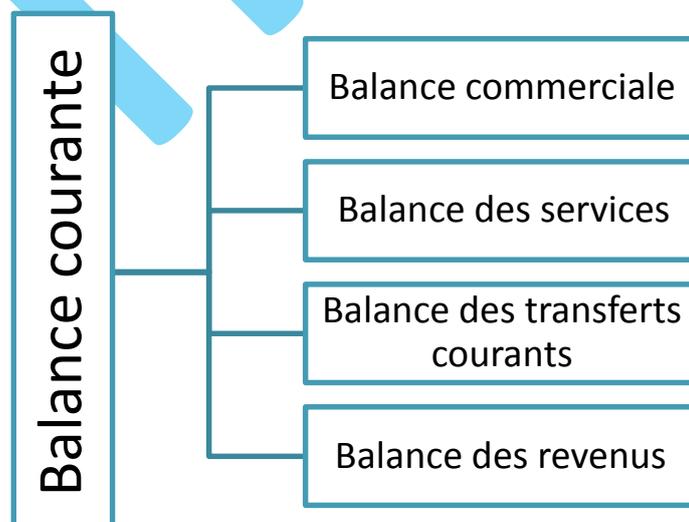
### 2.2.3 La relation entre la balance courante et le déficit énergétique :

La balance courante est l'une des trois composantes de la balance des paiements, aux côtés de la balance des capitaux et la balance financière.

Composée de la balance commerciale, de la balance des services, de la balance des revenus et de la balance des transferts courants, la balance courante retrace les flux monétaires d'un pays liés aux échanges internationaux.

Si le solde de la balance courante est positif, il y aura un accroissement des avoirs nets étrangers ce qui permet au pays de rembourser sa dette plus rapidement ainsi que de renforcer sa capacité à prêter à d'autres pays. Dans le cas contraire, le solde négatif doit être compensé par des emprunts auprès d'agents extérieurs. De ce fait il est préférable pour un pays que sa balance courante soit excédentaire.

Figure 4: Décomposition de la balance courante



La balance des services comptabilise les opérations commerciales. Elle est composée par les activités de transport, les voyages (Tourisme), les services d'assurances, les services de communication et d'information, les services financiers, les opérations portant sur les achats-ventes de brevet et de licence, les services des administrations publiques et les services aux entreprises.

La balance des revenus comptabilise les entrées et les sorties des revenus des salariés et les revenus du capital et des investissements à l'étranger (dividendes, etc.).

La balance des transferts courants totalise les transferts courants des administrations publiques et les transferts du secteur privé à l'exclusion des transferts de capital.

La relation entre le déficit courant et le déficit énergétique est issue de la balance commerciale. En fait, cette dernière représente la principale composante de la balance courante.

$$\begin{aligned} & \text{Balance commerciale} \\ & = \text{Balance énergétique} + \text{Balance hors produits énergétiques} \end{aligned}$$

Et

$$\text{Balance courante} = \text{Balance commerciale} + \text{Balance des invisibles}$$

Donc :

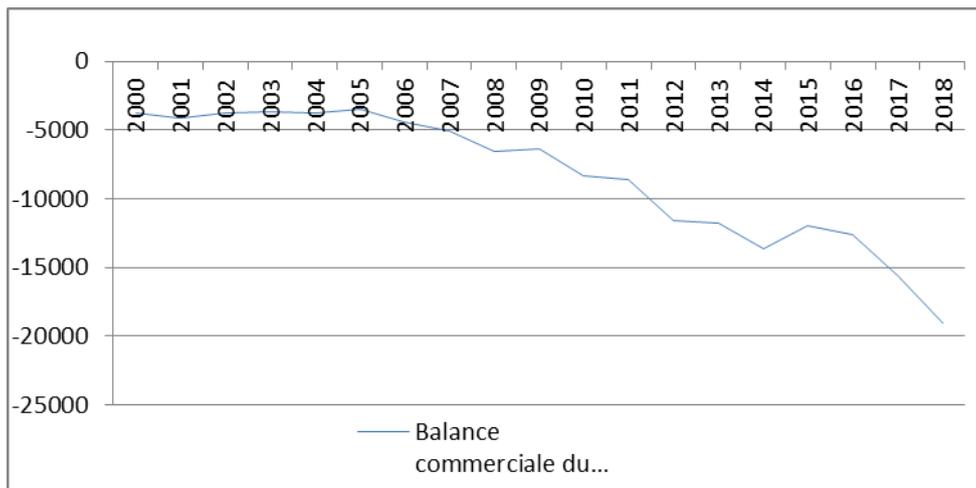
$$\begin{aligned} \text{Balance courante} \\ & = \text{Balance énergétique} + \text{Balance hors produits énergétiques} \\ & + \text{balance des invisibles} \end{aligned}$$

#### 2.2.4 Relation entre le déficit courant et le déficit énergétique : Cas de la Tunisie

Pendant l'année 2018, la balance commerciale a continué de se dégrader enregistrant un déficit (FOB/CAF) qui s'est creusé de 22% par rapport à 2017 pour atteindre un niveau exorbitant de -19,049 milliards de dinars.

Cet agrandissement est dû à l'accroissement des importations à un rythme de 20% dépassant celui des exportations +19,8%. Le taux de couverture demeure égal à 68%. Le graphique ci-dessous décrit l'évolution de la balance commerciale entre 2000 et 2018.

**Graphique 9: Evolution de la balance commerciale 2000-2018**

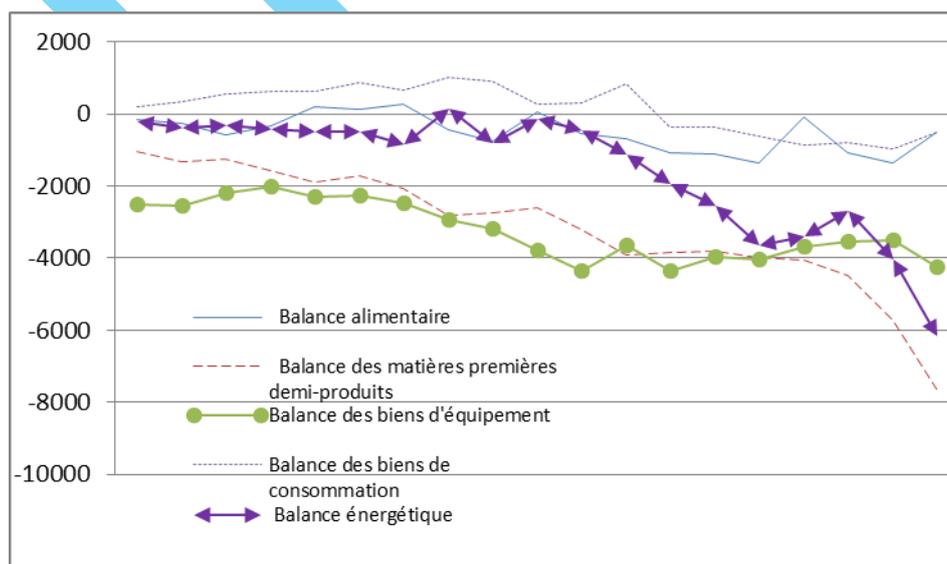


SOURCE : INS

On remarque bien que la balance commerciale était toujours déficitaire pour notre pays avec un solde de 5 milliards de dinars entre 2000 et 2008. Toutefois, à partir de cette date le déficit ne cesse de s'aggraver pour arriver à un record historique de - 19 milliards de dinar en 2018.

A l'échelle internationale, l'année 2008 représente une déviation économique structurelle avec la fameuse crise financière. De plus, depuis cette année, les prix d matières première ainsi que du pétrole ne figent de stabiliser ce qui à marquer énormément l'économie tunisienne avec bien évidemment une conjoncture économique nationale fragile.

**Graphique 10: L'évolution du déficit commercial par groupe de produit 2000-2018**



SOURCE : INS

Si on analyse l'évolution de la balance commerciale par regroupement de produits entre 2017 et 2018, on constate une forte dégradation de la balance énergétique dont le déficit

est passé de 4 milliards de dinars à 6 milliards de dinars, soit un creusement de 2 milliards de dinars ou 50% contribuant à concurrence de 32% dans la régression du déficit commercial global soit un accroissement en terme de poids de 7% .

Cette situation s'explique par l'effet conjugué de la stagnation de la demande, la baisse des ressources énergétiques de -4% avec la remontée des prix mondiaux de pétrole brut.

Concernant le déficit de la balance alimentaire, a enregistré une baisse remarquable de - 853,638 milliards de dinars entre 2017 et 2018, soit 1.355 milliards de dinars qui est due essentiellement à la reprise significative des ventes de certaines denrées alimentaires surtout tels que l'huile d'olive et des dattes.

Tandis qu'au déficit de la balance des matières premières et demi-produits, s'aggravé de 1.918 milliards de dinars par rapport à 2017 pour atteindre 7,6 milliards de dinars en liaison avec la poursuite de la tendance haussière des achats notamment ceux destinés aux industries manufacturières qui ont connu un certain dynamisme. Ce déficit représente lui-même 40% dans la régression de solde commercial enregistrant ainsi un taux d'accroissement annuel de 4%.

Parallèlement, l'accroissement des ventes des biens d'équipement à un rythme plus accentué que celui des achats a permis une augmentation du déficit de la balance des biens d'équipement pour se trouver à 4,2 milliards de dinars en 2018 contre 3,5 milliards de dinars en 2017.

Toutefois le déficit de la balance des biens de consommation, historiquement excédentaire jusqu'à 2011, s'est amélioré en 2018 de 485,4 MDT pour se situer à 500,9 MDT.

En analysant la balance courante, on constate bien que la balance des services, la balance des transferts courants et la balance des revenus, ont arrivé à réduire l'ampleur de la balance des paiements.

En effet, la balance des services et celle des revenus de facteurs et des transferts courants ont dégagé des excédents respectifs de 1897 MDT et 2128 MDT en 2018 contre 739 MDT et 2.232 MDT une année auparavant.

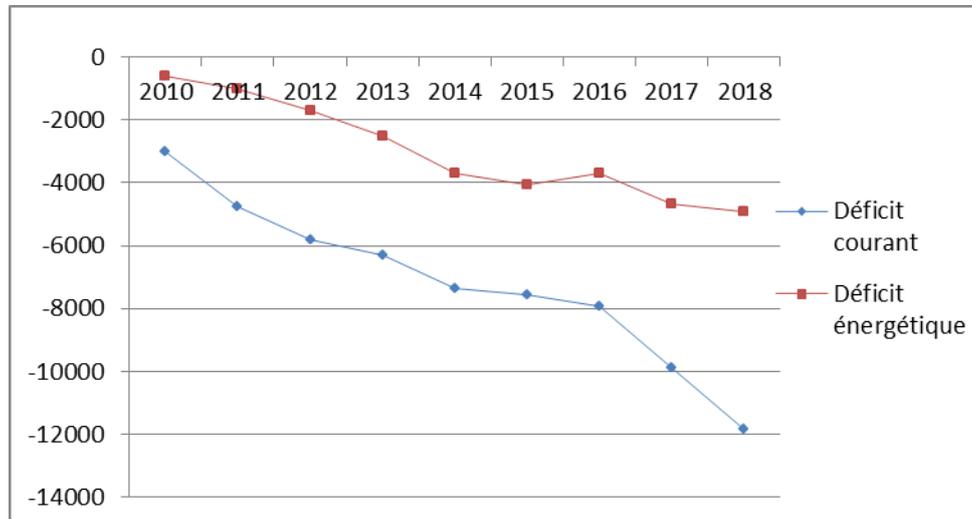
On se trouve ainsi avec un déficit courant qui s'est de nouveau détérioré en 2018, pour se situer à 11843 MDT soit 11,2% du PIB contre 9.870 MDT et 10,2% en 2017, respectivement.

En poussant l'analyse un cran plus loin, on remarque bien que 41% du déficit courant provient principalement du secteur énergétique en 2018 contre 47% pour l'année précédente.

Ainsi, le nouveau record de la balance courante en 2018 n'est qu'un résultat direct de la dégradation de la balance énergétique. Ce dernier qui ne cesse de stagner au cours de ces

dernières années, s'est soldé en 2018 avec un déficit de 4902 MDT contre -4653,7 MDT en 2017.

**Graphique 11 : Evolution du déficit courant et déficit énergétique 2010-2018.**



SOURCE : INS, AIE

## 2.3 Déficit énergétique et déficit budgétaire

### 2.3.1 La notion du Budget d'Etat :

C'était avec les politiques libérales d'inspiration classique que les Etats se désengagent petit à petit de l'activité économique et sont disciplinées totalement en matière budgétaire. Il s'agit ainsi d'un regain d'intérêt pour l'approche des dépenses publique comme étant un multiplicateur capable de relancer l'activité économique. De ce fait, il est nécessaire de connaître le budget et sa composition pour comment le contrôler et comment évaluer son efficacité.

Le budget de l'Etat est considéré un document comptable et financier qui retrace les recettes et les dépenses de l'Etat pour une année civile. C'est un des actes majeurs de la politique économique d'un gouvernement qui représente son essentiel levier via la mise en jeu de la masse des dépenses ainsi que la politique fiscale adoptée.

Des lors, c'est document primordial en matière de politique gouvernementale qui doit vérifier un ensemble de critères :

- Il doit être exhaustif, couvrant l'ensemble des dépenses et des recettes de l'Etat, de façon à ce que l'on puisse mettre en balance les différentes options en présence.
- Il doit être approuvé par le Parlement avant que l'année budgétaire ne commence<sup>21</sup>
- il doit comporter une perspective à moyen terme illustrant la façon dont les recettes et les dépenses publiques vont évoluer pendant au moins les deux années situées au-delà de la prochaine année budgétaire.

- il doit être soumis à l'avance au parlement –en aucun cas pas moins de trois mois avant le début de l'année budgétaire- de façon à ce que ce dernier puisse l'examiner comme il convient ; ce dernier doit veiller à ce que le projet actuel de budget soit cohérent avec les prévisions figurant dans les précédents rapports budgétaires relatifs à la même période ; les écarts significatifs doivent être expliqués.

Si l'autorisation des recettes et des dépenses est fait par des dispositions législatives permanentes, leurs montants doivent figurer dans le budget en même temps que les autres types de recettes et de dépenses pour toute information fiable.

Les dépenses doivent apparaître pour leur montant brut et seront classés par grandes unités administratives (Ministère, Agence, etc.) tandis que la comptabilisation des recettes affectées et des redevances d'utilisation est faite à part.

Le budget peut être regroupé en plusieurs classifications : Classifications fonctionnelle, administratives, territoriale, par poste budgétaire et par programme ainsi que classification économique.

- Classification fonctionnelle : Le principal déterminant des activités et des dépenses publiques structurelles est leur objectif. On cite à titre d'exemple : le transport, l'éducation, la défense, le maintien de l'ordre, santé et communication.
- Classification administrative : Cette classification varie d'un pays à l'autre selon le nombre et le niveau administratif du détenteur du budget. La gestion des dépenses structurelles est accordée ainsi à une organisation responsable son management.
- Classification économique : La structure des opérations financières des gouvernements dépend de sa catégorie économique. On distingue ainsi : les transferts de l'état aux familles et autres institutions publiques, les dépenses et les recettes courantes et d'investissement, les paiements des intérêts et opérations de financement, les subventions. On trouve souvent cette classification dans les Statistiques financières des Etats préparées par le FMI.
- Classification territoriale : Les recettes et les dépenses structurelles sont répartis selon la zone géographique d'impact de l'opération financière.
- Classification des postes budgétaires : Selon les catégories utilisées pour le contrôle administratif, on regroupe les Dépenses structurelles par objet, par exemple : allocations voyages, téléphone et matériel de bureau.
- Classification des programmes : Cette classification peut correspondre à un écoulement de la classification administrative pour laquelle on peut incorporer différentes unités administratives. Selon les programmes, les dépenses structurelles sont regroupées en série d'activités homogènes permettant d'atteindre les mêmes objectifs.

Conformément aux Meilleures pratiques, l'analyse du budget doit tenir compte essentiellement des actifs non financiers, des créances et des engagements, des engagements conditionnels et des obligations liées aux pensions des agents publics.

Le budget d'Etat doit enregistrer toutes les recettes et les dépenses publiques. Il fournit ainsi des informations fiables et cohérentes sur toutes les ressources disponibles.

Cette information, présentée dans le cadre d'une structure, assure une analyse valable et une cohérence entre les instruments de gestion des dépenses qui permet aux décideurs de faire face aux préoccupations sur , la réduction de la pauvreté, l'emploi, la croissance économique, l'inflation ... pendant le processus budgétaire.

### 2.3.2 La politique budgétaire :

Avec l'apparition de la théorie générale en 1936, les finances publiques n'est plus des règles administratives mais plutôt un des instruments de politique économique générale .La politique budgétaire influence grandement l'activité économique.

Elle agit principalement sur la demande globale et par la suite sur les flux réels, par opposition aux flux monétaires. C'est à travers son action sur les dépenses d'une part et les recettes d'autre part que l'Etat mène sa politique budgétaire.

Plusieurs sont les objectifs de la politique budgétaire. La lutte contre la récession, la croissance économique ainsi que la stabilité des prix et l'équilibre extérieur sont les principaux objectifs. A ces derniers s'ajoute d'autres objectifs qui peuvent apparaître comme complémentaires ou contradictoires tels que des objectifs sociaux, d'égalité, de justice, d'équité et de bien-être.

Il existe principalement deux types de politique budgétaire, une politique expansionniste et une autre restrictive. Si le gouvernement s'oriente vers un ralentissement de la demande privée, il augmentera alors ses dépenses publiques afin de stimuler l'économie, mais avec pour conséquence une dégradation du solde public. On parle ainsi d'une politique de relance.

À l'inverse, lorsque le gouvernement d'un pays décide de réduire les dépenses publiques et augmente les recettes issues notamment des impôts et des taxes. On parle d'une discipline budgétaire restrictive (appelée également austérité ou rigueur budgétaire).

Le tableau suivant décrit les principaux leviers de la politique budgétaire sont :

Les recettes publiques	Les dépenses publiques
niveau des taux d'imposition	Dépenses sociales (minima sociaux),
Bases fiscales des différents impôts	Salaires des fonctionnaires
Emprunts	Aides aux entreprises
Recettes exceptionnelles (portefeuille d'actifs publics...)	Investissements en infrastructures publiques

Compte tenu de la difficulté d'anticiper la conjoncture économique, de la lenteur de mise en œuvre des politiques budgétaires, des effets pervers possibles de chaque décision, du rôle joué par la confiance des agents économiques, de l'interdépendance des économies des différentes nations, les politiques budgétaires "discrétionnaires" qui favorisent la demande se sont souvent soldées par des échecs et ont contribué à accroître l'endettement public.

En Tunisie, la politique budgétaire est une politique expansionniste. Sa mise en place nécessite une gestion par objectifs qui remonte à 1996 avec le décret N°96-1236 tolérant les ministres à « instituer des unités de gestion pour réaliser des projets déterminés». C'est avec l'élaboration de la Loi Organique du Budget (LOB) en 2004 que le législateur a énuméré les bases de la nouvelle méthode de gestion.

En effet, l'article 11<sup>10</sup> de ladite loi prévoit que « La loi de finances peut autoriser l'affectation des crédits selon des programmes et des missions ». Néanmoins, cela ne signifie pas que l'ancienne politique budgétaire tunisienne a été menée sans objectifs.

La GBO représente une réforme profonde et globale conforme à l'esprit de la nouvelle gestion publique qui exige une réadaptation du cadre opérationnel, institutionnel et juridique pour être. Il ne s'agit pas alors en une simple innovation d'un mode de gestion fondée sur une culture de performance.

Afin de mettre en place une réforme répondant aux standards internationaux avec une adaptation spécifique à ses besoins et ses capacités, la Tunisie a suivi une approche graduelle pour la mise en place du système de gestion budgétaire par objectifs. Il faut indiquer qu'un tel système sollicite quelques conditions à savoir; l'introduction de certaines modifications quant à la préparation, la présentation et l'exécution du budget.

Cette orientation nécessite une rénovation de la nomenclature budgétaire dans l'objectif de garantir la lisibilité des comptes publics. De plus elle permet d'instaurer une budgétisation par programmes axée sur les résultats afin de renforcer la bonne gouvernance budgétaire et de respecter les exigences du nouveau système de gestion.

### **2.3.3 Les origines du déficit budgétaire :**

Avant qu'il reçoive le nom de « loi de finance », le budget de l'Etat est préparé par le gouvernement et voté par le parlement.

Les principales ressources ou sources du budget de l'Etat sont celles issues de la fiscalité, c'est-à-dire des impôts et taxes directs et indirects payés par les contribuables. En Tunisie, cette ressource de financement représente 66,3% du total des recettes de l'Etat en 2019,

---

<sup>10</sup> La Loi Organique du Budget (LOB) en 2004

soit 27 milliards de dinars. Le reste étant financé par des recettes provenant des domaines de l'Etat (8,9%) et des emprunts (24,8%).

Appelées aussi charges budgétaires ou dépenses publiques, les dépenses de l'Etat sont composées principalement des dépenses publiques ordinaires, tels que les rémunérations des fonctionnaires aides à l'emploi, qui représentent 61% du total des dépenses pour l'année 2019 soit une hausse de 100 points par rapport à 2011.

Ces dépenses sont de l'ordre de 25 milliards de dinars soit une hausse de 152% par rapport à 2010. On trouve aussi les dépenses publiques en investissement, qui sont à peine de 1 milliard en 2010 contre 6 milliards de dinars en 2019.

A ces charges s'ajoutent les remboursements du principal et intérêt de la dette qui s'arrêtent à 9,4 milliards pour l'année 2019.

L'équilibre budgétaire est atteint s'il y a une égalité entre les recettes et les dépenses du budget d'Etat. Si les dépenses sont supérieures aux recettes, on parlera de solde budgétaire négatif (déficitaire). Dans le cas contraire on parlera de solde positif c'est-à-dire excédentaire.

Pour combler le déficit budgétaire, l'Etat est amené à contracter des emprunts (bons de trésor, obligations d'Etat) comme il peut augmenter le taux des prélèvements obligatoires (cotisations sociales, impôts et certaines taxes).

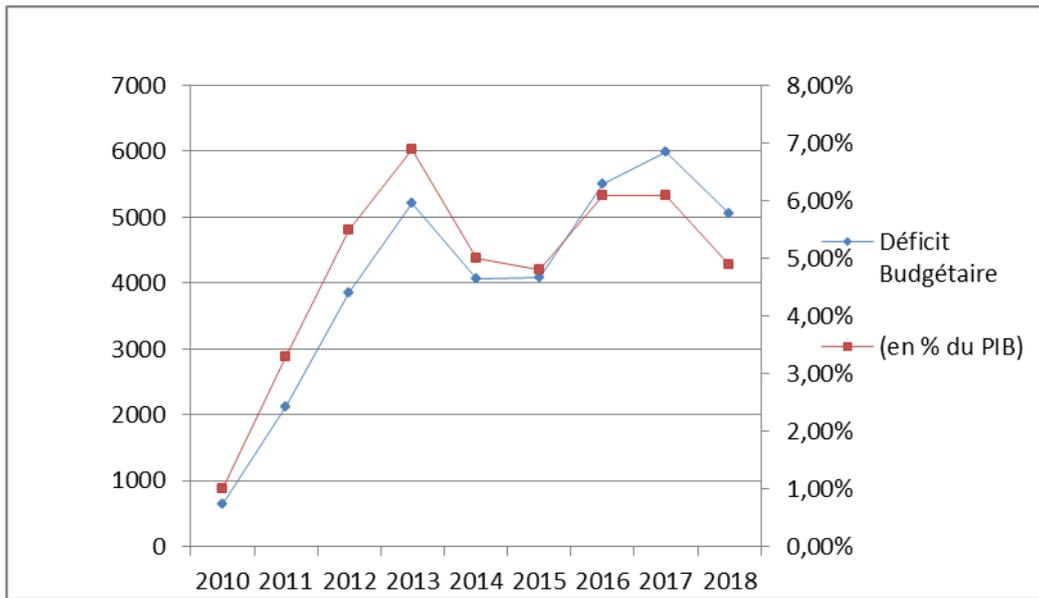
Le principal inconvénient de la première solution c'est qu'elle alimente la dette publique, qui doit être ultérieurement remboursé. Cette dette produit des frais financiers supplémentaires pèsent en retour sur le budget et les générations futures. Le ralentissement de l'activité économique est l'inconvénient majeur de la seconde solution.

Aujourd'hui, on parle souvent d'un déficit modéré pour les finances publiques modernes. En d'autres termes, l'Etat admet qu'un équilibre budgétaire doit être replacé dans le cadre de l'équilibre macroéconomique global par un déséquilibre toléré.

De ce fait l'équivalence arithmétique entre dépenses propres et recettes n'est plus un objectif économique pour l'Etat mais plus tôt sa capacité de maintenir dans certaines limites l'éventuel déséquilibre budgétaire.

La finance publique tunisienne comme le cas de tous les pays en développement, dévoile un déséquilibre budgétaire structurel. En effet, l'examen des données relatives au budget fait ressortir un déficit budgétaire par rapport au PIB. Ce constat résulte absolument des circonstances économiques et sociales du pays.

**Graphique 12: Evolution du déficit budgétaire 2010-2018**

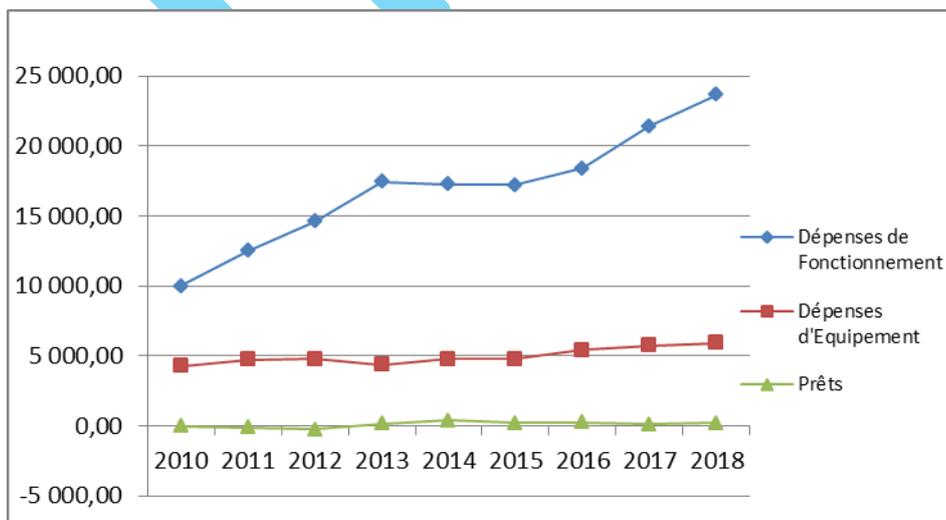


Source : Ministère des finances

On remarque bien que depuis 2010, le déficit budgétaire ne cesse de stagner. En effet, il est passé de -650 milliards de dinar à -5050 milliards de dinar en 2018 pour enregistrer une évolution de 677% en huit ans. Simultanément, on constate que le pourcentage du déficit budgétaire en PIB a bien accru pendant cette même période. Il a ainsi remonté de 1% en 2010 à 5% en 2018.

Les causes du déficit budgétaire sont multiples. Les principales consistent dans l'incapacité du système fiscal à assurer le recouvrement adéquat et dans l'évasion fiscale ainsi l'augmentation des rémunérations et des subventions.

**Graphique 13: Evolution des dépenses publiques 2010-2018**

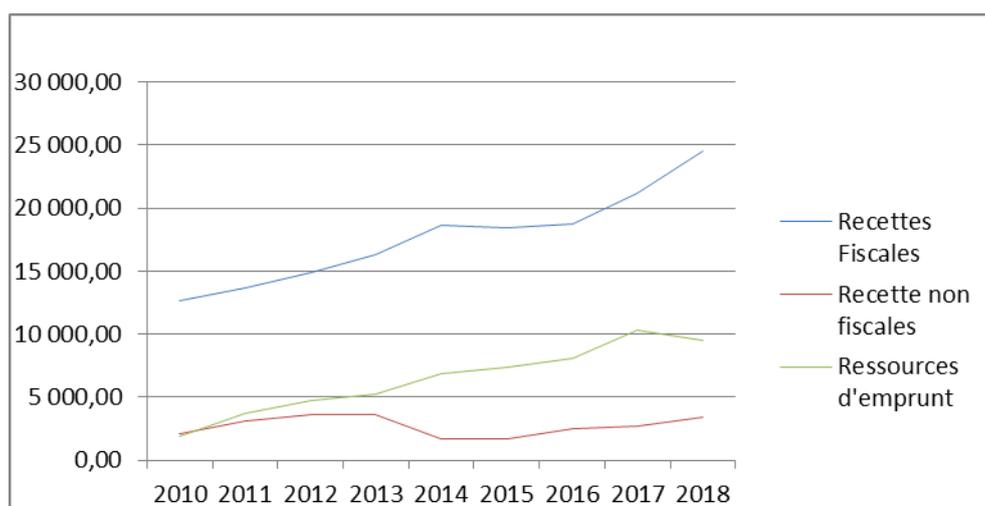


Source : Ministère des finances

On observe bien que la part la plus importante des dépenses publiques est celle relative aux dépenses de fonctionnement qui a passé de 10001 milliards de dinar en 2010 à 25284 milliards de dinar en 2018 pour relever une accélération de 153%. Cette hausse est due essentiellement à la montée des rémunérations publiques.

Tandis qu'aux recettes, bien qu'elles aient augmenté entre au cours de ces dernières années avec un rythme de 124% elle reste incapable à combler la lourdeur des charges publiques. Le graphique ci-dessus désigne la variation de cet indicateur entre 2010 et 2018.

**Graphique 14: Evolution des recettes publiques 2010-2018**



Source : Ministère des finances

### 2.3.3.1 Les subventions

On remarque très bien que les subventions de la caisse générale de compensation (CGC), ont bien augmenté après la révolution de 2011 pour contribuer énormément à l'aggravation du déficit budgétaire.

En effet, elles se sont accrues d'environ 224% entre 2010 et 2018 passant de 2 374,80 MD à 7 694,00 MD. On distingue deux grandes parties des subventions : la première qui est attribuée aux carburants représente (48%) en 2018 et la seconde pour les produits de base et pour le transport qui est de l'ordre de (42%) pour la même année. On conclue alors que près de deux tiers des subventions sont accordées à la consommation de l'énergie.

L'accroissement de la subvention des carburants de 550 MD en 2010 à près de 4235 MD en 2018 est justifié principalement aux facteurs suivants:

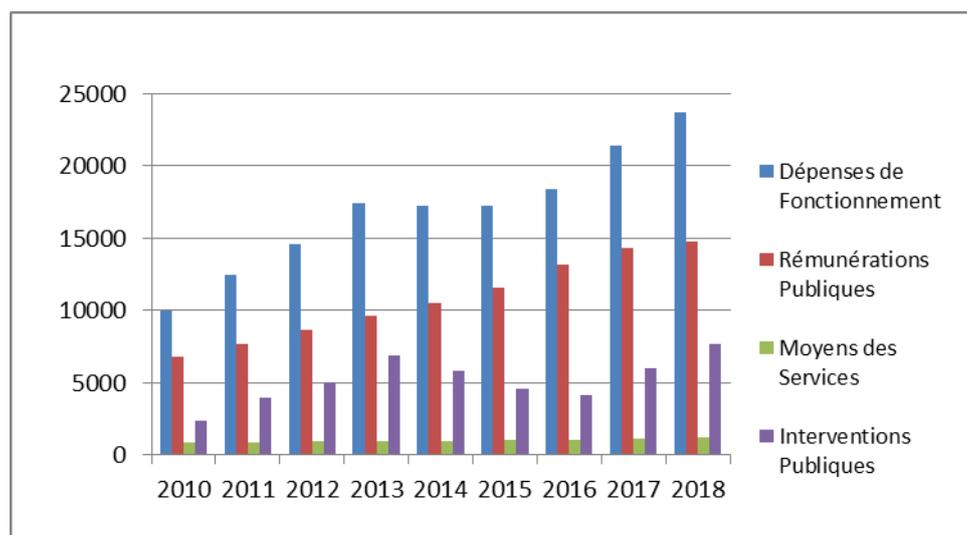
- La chute enregistrée au niveau de la production de pétrole passant de 80.000 barils par jour en 2010 à seulement 40.000 barils par jour en 2016
- La montée de la consommation plus particulièrement de la demande en gaz qui s'est multipliée par quatre depuis 1990.

- La détérioration du dinar par rapport au dollar- était l'équivalent de 1.4314 en 2010 et 2.5290 en novembre 2016.

### 2.3.3.2 Les dépenses de fonctionnement

La phase post-révolution marque une évolution exponentielle des dépenses de rémunération. En effet cette charge qui représente en 2018 près de 50% du total des dépenses publiques, a enregistré ainsi un accroissement de 120% contre 2010 et une stagnation de 3% par rapport à 2017. Ce qui a engendré un déficit budgétaire de l'ordre de 30% du budget total de l'Etat et de 5% du PIB en 2018.

**Graphique 15: Evolution des dépenses de fonctionnement 2010- 2018**



Source : Ministère des finances

Suite à une analyse approfondie de la finance publique, En se basant sur les analyses des finances publiques surtout une étude portée sur les recettes, on remarque bien que plusieurs contraintes viennent pour bloquer l'efficacité et l'équité du système fiscal tunisien.

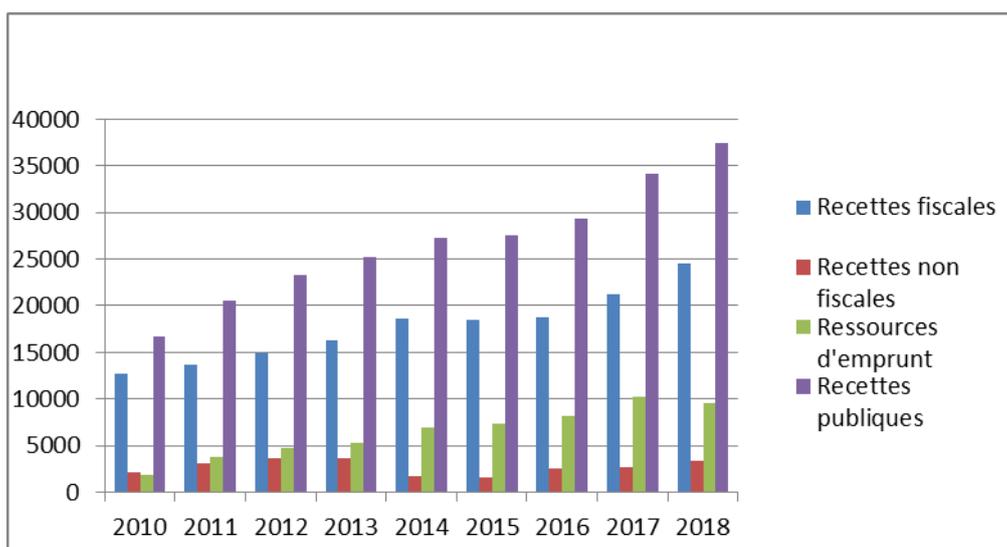
L'année 2011, a bien évoqué plusieurs questions problématiques touchant le bon fonctionnement d'un tel système non seulement au niveau des dépenses mais aussi du niveau de la collecte des impôts et du régime fiscale lui-même.

Là se produit l'importance d'engager des réformes fiscales surtout au cours de cette période transitoire de restructuration institutionnelle.

### 2.3.3.3 Le système fiscal

Les impôts représentent en tant que composante principale des recettes de l'Etat. En effet, l'interprétation des dernières statistiques du budget indique que près de 66% des ressources propres proviendraient des recettes fiscales dont 37% en impôts directs et 63% en impôts indirects. D'où l'importance de cette composante.

Graphique 16: Répartition des recettes publiques 2010-2018



Source : Ministère des finances

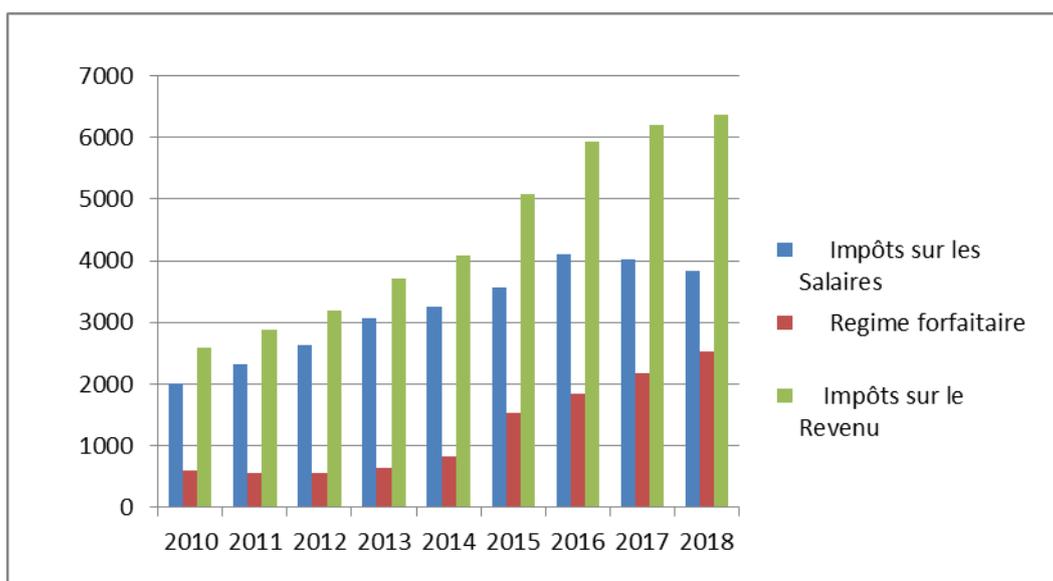
Aujourd'hui, cette composante ne jouit plus les mêmes performances réalisées en matière de déficit budgétaire réalisées avant la révolution de 2011. Elle est due essentiellement aux lacunes du système fiscal actuel ainsi que celles du régime d'imposition forfaitaire.

Il faut noter que la collaboration du régime forfaitaire aux recettes fiscales de l'Etat est très modeste. Pour l'année 2018, ce régime n'a contribué qu'à hauteur 6% aux recettes fiscales du pays, selon le ministère des finances contre 11% pour l'impôt sur salaires.

Ce chiffre traduit clairement la répartition non équitable de la pression fiscale entre les différents contribuables. Néanmoins, la totalité de la charge fiscale est couverte par le revenu qui représente 70% de l'impôt direct contre une contribution de 30% issue de l'impôt sur les sociétés.

Si on analyse bien l'évolution de l'impôt sur le revenu, on remarque clairement que l'impôt sur les salaires a évolué de 90% contre 325% pour le régime forfaitaire ce qui représente une démonstration flagrante de l'engouement des contribuables pour ce statut fiscal attractif.

**Graphique 17: La répartition de l'impôt sur le revenu 2010-2018**



Source : Ministère des finances

#### **2.3.3.4 L'évasion fiscale**

Elle est considérée comme une des causes du déficit budgétaire qui consiste à utiliser différents moyens pour diminuer la charge fiscale. L'économie informelle, la contrebande et le commerce parallèle, sont les principaux fondements de la fraude fiscale.

Ces phénomènes incitent des pertes fiscales annuelles énormes, entre 10 à 15 milliards de dinar, qui affectent le budget de l'Etat en aggravant l'évolution du déficit budgétaire. Il faut mentionner que la contrebande et le commerce parallèle représentent, un taux relativement élevé, en moyenne 35% du PIB<sup>11</sup> entraînant ainsi des pertes fiscales énormes.

#### **2.3.4 La relation entre le déficit énergétique et le déficit budgétaire**

##### **2.3.4.1 Relation entre déficit courant et déficit budgétaire :**

La relation entre l'accroissement du déficit budgétaire et celui du déficit extérieur a fait l'objet de nombreux travaux, aussi bien théoriques qu'empiriques qui a connu un regain d'intérêt dans les années quatre-vingt. Cette relation est connue sous le nom de déficits jumeaux.

On entend par déficits jumeaux, l'augmentation du déficit budgétaire accompagnée par une hausse du déficit extérieur.

Plusieurs travaux, à la fois théoriques et empiriques, ont étudié les déficits jumeaux. Malgré que cette relation reste récente vue qu'elle n'a connu un développement que durant les années 80 et 90 aux Etats-Unis d'Amérique avec la hausse simultanée de ces deux déficits induit par les politiques économiques menées par l'administration Reagan.

<sup>11</sup> Marouane Abassi, Le gouverneur de la Banque Centrale de Tunisie, a annoncé dans une audition à l'Assemblée des représentants du peuple le 15 juillet 2019

En effet, une augmentation significative des déficits externes et internes durant l'année 1980 a été rencontrée aux Etats Unies ce qui a tracé le chemin à plusieurs économistes pour mettre accent sur la détérioration simultanée de deux déficits courant et budgétaire.

La politique budgétaire des Etats Unis pendant l'administration de Reagan est dotée d'une politique expansionniste. En d'autres termes une politique qui consiste à sacrifier les taxes et à accroître certaines dépenses publiques.

Ce qui a provoqué une propagation du déficit budgétaire avec une accumulation importante de la dette publique. Les emprunts étatiques ont alors monopolisé une grande partie de l'épargne nationale disponible et ont fait hausser les taux d'intérêts, ce qui a pénalisé les investissements privés et creusé le déficit commercial américain<sup>12</sup>.

Ces événements engendrèrent l'idée que les déficits publics et ceux du compte courant étaient des déficits jumeaux, induits par les politiques de Reagan<sup>13</sup>.

D'un point de vue comptable, cette relation peut être déduite à partir de l'identité macroéconomique du revenu national :

$$Y = C + I + G + X - M \quad (1)$$

Avec

Y : étant le revenu national

C : la consommation privée

I : l'investissement

G : les dépenses publiques

X : les exportations M : les importations.

T : les recettes fiscales

Les emplois du revenu disponible des ménages se traduisent par l'égalité :

$$Y - T = C + S$$

En combinant les deux équations, on obtient la relation macroéconomique de financement de l'investissement<sup>14</sup> :

---

<sup>12</sup> Caron Matthieu, 2007, «Budget et politique budgétaire», Edition Bréal, pp. 94

<sup>13</sup> S. M. Ali Abbas, Jacques Bouhga-Hagbe, Antonio J. Fatás, Paolo Mauro, and Ricardo C. Velloso, May 2010, « Fiscal policy and the current account », IMF Working Paper- International Monetary Fund -, Fiscal Affairs Department

<sup>14</sup> Les fondements théoriques de la relation entre les deux déficits selon l'approche traditionnelle retenue sont d'inspiration keynésienne (et aussi en tenant compte des résultats du modèle Mundell-Fleming).

$$I = Sp - (G - T) + (M - X)$$

$$\Leftrightarrow (X - M) = (Sp - I) + (T - G) \quad (2)$$

$$\Leftrightarrow CC = Sp - I - (G - T)$$

$$\Leftrightarrow I = S_m + S_g + S_f(d)$$

Avec :

CC : Compte courant

Sp: L'épargne privée

Sm: L'épargne des ménages

Sg: L'épargne (ou le déficit) de l'Etat

Sf: Le montant (positif ou négatif) des flux financiers en provenance ou en direction du reste du monde<sup>15</sup>,

L'équation habituelle d'équilibre de la balance des paiements :  $X - M + S_f = 0$

Le solde courant CC est directement lié au déficit budgétaire ( $G - T$ ) défini comme étant la différence entre les dépenses publiques et les recettes fiscales collectées auprès des ménages et des entreprises.

Pour que l'investissement soit financé par l'épargne intérieure des ménages - condition à long terme de croissance durable et de non dépendance financière vis-à-vis du RDM -, il faut que le budget de l'Etat et les échanges extérieurs soient équilibrés<sup>16</sup>.

On a alors,  $G - T = 0$  et  $X - M = 0$   $G - T \equiv M - X$

Ainsi, l'épargne et l'investissement intérieur s'ajusteraient sur le marché financier national grâce à la flexibilité du taux d'intérêt national:  $I_m = S$ .

En d'autres termes, si la différence entre l'épargne des ménages et l'investissement est constante, tout accroissement du déficit budgétaire affectera positivement le compte courant.

#### **2.3.4.2 Relation entre déficit énergétique et déficit budgétaire : Cas de la Tunisie**

La relation le déficit énergétique et le déficit budgétaire est issue de la relation existante entre le déficit courant et celui budgétaire. En effet, selon le calcul du déficit budgétaire est calculé en Tunisie selon la formule suivante :

$$\text{Budget de l'Etat} = R - D$$

<sup>15</sup> On désigne par la suite par RDM : Reste du monde

<sup>16</sup> Gabsi Foued Badr, 2004, « Les déficits commerciale et budgétaire sont-ils jumeaux en Tunisie? », CEMAFI - Centre d'Etudes en Macroéconomie et Finance Internationale

Avec :

R= Recettes publiques

D= Dépenses publiques

Les recettes publiques peuvent être réparties en recettes fiscales et recettes non fiscales. De ce fait, on peut écrire l'équation suivante :

$$R = \text{Recettes fiscales} + \text{Recettes non fiscales}$$

Avec :

$$\begin{aligned} & \text{Recettes fiscales} \\ &= \text{Impot sur revenus} + \text{Impot sur les sociétés pétrolières} \\ &+ \text{impot sur les autres sociétés} + \text{Droits et taxes extérieurs} \\ &+ \text{Droits et taxes intérieurs} \end{aligned}$$

$$\text{Et } \text{Recettes non fiscales} = \text{Revenus pétroliers} + \text{Participations (BCT ...)} + \text{Privatisation} + \text{Dons} + \text{Recettes diverses}$$

Donc on peut regrouper les recettes budgétaires en recettes d'énergies et recettes hors énergie.

$$\text{Recettes publiques d'énergie} = \text{Impôt sociétés Pétrolières} + \text{Revenus pétroliers}$$

Et

$$\begin{aligned} \text{Recettes publiques hors énergie} \\ &= \text{impot sur revenus} + \text{impot sur les autres sociétés} \\ &+ \text{Droits et taxes extérieurs et intérieurs} + \text{participations (BCT..)} \\ &+ \text{Privatisation} + \text{Dons} + \text{Recettes diverses} \end{aligned}$$

Les dépenses publiques peuvent être décomposées en :

$$D = \text{Salaires} + \text{Subventions énergie} + \text{subventions CGC} + \text{Subventions transport} + \text{Interventions} + \text{Autres dépenses}$$

Parallèlement, les dépenses publiques peuvent être classées en dépenses publiques d'énergie et dépenses publiques hors énergie.

D'où :

$$\text{Dépenses publiques d'énergie} = \text{Subventions énergie}$$

Et

*Dépenses publiques hors énergie*

$$= \text{Salaires} + \text{subventions CGC} + \text{Subventions transport} \\ + \text{Interventions} + \text{Autres dépenses}$$

D'où on peut retirer la relation entre le déficit budgétaire et le déficit énergétique en regroupant les recettes et les dépenses sous la formule suivante :

*Budget de l'Etat*

$$= \text{Recettes d'énergie} - \text{Dépenses d'énergie} + \text{Recettes hors énergies} \\ - \text{Dépenses hors énergies}$$

On peut alors répartir le déficit budgétaire en déficit en énergie et déficit hors énergie

D'où l'équation suivante :

$$\text{Budget de l'Etat} = \text{Budget pour énergie} + \text{Budget hors énergie}$$

En analysant le budget de au cours ces dernières années, on constate que le budget pour l'énergie est excédentaire alors que celui hors énergie est déficitaire.

En effet, le budget hors énergie dévoile fin 2018 un solde de -9819 MDT contre -8243MDT l'année précédente soit une variation de 19% justifiée principalement par l'accumulation des dépenses de gestion en outre les salaires variation de 25% par rapport à 2016, qui comble d'une année à une autre le budget de l'Etat.

**Graphique 18: La répartition du déficit budgétaire en termes d'énergie et hors énergie**



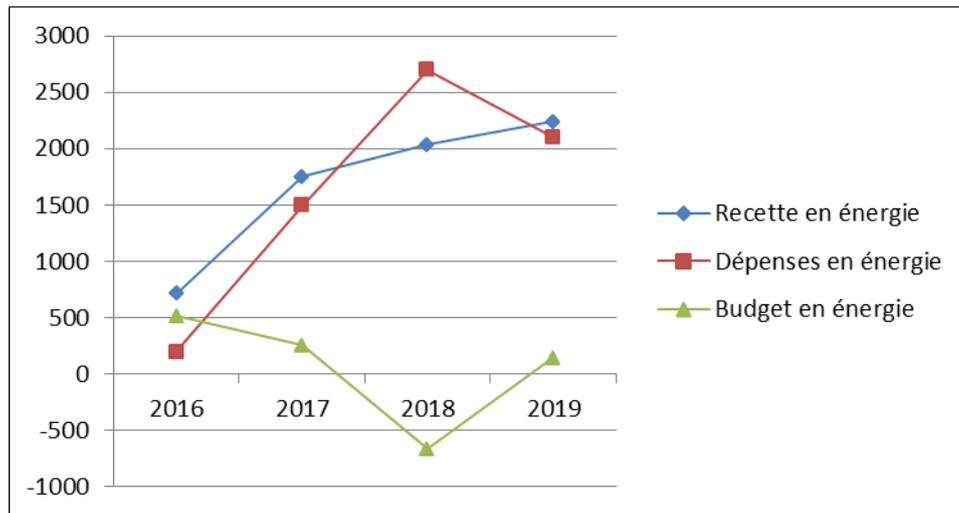
Source : Ministres des finances

Entre 2016 et 2019 on remarque que les recettes publiques provenant du secteur d'énergie ont bien évolué. Elles sont passées de 711,9 MDT à 2239 soit une hausse de 214%.

En contrepartie il y avait une accélération au niveau des dépenses publiques qui ont augmenté neuf fois par rapport à 2016.

Cette aggravation est justifiée par les charges des subventions que l'Etat tunisien subit sur tout avec l'augmentation du prix du baril de pétrole depuis 2017.

**Graphique 19: Evolution des recettes et charges publiques en terme d'énergie 2016-2019**



Source : Ministres des finances

Le déficit en 2018 est dû principalement à l'augmentation des subventions énergétiques suite à la montée des prix internationaux du pétrole. Dans ce contexte il faut indiquer que l'effet du déficit énergétique sur le budget de l'Etat dépend de l'indexation ou non des prix locaux d'hydrocarbures sur le prix international.

Si l'indexation se réalise en répercutant sur les consommateurs le prix international, alors le budget de l'Etat bénéficiera de l'augmentation des recettes pétrolières liées au nouveau prix international.

Ainsi, le budget de 2018 a bénéficié d'un bonus de 600 MD provenant des revenus pétroliers et impôts sur les sociétés pétrolières suite à l'augmentation du prix international mais les subventions d'énergie ont augmenté de 1200 MD, aggravant ainsi le déficit budgétaire.

Pour 2019, le prix de pétrole prévu par le Budget de l'Etat de 73 \$/b permettrait des revenus et impôts pétroliers de 2240 MD soit presque le même niveau de recettes réalisé en 2018, face à des subventions d'énergie prévues à la baisse de 2700 MD à 2100 MD.

Cette baisse des subventions nécessite des alignements de prix locaux qui dépendent du cours du dollar et du prix international, sachant qu'un premier ajustement a eu lieu fin mars 2019.

Dans ce cadre découle l'effort des parties publiques pour atténuer ce déficit en agissant sur la carte de l'énergie. En effet la dernière loi de finance montre bien une diminution des subventions énergétique de 600 MDT pour 2019 contre une augmentation de 1200 MDT l'année précédente. Cette décision a impacté directement la taxation des produits des carburants au profit du fonds national de maîtrise de l'énergie.

La conjuguée avec une augmentation des impôts sur les sociétés pétrolières pendant les prochaines années peut renforcer les recettes publiques mais elle reste une solution de court terme qui est attachée à l'indexation du prix de pétrole.

De ce fait, le passage aux énergies renouvelables qui réduiront la facture gazière qui est devenue très élevée 1365 MD sur 4 mois est la seule solution pour faire face à cette situation d'urgence. Les IDE, plus pressément les concessions, sont financement clefs pour développer les énergies renouvelables.

De plus, ces énergies permettent de réduire la dépendance du gaz importé par la STEG dans le cadre d'un partenariat avec des privés compte tenu de sa faible capacité de financement des investissements suite aux engagements passés.

## **2.4 Déficit énergétique et croissance économique**

### **2.4.1 Les énergies renouvelables**

#### **2.4.1.1 Définition**

L'origine des énergies renouvelables sont des sources renouvelables, c'est-à-dire une source qui se renouvelle assez vite de telle sorte qu'elle n'ait pas d'impact sur sa disponibilité future. A l'encontre des énergies fossiles qui sont plutôt des énergies de stock, ce type d'énergie se présente sous forme de flux et se régénèrent d'une manière permanente (les flux solaires, le vent, etc.).

D'une manière générale, sont l'un des facteurs de lutte contre le changement climatique. En effet, elles n'ont pas d'impacts négatifs sur l'environnement. Leur exploitation ne provoque aucune émission de GES. De ce fait elles font parties des énergies propres. En plus, cette énergie dévoile un grand potentiel pour la production de l'électricité à grande échelle.

Les premiers usages de l'énergie renouvelable étaient essentiellement pour alimenter des sites isolés tels que les zones insulaires et les zones désertiques et les montagnes. Avec la signature du Protocole de Kyoto, les énergies renouvelables devenaient une source pour lutter contre le réchauffement climatique.

Plusieurs pays tels que l'Europe, les États-Unis, apportent un grand intérêt aux énergies propres vu qu'elles favorisent non seulement des avantages économiques mais aussi des avantages sociaux et environnementaux. D'où le rôle crucial des technologies d'énergies renouvelables dans la réalisation du développement durable.

On entend par les technologies d'énergie renouvelable l'ensemble des pratiques de production d'énergie avec des ressources ou des forces dont les stocks sont illimités. L'apport de ces sources renouvelables se réside dans leurs contribution en termes de production d'électricité permettent aux pays d'alimenter les zones isolées en électricité, de produire de l'électricité raccordée au réseau ainsi que de limiter la diffusion de GES.

Les principales sources d'énergies renouvelables

Les sources d'énergie renouvelables ne cessent d'apparaître jour après jour. On trouve ainsi les sources renouvelables solaires, éoliennes, hydrauliques. L'énergie issue de la biomasse et de la géothermie.

#### ***2.4.1.2 L'énergie solaire***

La source principale de l'énergie renouvelable est le soleil. Elle se caractérise de son action de réchauffement direct comme elle a des impacts sur le vent, les marées voir même sur les ressources fossiles. L'exploitation de l'énergie solaire se fait selon plusieurs procédés. Il existe alors l'énergie solaire passive qui est consommé généralement dans l'architecture. L'objectif de cette technique est d'exploiter le maximum l'énergie solaire via de grandes fenêtres afin de bénéficier d'un important stockage de rayonnement solaire ou de murs sous forme de chaleur. On se trouve ainsi avec des maisons solaires passives totalement optimisées d'un point de vue thermique.

L'énergie solaire peut être captée et transformée en chaleur ou en électricité grâce à des capteurs adaptés ou des miroirs. En effet, il existe trois types de technologies d'énergie solaire :

- L'énergie solaire photovoltaïque (PV)
- L'énergie solaire thermique basse température
- L'énergie solaire thermique haute température

#### ***2.4.1.3 L'énergie éolienne***

Au cours des dernières décennies, le mécanisme utilisé pour moudre le blé et pomper l'eau à l'aide du vent a été calqué pour produire de l'électricité. Deux principaux types d'éoliennes existent : les éoliennes de grandes puissances qui sont raccordées aux réseaux nationaux et les aérogénérateurs domestiques de faible puissance qui fournissent de l'électricité pour des besoins individuels.

Parmi les déterminants de la viabilité économique d'une éolienne on trouve la vitesse moyenne du vent, les caractéristiques des pales ainsi que le rendement du générateur. L'avantage économique qui incite les pays de choisir ce type d'énergie est sa rentabilité. En effet, le coût de revient du Kilowatt-heure (KWh) éolien dans des sites bien ventés est de plus en plus proche de celui des énergies fossiles.

#### **2.4.1.4 L'énergie hydraulique**

De nos jours, la contribution de l'énergie hydraulique dans l'électricité mondiale est énorme. L'exploitation de la force hydraulique a pris un essor exponentiel depuis le XXe siècle, elle devient une ressource principale de l'énergie renouvelable à travers le monde. Son fonctionnement est similaire à celui de l'énergie éolienne. Néanmoins, on utilise plus le vent qui fait fonctionner une turbine, mais c'est plutôt l'énergie mécanique générée par la chute de l'eau qui joue le rôle. Cette énergie mécanique se transforme en énergie électrique à travers une turbine liée à un alternateur.

La longue durée de vie de l'installation ainsi que le faible coût par rapport aux autres technologies plus modernes et plus compliquées représentent les principaux avantages de cette technologie renouvelable.

#### **2.4.1.5 L'énergie géothermique**

Le développement de l'énergie géothermique s'explique par le fait d'exploiter l'énergie emmagasinée dans le sol pour générer de l'électricité ou directement pour les besoins de chauffage.

Plusieurs avantages incitent les pays de s'orienter vers la géothermie. Cette technologie ne dépend pas des conditions atmosphériques telles que la pluie, le soleil, le vent, etc. De plus, elle a une durée de vie de plusieurs dizaines d'années comme elle utilise des installations ne polluent pas l'atmosphère. Aussi la capacité de produire de l'électricité en même temps que la chaleur via la cogénération, peut encore augmenter l'intérêt de la géothermie.

#### **2.4.1.6 La biomasse :**

Issue de l'action du soleil avec la photosynthèse, la biomasse est devenue une source d'énergie considérable qui se trouve sous forme de carbone organique. On la considère en tant que énergie renouvelable si régénération est au moins égale à sa consommation.

La valorisation de la biomasse se fait selon trois formes de procédés : la voie sèche, la voie humide et la production d biocarburants. En fonction de ces techniques, on peut répartir l'énergie de la biomasse en trois formes d'énergie utile : la chaleur, l'électricité et la force de déplacement.

#### **2.4.2 L'énergie renouvelable en Tunisie :**

En Tunisie, l'énergie renouvelables ont connu un développement modéré au niveau des projets et des capacités installées, mais un certain nombre d'acquis et de progrès ont été enregistrés aussi bien sur le plan institutionnel et réglementaire que financier et incitatif.

Selon le président de la Chambre de commerce et d'industrie de Tunis (CCIT) «la Tunisie, depuis une décennie, a intensifié ses efforts d'exploration des énergies renouvelables, non seulement pour l'impact positif sur la balance commerciale, mais aussi pour l'amélioration de vie des Tunisiens, qui doivent tous avoir, un jour ou l'autre, accès à l'énergie, notamment dans les régions les plus défavorisées».

Ces efforts sont concrétisés surtout avec la promulgation d'un certain nombre de lois telles la loi de 2015 et les textes d'applications y afférents. Toutefois, la production d'énergie renouvelable reste négligeable, 3% de la production nationale d'énergie primaire. Cette faiblesse est justifiée surtout avec les obstacles réglementaires et financiers qu'empêchent les investisseurs privés.

Dernièrement le Ministre de l'Industrie et des PME, a pu collecter, suite lancement d'appels d'offres internationaux en janvier 2019, deux milliards de dollars d'investissements étrangers portant sur la réalisation d'une série de projets d'électricité éolienne et solaire au cours des trois prochaines années<sup>17</sup>.

Ces investissements permettraient de stimuler la capacité de production nationale avec un supplément de 1900 MW d'ici 2022, ce qui représentera alors environ 22% de la capacité installée.

Il faut indiquer que, selon l'Agence Nationale pour la Maitrise de l'Energie, l'objectif visé pendant les dix prochaines années est de promouvoir 30% de la production d'électricité sous forme d'énergie renouvelable.

#### **2.4.3 Le développement durable :**

Le développement durable est un processus qui comporte simultanément la préservation de l'environnement, le développement économique, la préservation de l'environnement et le respect de l'égalité entre les générations : présentes, futures et au sein de la même génération. A l'encontre à ce qui est souvent connu, le développement durable ne tient pas compte uniquement de la prise de conscience de la protection de l'environnement, mais il englobe plutôt l'établissement d'un meilleur équilibre entre les dimensions sociale, environnementale et économique.

Une des définitions du développement durable la plus connue et celle qui a été donnée, en 1987, par le rapport Bruntland. Dès ce fameux rapport, une diversité de définitions de la durabilité et du concept du développement durable est survenue dans la littérature (Barbier, 1987 ; Goodland et Ledec, 1987 ; Markandya et Pearce, 1988 ; Glavic et Lukman, 2007).

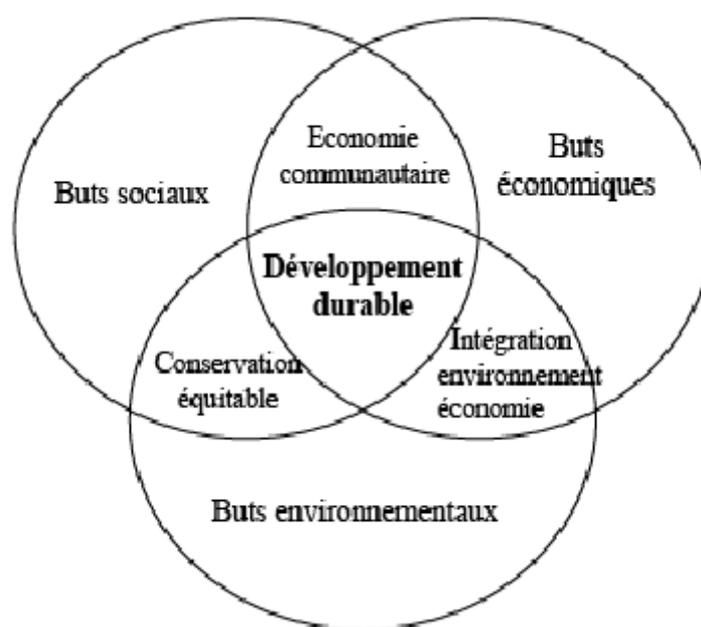
Parmi les définitions les plus récente, c'est celle donnée par Glavic et Lukman (2007, p.1884): *"Sustainable development emphasizes the evolution of human society from the responsible economic point of view, in accordance with environmental and natural processes"*.

Depuis la popularisation de la notion de développement durable par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement en 1987, ce concept est devenu la préoccupation des scientifiques des différentes disciplines (Costanza et Daly, 1992 ; Opschoor et van der Straaten, 1993 ; Beckerman, 1994 ; Osofsky, 2003).

---

<sup>17</sup> Rapport de Oxford Business Group du 29 mars 2019

Figure 5:Modèle de développement durable de Sadler et Jacobs 17 (Villeneuve, 1998)



Certes, la littérature du développement durable est très riche. On trouve ainsi plusieurs chercheurs qui ont traité ce concept à savoir : (Daly, 1990 ; 1996 ; Chichilnisky, 1996 ; 1997 ; Howarth, 1997 ; Bossel, 1999 ; Munasinghe, 2001 ; Sneddon, Howarth et Norgaard, 2006 ; Martinet et Doyen, 2007 ; Ayres, 2008 ; Mauerhofer, 2008 ; Sedlacko et Gjoksi, 2009 ; Baumgärtner et Quaas, 2010). Bien que l'abondance de la littérature et les accords internationaux traitant le concept de développement durable, ce dernier demeure ambigu, contesté et contenant plusieurs volets.

De ce fait, une importance primordiale est accordée pour ce concept. En effet, plusieurs organisations internationales telles que l'Organisation of Economic Cooperation and Development (OECD, 2001 ; 2006 ; 2007 ; 2010) et la Banque mondiale (Pezzey, 1992 ; Soubotina, 2004) ne cessent d'étudier cette notion.

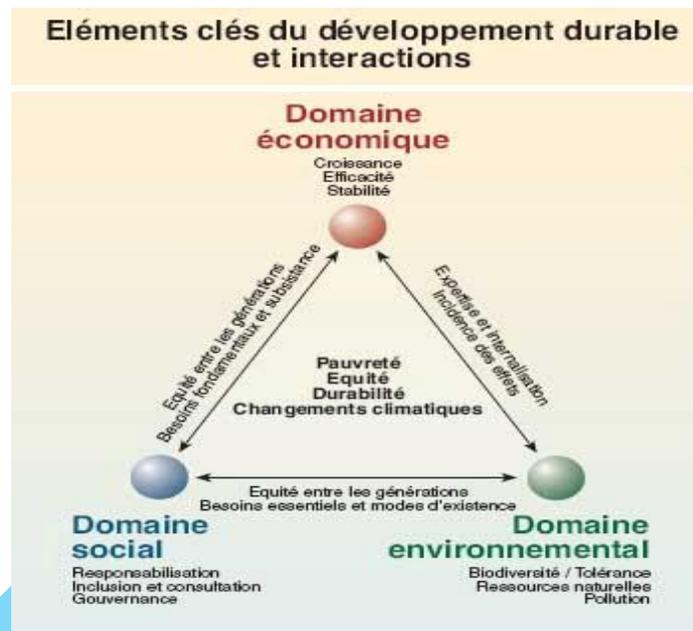
En autres, de nombreuses conférences internationales telles que la Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement en 1992, le Sommet mondial sur le développement durable en 2002, la Conférence des Nations unies sur le développement durable en 2012, la Conférence de Paris de 2015 sur le climat COP 21- Paris et la Conférence de Marrakech sur les changements climatique COP 22- Marrakech ont été organisées afin de regrouper le plus grand nombre d'experts et populariser ce concept.

Ainsi, un important challenge est mis en place afin de relever à la fois la cohérence et l'efficacité donnée à cette notion.

Il n'existe pas alors une définition claire, unique et universellement acceptable du développement durable (Munasinghe, 2001 ; Sedlacko et Gjoksi, 2009). Cependant, Il existe un large consentement sur les essentiels piliers du développement durable qui sont les dimensions économique, sociale et environnementale (Munasinghe, 1993 ; Dyllick et Hockerts, 2002).

Le progrès social, la préservation de l'écosystème ainsi que l'efficacité économique sont les principales finalités du développement durable. La stratégie de développement durable vise à manager le compromis nécessaire entre ces trois dimensions sans pour autant oublier les dimensions institutionnelles et politiques qui sont également au cœur de ce concept.

**Figure 6: Les éléments clés du développement durable et leurs interactions**



En 2001, l'IPCC a représenté le concept de développement durable en utilisant un triangle (Figure) :

- La dimension économique : c'est l'amélioration du bien-être humain via l'augmentation de la production et de la consommation des biens et des services.
- La dimension environnementale : c'est la protection de l'intégrité des écosystèmes et de la biodiversité.
- La dimension sociale : c'est le renforcement des rapports humains et la bonne gouvernance.

Deux principales approches ont traité le développement durable: la durabilité forte et la durabilité faible. La majeure différence entre ces deux approches selon Neumayer, 2010, est la commuabilité entre le capital fabriqué par l'homme et les ressources naturelles.

Les principaux travaux de l'école néoclassique qui défendent la durabilité faible, sont ceux de Solow (1974) et Weitzman, 1997 qui recommandent la substituabilité entre le capital naturel et le capital fabriqué par l'homme. En fait, selon cette école, la durabilité représente le maintien dans le temps du niveau du bien-être global dans la société. Ainsi, d'une génération à l'autre, le stock de capital, qui est égal au moins à celui des générations présentes, doit être conservé afin de prémunir un bien-être des générations futures

Du coup, une diminution du capital naturel à travers l'utilisation d'une ressource épuisable, à titre d'exemple, peut être compensée par une augmentation du capital fabriqué de la même valeur, ce qui rend le stock de capital constant et la forte possibilité de créer autant de biens et de services.

En d'autres termes, Il existe un échange réciproque dans le temps : la génération présente consomme le capital naturel, mais en retour elle commette aux générations futures des capacités de production sous la forme de stocks de matériels, de connaissances et de compétences.

Tandis qu'aux partisans de l'économie écologique, ils défendent plutôt l'idée de la durabilité forte. C'était Daly (1992 ; 1996) qui a développé d'avantage cette affirmation. En effet, cette approche est fondée essentiellement sur l'hypothèse de la complémentarité entre le capital fabriqué par l'homme et le capital naturel (Neumayer, 2010).

Ainsi, il faut garder, au fil du temps, un stock de « capital naturel critique » qui est crucial pour le bien-être des générations futures. En fait, certaines ressources de l'environnement sont incontournables et procurent des services qui sont irremplaçables par des capitaux fabriqués par l'homme.

De nos jours, la durabilité est fusionnée avec toutes les préoccupations de la vie moderne. En effet, on parle souvent de la durabilité financière, de la durabilité sociale, des emplois durables, des villes durables, des sociétés durables. Cette constatation a été affirmé par Daly (1996, p.9) au niveau de son célèbre ouvrage « Beyond Growth, the Economics of Sustainable Development »: « We expected any day to hear about 'sustainable sustainability' »<sup>18</sup>

#### **2.4.4 Consommation d'énergie et croissance économique :**

L'analyse économique de l'énergie a été débutée en 1865 avec Stanley JEVONS ou il a étudié l'impact de la limitation de la production de charbon sur le développement industriel au Royaume-Uni.

Toutefois, l'école néoclassique ne tient pas compte de l'énergie en tant que facteur de production. Elle pense que les systèmes productifs n'englobent que les trois facteurs : le travail, le capital et la terre<sup>19</sup>.

C'était en 1967 que l'analyse économique de l'énergie a été explicitement développée<sup>20</sup>. Suite au premier choc pétrolier, la relation causale entre la consommation d'énergie et la croissance économique a été de plus en plus traitée. Parmi ces travaux on trouve celui de Kraft et Kraft (1978) qui ont mis en lumière l'existence d'une causalité unidirectionnelle entre le PIB et la consommation d'énergie aux Etats Unis sur la période 1947-1974 via la

---

<sup>18</sup> Beyond Growth, the Economics of Sustainable Development , Daly (1996, p.9)

<sup>19</sup> Le facteur « terre » est disparu et fut intégré dans le facteur de production (capital).

<sup>20</sup> La publication du premier ouvrage de MAINGUY. Y, L'économie de l'énergie, Dunod (collection Finances et Economie),1967

technique de Sims. Ce travail a été, par la suite, critiqué par Akarca et Long (1980) qui ont considéré que la période de l'analyse était instable puisqu'elle incluait le premier choc.

L'énergie représente un complément aux autres facteurs de production tel que le capital et le travail, elle est un élément crucial pour la consommation finale telle que le transport, la climatisation, l'éclairage, le refroidissement, le chauffage que ce soit pour la consommation ou la production intermédiaire.

L'énergie joue alors un rôle important dans l'extension de la croissance économique qui est justifiée par la contribution des ressources énergétiques dans la révolution industrielle qui n'aurait pas été possible sans eux.

D'après le Commissaire européen Busquin l'utilisation d'énergie, comme les technologies d'information, représente un bien vital de la société d'aujourd'hui<sup>21</sup>.

On conclut ainsi que l'énergie est une composante principale du développement économique et social.

D'une manière générale l'augmentation du prix de pétrole impacte l'évolution de la croissance économique soit à la hausse soit à la baisse, tout dépend de la situation énergétique du chaque pays. Le fait est d'avoir des ressources énergétiques suffisantes, dans le cas d'une hausse des prix, permet de garder le même niveau de croissance du PIB voir l'accélérer.

Par contre, une hausse du prix de pétrole va bloquer ou même affecter une baisse de la croissance pour les pays importateurs de l'énergie. En d'autres termes, les ressources nationales d'énergie ne comblent plus la demande qui augmente à un rythme régulier ce qui impacte directement le ratio importations énergétiques sur le PIB, qui serait de plus en plus élevé, et indirectement la croissance économique<sup>22</sup>.

#### 2.4.5 Élasticité revenu et prix de la consommation d'énergie

Selon Martin (1992), la relation qui existe entre la consommation d'énergie et les divers agrégats macroéconomiques particulièrement le PIB peut être interprétée en termes d'élasticité constante Autrement dit, l'évolution du PIB suite à une variation de la consommation d'énergie.

Au début des années 70, les spécialistes croyaient que la consommation d'énergie primaire et la croissance économique évoluaient au même rythme dans les pays développés<sup>23</sup>. Cette élasticité<sup>24</sup> n'est autre qu'un ratio entre la variation relative de la consommation d'énergie et celle de PIB pendant une période donnée. Cette élasticité peut être :

- Egale à 1 dans les pays en développement, c'est à dire une croissance d'énergie plus proportionnelle à celle de l'activité économique.

<sup>21</sup> Ambapour, S. and C. Massamba, Croissance économique et consommation d'énergie au Congo : une analyse en termes de causalité, Bureau d'applications des méthodes statistiques et informations, Décembre 2005.

<sup>22</sup> Ambapour, S. and C. Massamba, Croissance économique et consommation d'énergie au Congo : une analyse en termes de causalité, Bureau d'applications des méthodes statistiques et informations, Décembre 2005

<sup>23</sup> La loi dite « d'élasticité unitaire ».

<sup>24</sup> C'est l'élasticité produit :  $e_{pdt} = \frac{\frac{\Delta c}{c}}{\frac{\Delta PIB}{PIB}}$

- Inférieure à 1 et varie entre 0,85 à 0,9 pour les pays industrialisés, cela signifie que le PIB favorisant l'amélioration du rendement énergétique.

Un autre concept d'élasticité se réfère à l'effet du prix sur la consommation c'est l'élasticité prix. Elle représente le rapport entre la variation de la consommation d'énergie et celle du prix de l'énergie durant une période de temps donnée.

Ce ratio est en général très minime sur le court terme puisque ce n'est pas facile pour un consommateur de changer ces équipements énergétiques<sup>25</sup>. De ce fait, on peut expliquer la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique en termes des intensités énergétiques de l'activité économique.

#### *2.4.5.1 Intensité énergétique*

Pour mesurer la relation entre les situations économiques et celles énergétiques de différents pays on utilise souvent la consommation d'énergie (primaire ou finale) par habitant et l'intensité énergétique.

Cependant, tous les économistes estiment qu'une meilleure mesure de l'efficacité énergétique est celle fondée sur l'intensité énergétique.

La définition la plus connue de l'intensité énergétique est le rapport entre une consommation d'énergie (ex. en tep) et un indicateur d'activité mesuré en unité monétaire à prix constants (PIB, valeur ajoutée) c'est-à-dire la quantité d'énergie nécessaire pour constituer une unité de PIB.

Il faut noter que l'intensité énergétique est proportionnelle à deux facteurs : l'efficacité de la consommation d'énergie et la structure de l'activité économique.

Des études ont montré que l'intensité énergétique augmentait avec l'industrialisation et diminuait avec l'apparition de nouveaux progrès techniques et la tertiarisation de la production<sup>26</sup>.

Il est important de rappeler ici que l'analyse annuelle des fluctuations des intensités énergétiques globales reste assez délicate à faire d'année en année, et ne présente pas une réelle utilité. En effet, les fluctuations requièrent, tout d'abord, des informations d'une grande fiabilité, et d'une grande finesse.

Malgré cela, les analyses sont sujettes à une mauvaise interprétation en cas d'occurrence d'évènements ponctuels parfois difficiles à détecter. Ainsi, l'intensité énergétique est parfois un indicateur susceptible d'interprétations pouvant être ambiguës. Par exemple, un indice élevé c'est-à-dire une consommation importante d'énergie pour la production d'une unité de PIB peut être l'indicateur positif de la mise en œuvre de processus productifs hautement mécanisés et performants.

Mais il peut être l'indicateur négatif d'une mauvaise gestion des ressources énergétiques c'est-à-dire, l'indice d'une utilisation non rationnelle de l'énergie (utilisation d'équipements

---

<sup>25</sup> SACKO, I., Analyse des liens entre croissance économique et consommation d'énergie au Mali, in CERFOD. 2004.

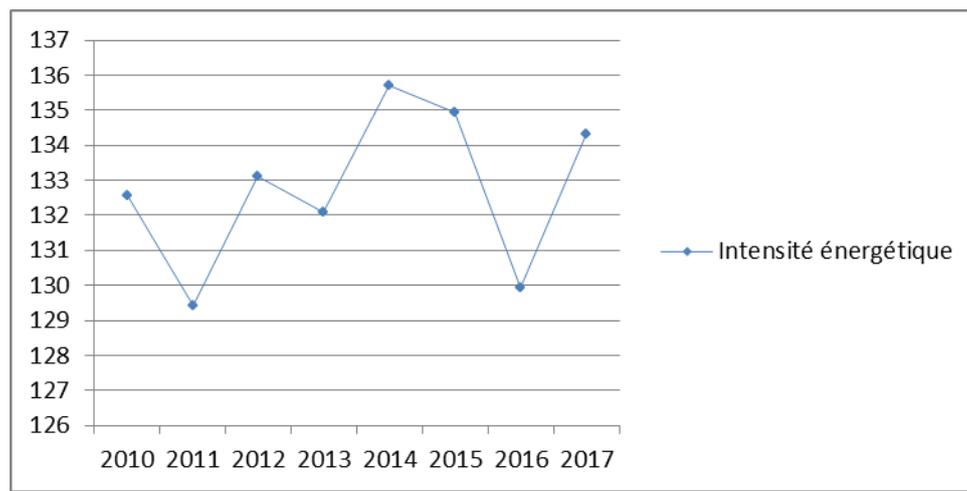
<sup>26</sup> Ambapour, S. and C. Massamba, Croissance économique et consommation d'énergie au Congo: une analyse en termes de causalité, B.d.a.d.m.s.e. informatiques, Editor. 2005.

peu efficaces par exemple), ce qui peut entraîner de fortes pertes dans le rendement de la chaîne énergétique)<sup>27</sup>.

Au-delà de l'élasticité par rapport au PIB et de l'intensité énergétique, le lien entre la consommation d'énergie et la croissance économique a été appréhendé à travers des fonctions de production KLEM<sup>28</sup> considérées comme étant des modèles des méthodes économétriques.

Pour le cas de la Tunisie, l'intensité énergétique au cours de ces dernières années est représentée dans le graphique suivant :

**Graphique 20: Evolution de l'intensité énergétique 2010-2017**



Source : INS, AIE

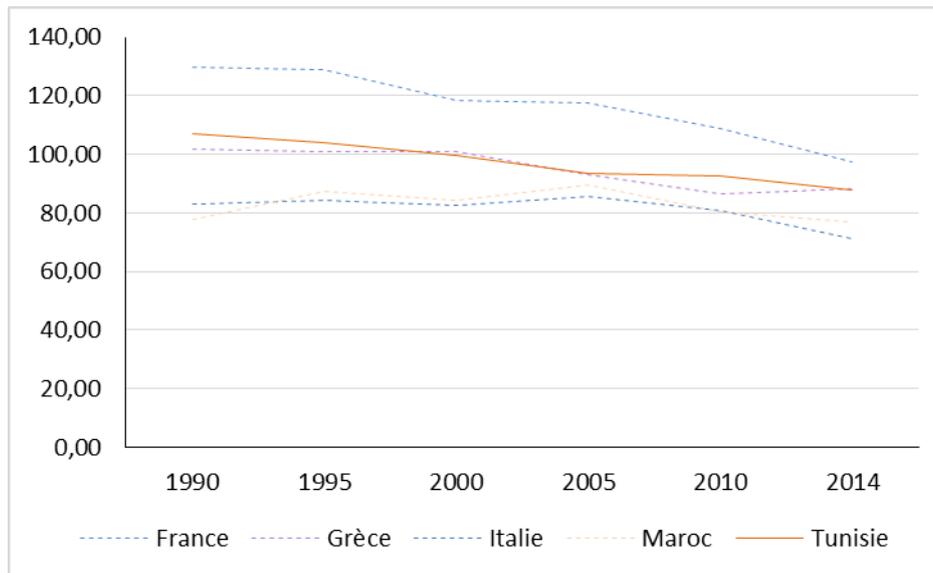
On constate bien que l'évolution de l'intensité énergétique en Tunisie entre 2010 et 2017 affiche une variation de 1,25% ce qui est justifié essentiellement par l'accroissement proportionnel du PIB et de la consommation d'énergie qui sont respectivement de l'ordre de 13% et 14%.

En comparant la Tunisie par d'autres pays importateurs d'énergie, on remarque très bien qu'elle relève des chiffres proches de l'Italie, le Maroc, la Grèce ainsi que la France. Pour l'année 2014, le taux d'accroissement de l'intensité énergétique est presque similaire pour l'ensemble des pays ; une moyenne de 84 Kg d'équivalent de pétrole pour 1000 \$ de PIB.

<sup>27</sup> SACKO, I., Analyse des liens entre croissance économique et consommation d'énergie au Mali, in CERFOD. 2004

<sup>28</sup> K = capital, L = main d'œuvre, E = énergie, M = matière première non énergétique

**Graphique 21: Evolution de l'intensité énergétique de la Tunisie par rapport aux autres pays importateur d'énergie**



Source : AIE

Il est évident que toute économie a besoin l'énergie pour stimuler sa richesse. L'intensité énergétique change souvent d'un pays à l'autre.

Elle dépend entre autres des politiques de maîtrise de la consommation mises en œuvre, de l'efficacité énergétique des transports et des bâtiments et de la structure de l'économie considérée (poids des industries et des services). Elle varie aussi suite aux changements climatiques ou selon le style de vie de la population.

Une économie « gourmande » en énergie montre une intensité énergétique élevée. Néanmoins l'interprétation de la relation entre le PIB et l'énergie ne peut pas faire l'objet d'un simple rapport entre consommation d'énergie et PIB mais plutôt elle nécessite une analyse économétrique poussée et approfondie qui va être présentée dans la partie empirique de cette mémoire.

## 2.5 Conclusion :

Au niveau de ce premier chapitre, on a analysé l'origine du déséquilibre du bilan énergétique. Sa situation déficitaire est justifiée par une demande énergétique tunisienne qui ne cesse pas de croître vis-à-vis des ressources en énergies fossiles très limitées en Tunisie. Ce qui a touché énormément l'équilibre macro de l'économie tunisienne en termes de commerce extérieur, budget et croissance économique.

Toutefois, l'origine de l'accélération de la consommation d'énergie est justifiée notamment au changement social et économique du pays.

De ce fait, plusieurs outils tels que l'élasticité et intensité énergétique, des méthodes économétriques, technico-économiques ainsi que des méthodes de scénarios ont été

utilisés pour examiner le lien des interdépendances entre consommation d'énergie et croissance économique. Il découle de cette représentation la difficulté de ces méthodes qu'on ne peut prétendre à la supériorité des unes par rapport aux autres suites aux différentes imites.

D'une manière générale, on les classe en deux grandes catégories, à savoir les méthodes de court terme et de long terme.

Dans le chapitre suivant, la théorie de cointégration va être adoptée pour prévoir la consommation d'énergie va en combinant à la fois le court et le long terme. Celle-ci permet d'estimer les tendances de long terme accompagnée des ajustements de court terme à travers le modèle à correction d'erreur (ECM).

### **3 Chapitre 3 : Etude empirique de la relation Consommation d'Energie et Croissance économique**

#### **3.1 Introduction :**

L'économie tunisienne se caractérise par une intensité importante en énergie. Cette source doit à la fois satisfaire les besoins croissants de confort de la population tunisienne alimentés par l'amélioration notable de son niveau de vie et s'aligne au rythme imposé par les besoins de croissance économique des principaux facteurs de base.

De ce fait, une accélération de la croissance économique est accompagnée par un adoucissement du secteur du transport et du secteur de l'industrie en Tunisie ce qui stimule la demande d'énergie vu qu'ils sont les deux premiers secteurs consommateurs d'énergie.

On peut dire alors que les croissances de la consommation d'énergie et du PIB sont plus au moins proportionnelles par le fait est que la croissance empirée des besoins d'énergie reflétait le niveau de développement (PIB) atteint.

Les relations économiques sont étudiées à l'aide de plusieurs modèles économétriques. Toutefois, la plus part de ces modèles sont des modèles structurels c'est à dire que la théorie économique est la matière première pour spécifier la relation entre les variables telle que par exemple la relation entre la consommation et le revenu. D'où vient la difficulté de la théorie économique. Elle reste toujours suffisante pour déterminer la spécification correcte entre les variables. Pour résoudre cette question il faut laisser les données, et non pas le théoricien qui déterminent la structure dynamique du modèle.

#### **3.2 Revue de la littérature :**

C'était en 1980 que Sims a proposé les modèles VAR comme alternative aux modèles structurels traditionnels à plusieurs équations. Selon lui il ne devrait y avoir aucune distinction à priori entre variables endogènes et exogènes, les variables devraient toute être traitées sur un pied d'égalité, pour conclure l'existence d'une véritable simultanéité entre une série des variables.

C'est ainsi la logique du modèle VAR qu'elle nous permet d'étudier la causalité et d'analyser l'effet d'un choc de l'une des variables considérées sur les autres à travers les fonctions de réponse impulsionnelles et la décomposition de la variance de l'erreur de prévision.

Un des dix-sept Objectifs de développement durable délivré par l'Assemblée générale des Nations unies, dans le cadre de PNUD en 2015, est l'accès de tous des services énergétiques fiables, durables, modernes et abordables afin de succéder aux Objectifs du Millénaire pour le développement. La finalité de cet objectif est et l'amélioration de la transition énergétique ainsi que la multiplication par deux, d'ici à 2030, le taux d'amélioration de l'efficacité énergétique

La question de la demande d'énergie est un domaine bien documenté tant dans les pays en développement que dans les économies développées. Brown (2011) a prouvé que parmi les facteurs limitatifs de la croissance économique on trouve l'énergie. Plusieurs contraintes fondamentales de la disponibilité de cette source sont imposées sur le développement et sur la croissance de l'économie. Cette affirmation vient à l'encontre de celle approuvée par les économistes de l'école écologiste qui ont cherché à corriger les facteurs de productions classiques pour introduire l'énergie. Ils pensent que la production d'un bien nécessite le travail, le capital mais il faut de l'énergie pour le fonctionner.

Au XXI<sup>e</sup> siècle, les études théoriques sur la relation entre consommation d'énergie et le processus de production ont pris une dimension supérieure sur tout suite aux changements climatiques et à la prise en compte de la finitude des ressources naturelles. Ces études récentes élaborent des théories sur la possibilité de croissance économique avec moins d'énergie ou la recherche de ressources énergétiques alternatives.

Depuis le travail de Kraft et Kraft en 1978, beaucoup d'études, enregistrées dans la littérature en utilisant diverses méthodologies pour différentes périodes du temps, ont traité la relation causale entre la consommation d'énergie et la croissance économique

Personne ne peut ignorer l'importance de l'énergie pour la continuité du processus de production. C'est la raison pour laquelle que l'Agence internationale de l'énergie (AIE) ne cesse d'étudier la relation énergie-croissance. En 2000, l'AIE établit une étude qui incluait l'énergie dans les fonctions de production de certains pays en développement pour la période 1981-2000.

Elle a conclu que cette composante jouit d'un rôle très important dans la croissance économique par rapport aux autres variables de la fonction de production. Une hausse de la consommation d'énergie devrait conduire à une croissance plus élevée et sa carence pourrait entraîner un ralentissement du processus de croissance. De plus la croissance économique affecte également la demande d'énergie de manière significative.

Plusieurs travaux ont traité la relation causale entre la croissance économique et la consommation d'énergie. Un des déterminants de cette relation est la consommation d'électricité. L'intérêt de cette variable n'est pas seulement lié à la richesse économique, mais aussi un indicateur du développement socioéconomique.

A ce titre, Ferguson (Ferguson, R, Wilkinson, W, & Hill, R., 2000) ont constaté qu'il existe une forte corrélation entre l'utilisation de l'électricité et le développement économique dans une étude couvrant plus de 100 pays. Ils ont conclu qu'il existe une forte corrélation entre l'utilisation de l'électricité et la création de richesse.

Dans le même contexte, on trouve d'autres auteurs qui ont mis l'accent sur la relation occasionnelle entre la consommation d'électricité et la croissance économique dans plusieurs pays en développement par exemple Ghosh, S., (2002) (Jumbe, C.B.L, 2004), (Morimoto, R. & Hope, C., 2004), (Wolde-Rafael, Y., 2004), (Shiu,A. & Lam, P., 2004) , (Yoo, S., 2005)

(Narayan, P.K. & Smyth, R., 2005). La compréhension des implications de la politique énergétique est l'intérêt d'une telle étude.

Aqeel, A. & Butt, M.S., 2001 ont étudié cette relation pour le cas du Pakistan. Ils révèlent également que la consommation d'énergie affecte considérablement la croissance économique et qu'il existe une causalité bidirectionnelle entre la croissance économique et la consommation de produits pétroliers et aucune relation causale entre la consommation de gaz naturel et la croissance économique. Cependant, les possibilités de substitution sont limitées entre les intrants énergétiques et non énergétiques et entre l'électricité et le gaz pour la période 1972-1993.

Pour le cas de Malawi, Charles Jumbe (2004) a étudié la causalité et la cointégration entre la consommation d'électricité et respectivement le PIB, le PIB agricole et le PIB non agricole durant la période 1970-1999. Il a abouti qu'il existe une relation d'équilibre de long terme entre la consommation d'électricité avec le PIB et le PIB non agricole mais pas avec le PIB agricole.

Son travail était basé sur le modèle à correction d'erreur et la causalité de Granger afin de justifier la causalité entre ces trois variables. Il affirme ainsi qu'il y a à la fois une causalité unidirectionnelle allant de PIB non agricole vers la consommation d'électricité et une causalité bi-directionnelle entre la consommation d'électricité et le PIB.

Beaucoup d'études ont été enregistré concernant la relation causale entre la consommation d'énergie et la croissance économique. En effet, Soytaş et Sari (2003) ont constaté qu'il y a une causalité unidirectionnelle de la consommation d'énergie au produit intérieur brut (PIB) par habitant en France en utilisant un VECM d'une part et une causalité du PIB à la consommation d'énergie en Italie et Japon d'autre part.

En appliquant les tests de racine unitaire en présence de rupture proposés par Zivot et Andrews (1992) et Perron (1997), Altınay et Karagöl (2004) ont aboutit qu'une fausse causalité existerait entre les séries si les données sont intégrées d'ordre un.

Pour le cas de la Turquie, Soytaş et Sari (2003) ont prouvé que les séries de consommation d'énergie et de PIB pour la période de 1950-2000, sont stationnaires en tendance avec une rupture structurale et ils n'ont trouvé aucune évidence de la causalité entre la consommation d'énergie et le PIB.

Cependant, Lise et Van Montfort (2007) ont abouti qu'en Turquie la consommation d'énergie et le PIB sont cointégrés et le sens de la causalité passant du PIB à la consommation d'énergie en employant des données annuelles durant la période 1970-2003.

Dans le même contexte, Jobert et Karanfil (2007) en utilisant une série chronologique annuelle pour la période 1960-2003, affirme qu'à long terme le revenu et la consommation d'énergie sont neutres par rapport aux niveaux globaux et industriels. Cette étude a également signalé l'existence une forte évidence de la causalité instantanée. En d'autres termes, les valeurs contemporaines de la consommation d'énergie et du revenu sont corrélées.

Encore pour la Turquie, Karanfil (2008), pour la période de 1970 à 2005, a trouvé qu'il y a une relation de cointégration entre la consommation d'énergie et la croissance économique. Mais, lorsqu'il a tenu compte de l'économie non enregistrée il a trouvé qu'elles sont non cointégrées.

La relation entre l'énergie et le revenu montre des résultats contradictoires pour différents pays pour différentes périodes de temps. Si on se projette en Inde, Asafu-Adjaye, 2000; Masih et Masih, 1996 ont trouvé que le sens de la causalité est d'énergie au revenu. Par contre pour ce même pays, Paul et Bhattacharya (2004) ont découvert la causalité bidirectionnelle.

Passant maintenant aux Etats-Unis, Kraft et Kraft (1978) ont approuvé que le sens de la causalité passe du revenu vers la consommation d'énergie pour la période 1947-1974. Toutefois, Stern (2000), a trouvé que le sens de la causalité est de la consommation d'énergie au revenu aux en utilisant un modèle VAR.

Plusieurs facteurs peuvent influencer la consommation d'énergie. C'était ainsi l'objet d'une étude menée par Dergiades et Tsoulfidis (2008) qui ont décomposé les déterminants de la demande résiduelle de l'électricité en tant que estimation de la consommation total d'énergie. Cette demande dépend, en tenant compte de la spécification économétrique, du prix d'électricité, du prix des produits substitués, du revenu par habitant, de la réserve des domiciles et des conditions climatiques.

A l'aide de la technique de cointégration au sein d'un ARDL, ils ont testé la stabilité de la fonction de demande et ils ont conclu l'existence d'une seule relation de long terme entre les variables considérées.

En Angleterre, Panagiotidis et Rutledge (2007) ont examiné le lien entre le prix d'énergie et la théorie de cointégration. Ils ont ainsi arrivé à prouver qu'avec la méthodologie de Johansen et la procédure de Breitung (2002) sur la période 1996-2003, les prix du gaz et les prix de pétrole sont cointégrés en utilisant. De plus, Ils ont modélisé les ajustements de court terme via la spécification VECM.

Ils sont basés sur les fonctions des réponses impulsionnelles pour analyser la réponse du prix du gaz suite à un choc sur le prix de pétrole. Les résultats trouvés montrent une réponse négative et rapide.

Pour le cas de la Chine, Wang Yu, Guo Ju'e, Xi Youmin (2008) ont testé la relation de cointégration entre l'énergie et le PIB à travers la méthodologie d'Engel et Granger sur des données annuelles couvrant la période allant de 1980 jusqu'à 2005. Via les fonctions de réponses impulsionnelles, Ils ont alors étudié l'effet des chocs des variables entre eux. L'attribut de cette étude est le fait d'analyser la relation énergie croissance économique a été étudié dans les deux sens.

C'est-à-dire selon expliquer à la fois la croissance économique en fonction de la consommation d'énergie et en fonction de la production d'énergie.

L'approche dynamique de données de panel a fait l'objet de plusieurs études de la relation entre énergie et croissance économique dans les pays développés et en voie de développement.

A titre d'exemple, Lee et Chang (2007) ont étudié la relation de causalité pour 40 pays (22 pays développés et 18 en voie de développement). Ils ont trouvé une causalité bidirectionnelle dans les pays développés et une causalité unidirectionnelle fonctionnant du PIB à la consommation d'énergie dans les pays en voie de développement.

Selon la même optique, Narayan et Smyth (2007) ont évalué la relation entre la consommation d'énergie, le PIB réel et la formation du capital dans le cadre de cointégration du panel et la causalité de Granger. Ils ont ainsi recouru aux tests de Pedroni (1999) et Westerlund (2006) pour d'examiner la relation d'équilibre de long terme entre les variables. Si on ne tient pas compte des changements, le test de Pedroni (1999) a démontré l'absence de la cointégration.

Ce qui leur permet de conclure qu'à long terme la consommation d'énergie et la formation du capital causent au sens de Granger le PIB réel au niveau avec un effet positif pour les pays G7<sup>29</sup>.

Idrissa M. Ouédraogo a étudié en 2009 la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique pour le cas de Boukina Fasso sur des données mensuelles de 1960 à 2003 en utilisant des méthodes économétriques telles que la cointégration et le test de causalité de Granger.

Pour le cas de Lebanon, Leila Dagher n, TalarYacoubian (2012) ont examiné la relation énergie-croissance pour la période 1980-2009. Ils ont trouvé l'existence d'une relation bidirectionnelle à court et à long terme, indiquant que l'énergie est un facteur limitant de la croissance économique en utilisant une multitude de tests de causalité, à savoir, Hsiao, Toda-Yamamoto, et les tests de causalité de Granger basés sur la correction des erreurs vectorielles. Dans le cadre tunisien, Mounir Balloumi (2009) a adopté la même technique pour enduire que la consommation d'énergie cause la croissance économique.

Parmi les études les plus récentes qui ont traité le sujet énergie-croissance économique on cite le travail de Fidimanantsoa Andriamanga (2017). Ces derniers ont étudié la relation entre la croissance économique et le PIB pour le cas de Madagascar pour la période allant de 1995 à 2015. Ils ont ainsi estimé les liens de cointégration entre ces deux variables en utilisant le modèle ECM. Ils ont arrivé à conclure que sur le court et le long terme l'hydrocarbure, l'électricité et le PIB sont liés par des équations de cointégration. Cependant, ces trois variables tendent à évoluer ensemble sur le court et le long terme s'il y a une variation sur le court terme.

De plus il existe une force de rappel très forte qui ramène l'équation à l'équilibre.

La section précédente a bien souligné l'abondance que jouit la relation énergie-croissance. Néanmoins, on ne peut pas traiter ce lien sans pour autant identifier les déterminants de cette relation.

De ce fait, on se base sur la littérature sur la CKE qui a mis en valeur les facteurs pouvant influencer la relation entre des indicateurs environnementaux et le revenu. Quoique la majorité des travaux existants évaluent d'autres indicateurs tels qu'émissions de SO<sub>2</sub>, déforestation, émissions de CO<sub>2</sub>, et. On croit que les déterminants qui y sont étudiés peuvent jouer un rôle important sur la relation énergie-revenu.

L'intégration au commerce international représente le premier facteur.

Conformément à Eskeland et Harrison(2003), He (2006), Copeland et Taylor (2003), le degré d'ouverture commerciale et le volume des investissements directs étrangers expriment une intégration croissante au marché mondial. C'est vrai qu'ils ont un effet néfaste sur l'environnement d'après l'hypothèse de havre de pollution puisque les normes environnementales sont plus strictes dans les pays développés que dans les pays en développement ce qui pousse les entreprises de délocaliser leur production polluante dans ses pays.

Si on transpose cette logique dans le contexte de consommation d'énergie, on peut dire qu'une intégration croissante au marché mondial permet aux pays riches d'exporter leurs activités gourmandes en énergie vers les pays pauvres. De ce fait, selon Van Alstine et Neumayer (2010), l'efficacité énergétique est faible au niveau des pays pauvres qui relèvent une consommation d'énergie plus importante.

On ne peut pas traiter les déterminants de la relation énergie-revenu sans énumérer l'impact du phénomène d'urbanisation sur la qualité de l'environnement. Certes, une augmentation de la consommation des ressources naturelles est justifiée par une urbanisation rapide et non maîtrisée comme l'indique Martinez-Zarzoso et Maruotti (2011).

---

<sup>29</sup> Allemagne, Canada, États-Unis, France, Italie, Japon et Royaume-Uni.

Par analogie aux travaux de Cole et Neumayer (2004), dans le cas des émissions de CO<sub>2</sub> et de SO<sub>2</sub>, et celui de Nguyen-Van et Azomahou (2007) dans le cas de la déforestation, on peut conclure que l'effet de la pression démographique se répercute sur la consommation d'énergie.

Le dernier facteur est l'impact de la structure de l'économie. En d'autres termes, l'effet de l'industrialisation sur l'environnement. Etant donné que la production industrielle est polluante et très énergivore, elle représente également un facteur important pour ce consensus. Wang et al. (2011) ont prouvé que pour la Chine, l'industrialisation accélère les émissions de CO<sub>2</sub>. Ainsi, la part de l'industrie dans l'économie (en pourcentage du PIB) et la consommation d'énergie sont étroitement liées.

La croissance de l'économie et celle de la population sont des déterminants importants de l'augmentation de la consommation d'énergie. On peut diviser la variation du taux de consommation d'énergie par habitant en deux composantes, à savoir l'énergie consommée par unité de PIB et le PIB par habitant, qui est un indicateur du niveau de vie. D'où vient l'importance de l'évolution de la population active et le taux d'urbanisation comme facteurs clés justifiant l'évolution de la demande énergétique.

Une simple référence aux travaux étudiant la corrélation entre développement économique et émissions de CO<sub>2</sub> tels que Ansuategi et Escapa (2002), Albrecht J. et al (2002) et Luukkanen J, et Kaivo-oja, J. (2002) nous permet de d'identifier que le développement économique n'est qu'un déterminant de la consommation d'énergie. La croissance économique est accompagnée d'une augmentation de la consommation de combustibles fossiles, et des quantités de plus en plus grandes de charbon, de pétrole et de gaz naturel sont ainsi consommées par les usines et les centrales électriques, les véhicules à moteur et les ménages.

Dans un article plus récent, Florian Grosset, Phu Nguyen Van (2016) ont analysé la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique sur un échantillon de données de panel de 29 pays d'Afrique subsaharienne observés sur la période 1980-2011. Ils sont basés sur des études portant sur la théorie la courbe de Kuznets environnementale abordée par Grossman et Krueger (1993, 1995).

En se fondant sur l'hypothèse de CKE, ils ont alors examiné la consommation d'énergie des pays de l'Afrique subsaharienne.

Selon cette théorie, une relation en U inversé est sollicitée entre le revenu par habitant et les indicateurs environnementaux. L'explication de cette forme est due, théoriquement, suit aux trois mécanismes.

Tout d'abord, la structure des économies considérées. En effet, selon Stern (2004) et Panayotou (1993), l'industrie pollue plus que le secteur tertiaire et l'agriculture. A cet égard, la CKE résulte de la transition d'une économie à dominante agricole à une économie basée sur les services, en passant par une économie énergivore essentiellement manufacturière.

On peut parler d'effet environnemental sans faire appel au progrès technique. Aussi selon Stern (2004), ce facteur stimule la transition économique, tout en accélérant la diffusion de techniques de production moins polluantes.

Finalement, le changement des préférences des individus peut justifier l'augmentation du revenu par habitant ainsi que de la réglementation. Cependant, il ne faut pas laisser croire que l'existence d'une CKE permet une évolution mécanique de la croissance économique comme le soulignent Arrow et al. (1995), mais plus tôt la mise en place de politiques publiques appropriées pour sa réalisation.

Florian Grosset, Phu Nguyen Van (2016) ont recouru à la littérature CKE avec la consommation d'énergie primaire comme variable à expliquer. Le résultat de l'estimation donnera des indications quant à l'intensité énergétique (ou l'efficacité énergétique) des pays

considérés. Il y a une amélioration de l'efficacité énergétique (ou une réduction de l'intensité énergétique) lorsque la consommation d'énergie augmente moins vite que le revenu. Ce sera le cas si la relation estimée est décroissante ou de type CKE (en particulier sa partie décroissante).

Ils ont alors travaillé à vérifier la présence, ou l'absence, d'une CKE dans le cas de l'Afrique subsaharienne. Comme ils ont étudié les facteurs pouvant affecter cette relation. En tenant compte de l'hétérogénéité des pays de la zone, leur analyse est basée sur un modèle de données de panel à coefficients hétérogènes.

D'après eux, la relation entre consommation d'énergie et revenu est très hétérogène. En effet, la relation de type CKE n'existe que pour quatre pays, un seul pays a une relation croissante, trois pays ont une relation de forme U. Le reste de l'échantillon (14 pays) n'ayant aucune relation significative.

Afin de justifier cette relation, ils ont expliqué la consommation primaire d'énergie par cinq variables à savoir : la part de l'investissement direct étranger dans le PIB, l'ouverture commerciale, la part de l'industrie dans le PIB, la part de la population urbaine dans la population totale, la tendance temporelle. Les résultats montrent aussi une hétérogénéité.

Pour étudier le rapport énergie-croissance, plusieurs auteurs tels que Kebede et al. (2010), ont décomposé le PIB en ses principales composantes afin d'évaluer le lien entre la consommation d'énergie et la croissance économique. Ils ont trouvé ainsi que la demande d'énergie est tirée par la croissance de la part de l'agriculture dans le PIB alors que la relation est contraire lorsqu'il s'agit de la part de l'industrie dans le PIB. Dans le même cadre, Jebli et al. (2014) ont en utilisant un panel de vingt-quatre pays d'Afrique Sub-saharienne, ont observé un lien de causalité du commerce (exportations ou importations) vers la consommation d'énergies renouvelables.

En se référant à cette revue empirique, on se trouve principalement avec deux méthodologies différentes. le test de causalité de Granger standard et l'autre est la non-causalité de Granger - le test de Dolado-Lutkepohl utilisant le Vecteur Autorégressif Structurel (SVAR).

Tous les deux permettent de tester la relation causale entre la demande d'énergie et la croissance du PIB réel. La finalité de ces études est la recherche des relations de causalités dans le sens de Granger, des relations de corrélation et déterminer l'élasticité prix de l'énergie et PIB.

Il ne faut pas oublier de mentionner que la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique, est sensible à la méthodologie employée, à la période considérée, ainsi qu'au pays. Selon ce contexte, notre travail prétend de contribuer au débat existant sur la relation entre consommation d'énergie et croissance économique à travers la théorie de la cointégration développée par Engle et Newbold en 1974 et en tenant compte des ruptures et les chocs enregistrés.

### **3.3 Méthodologie et stratégie économique :**

La mise en place des méthodes économétriques habituelles nécessite la validation de certaines hypothèses. En autres, la stationnarité des séries macroéconomiques et financières. Or ce n'est pas toujours le cas.

La non stationnarité est le problème majeur pour appliquer des méthodes économétriques. Ainsi, on recourt à la théorie de la cointégration, qui permet d'étudier les séries temporelles sous forme d'une combinaison linéaire stationnaire, afin d'évaluer ces séries à long terme.

La théorie de la cointégration s'intéresse à quantifier des relations stables à long terme tout en analysant conjointement la dynamique de court terme des variables considérées.

Son principal intérêt est d'éviter le dilemme de régressions fallacieuses en analysant des séries temporelles non stationnaires.

Il existe alors une seule équation qui représente par exemple une fonction de consommation globale. Cette dernière n'est qu'un système ou un sous-ensemble d'équations interdépendantes dont chacune donne des interprétations causales.

Les économistes utilisent ce type de système pour réaliser des prévisions simultanées sur un ensemble des variables liées.

Toutefois, la simultanéité des équations dans un tel système rend impossible d'identifier les valeurs numériques de chaque paramètre dans chaque équation. On parle ainsi d'un problème d'identification. C'est-à-dire, il est difficile de prévoir les coefficients de chaque équation sur le plan de l'observation ou bien des coefficients qui se rassemblent trop.

Pour résoudre ce problème, Sims (1980) a présenté les modèles VAR comme remède aux modèles structurels traditionnels à plusieurs équations.

La logique du modèle VAR est la suivante : toutes les variables devraient être traitées sur un même pied d'égalité et ne devrait y avoir aucune distinction a priori entre variables endogènes et exogènes s'il existe une véritable simultanéité entre cette série des variables.

Avec cette spécification, on peut étudier la causalité ainsi analyser l'effet d'un choc de l'une des variables considérées sur les autres à travers les fonctions de réponse impulsionnelles et la décomposition de la variance de l'erreur de prévision.

Pour résumer, la théorie de la cointégration s'intéresse aux relations stables à long terme tout en étudiant parallèlement la dynamique de court terme des variables considérées. Cette technique s'applique avec des modèles particuliers liés directement aux cointégrations telles que les modèles à correction d'erreur.

La validation de la cointégration est basée sur une des principales hypothèses de l'économétrie classique à savoir l'hypothèse de stationnarité. En revanche, le mixte entre la modélisation ECM et la cointégration fournit un nouveau développement de la modélisation dynamique. Il crée ainsi des bases théoriques solides permettant de dégager de façon cohérente les propriétés de long terme des séries temporelles tout en appuyant sur des séries non stationnaires mais par combinaison linéaire vont les devenir.

Ainsi, Il est nécessaire d'étudier la stationnarité pour analyser les interdépendances entre les variables considérées à travers la cointégration et la causalité.

L'étude de la relation de long terme, passe par :

- L'étude de la stationnarité,
- La détermination de nombre de retards optimal pour la représentation VAR des séries afin de l'utiliser dans l'analyse des fonctions de réponse impulsionnelles,
- La détermination du nombre de relation de cointégration ainsi que la causalité selon le cas.

### 3.3.1 Etude de la stationnarité :

#### 3.3.1.1 Définition de la stationnarité :

Une série temporelle est définie comme étant un ensemble des observations ordonnées d'une manière ordonnée dans le temps. En se référant à l'économétrie classique, le caractère principal de cette série est d'une part la non modification de leurs propriétés statistiques au cours du temps et d'autre part la stabilité de son système d'équations qui a atteint un état stationnaire. Cette dernière propriété est la condition pertinente des résultats obtenus.

Néanmoins, la majorité des séries macroéconomiques ne sont pas stationnaires ce qui induit plusieurs problèmes tels que la non validité des propriétés asymptotiques habituelles. On peut

dire alors que l'étude de ces séries chronologiques est basée principalement sur le caractère de la stationnarité.

Selon Box et Jenkins, l'examen de la stationnarité se fait à l'aide d'une représentation graphique de la série et le corrélogramme. Alors que pour Nelson et Plosser (1982) il existe deux sources de non stationnarité. La première est due à une origine stochastique (DS : Difference Stationary) pour laquelle la variable  $x_t$  est stationnaire en différence alors que la deuxième est d'origine déterministe (TS : Trend Stationary) pour laquelle la valeur  $x_t$  est une fonction explicative de la date  $t$ .

L'examen du caractère stationnaire des séries chronologiques est fait via différents tests économétrique. Mais avant de passer à la présentation de ces tests on débute par une définition du concept de la stationnarité.

On dit qu'une série est stationnaire si elle est issue d'un processus stationnaire. En d'autres termes, elle n'a pas ni tendance ni saisonnalité et plus généralement aucun facteur n'évoluant avec le temps. Il existe deux types de stationnarité :

- Stationnarité au sens strict : Le processus  $(X_t, t \in \tau)$ <sup>30</sup> est stationnaire au sens strict si pour tout  $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  la distribution de probabilité de  $\{X_{t_1}, X_{t_2}, \dots, X_{t_n}\}$  est la même que  $\{X_{t_1+K}, X_{t_2+K}, \dots, X_{t_n+K}\}$  avec  $K \geq 0$ .
- Stationnarité au sens large (de second ordre) : Le processus  $(X_t, t \in \tau)$  est stationnaire au sens large si au moins deux de ces premiers moments varie avec le temps. De plus un ensemble de ces conditions doit être validés :
  - $E(X_t^2) < \infty \quad \forall t \in \tau$  : les moments d'ordres 2 sont finis.
  - $E(X_t) = \mu \quad \forall t \in \tau$  : la moyenne du processus est centrale ce qui traduit la stabilité de son comportement dans le temps.
  - $Cov(X_t, X_{t+h}) = \eta \quad \forall t \in \tau, \forall h \in \mathbb{R}$  : la covariance entre deux périodes  $t$  et  $t+h$  est uniquement fonction de la différences des temps  $h$ .

Il faut indiquer que les conditions de stationnarité les plus retenues sont celles de la stationnarité de second ordre (ou stationnarité faible ou au asymptotique ou au sens large ou covariance stationarity).

### 3.3.1.2 Les tests de stationnarité :

L'examen des séries chronologiques commence toujours par l'étude de leur caractère stationnaire. Cette étape est faite avec différents tests qui permettent de vérifier la présence de racine unitaire pour mettre en évidence le caractère stationnaire ou non d'une série temporelle ainsi que de déterminer la bonne manière de stationnarisation.

Les tests utilisés dans ce cadre sont multiples. Ceux qui détectent la présence de racine unitaire dans une série sont principalement :

- les tests de Dickey et Fuller (DF et ADF) : ils sont les plus utilisés grâce à leur grande simplicité mais ils souffrent également d'un certain nombre des critiques.
- Les tests de Phillips et Perron (PP) (1988), Kwiatkowski, Phillips, Schmidt et Shin (KPSS) (1988).

### Test ADF (Augmented Dickey-Fuller)

Selon le type de processus on distingue deux types de test DF :

<sup>30</sup> On note  $(X_t, t \in \tau) = SSS$  ou  $\tau$  est l'ensemble des indices.

- Le test DF simple qui suppose dès le début que le processus est Auto-regressif d'ordre 1 (AR (1)). De ce fait, le problème d'auto-corrélation des erreurs ne se pose pas.
- Le test ADF : Il est valable pour les processus AR (p). Le recours à ce type de test est basé sur l'estimation par les MCO des trois modèles différents.

Les trois modèles du test ADF sont les suivants :

Modèle sans constante ni tendance déterministe<sup>31</sup> :

$$\Delta X_t = \Phi X_{t-1} + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta X_{t-j} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Modèle avec constante sans tendance déterministe :

$$\Delta X_t = \Phi X_{t-1} + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta X_{t-j} + \varepsilon_t + \mu \quad (2)$$

Modèle avec constante et tendance déterministe :

$$\Delta X_t = \Phi X_{t-1} + \delta t + \lambda + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta X_{t-j} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Le test d'hypothèse est :  $H_0 : \Phi=0$  contre  $H_1 : \Phi<1$ .

Une démarche descendante du test DF partant de l'estimation du modèle (3) est faite pour ce test. Seules les tables statistiques qui se différencient.

La mise en place du test ADF nécessite le choix au préalable du nombre de retards (p) à introduire. La détermination de ce nombre (p) peut être réalisée en utilisant les autocorrélations partielles de la série  $\Delta X_t$  ; on retient le retard correspondant à la dernière auto-corrélation partielle significativement différente de zéro.

En pratique, le choix de p est souvent fait à travers les critères d'information. En d'autres termes, on choisit le nombre de retards qui minimise les critères SC (Schwartz) et AIC (Akaike).

### 3.3.2 La cointégration :

#### 3.3.2.1 Définition de la causalité

C'est la deuxième étape de notre méthodologie économétrique qui suit celle de la stationnarité.

C'était au milieu des années 1980 que la théorie de cointégration s'est débuté. Engle et Newbold ont lancé cette théorie en 1974 et Engle et Granger l'ont développé en 1987. La finalité de cette théorie est le traitement du lien entre les variables non stationnaires de plusieurs séries temporelles.

La logique de cette conception est la suivante : il existe une ou plusieurs combinaisons linéaires des séries temporelles qui neutralisent la non stationnarité des variables en question. En d'autres termes, si  $X_t$  et  $Y_t$  sont deux séries I(d) alors en générale la combinaison linéaire  $Z_t = X_t - a Y_t$  qui est aussi I(d). Toutefois, on peut trouver une combinaison  $Z_t$  qui n'est pas I(d) mais I(d-b) avec  $b>0$ . Dans cette situation on dit que  $X_t$  et  $Y_t$  sont cointégrées et le vecteur  $(1, -a)$  est le vecteur de cointégration.

La représentation graphique de  $X_t$  et  $Y_t$  peut être divergente (elles sont non stationnaires) à court terme mais elles se convergent sur le long terme. On dit alors qu'il existe une relation stable de long terme entre  $X_t$  et  $Y_t$  qui s'appelle aussi la relation de cointégration.

L'équation de relation de long terme est donnée par  $X_t = a Y_t$  ( $Z_t = 0$ ). En effet, les deux variables  $X_t$  et  $Y_t$  possèdent sur le long terme des mouvements tenancières approximatives. Il existe ainsi une combinaison linéaire qui va compenser ses décalages et rend ces deux séries stationnaires.

<sup>31</sup>  $\varepsilon_t \sim BB(0, \sigma_\varepsilon^2)$  et  $\Phi = \rho - 1$

Dans le cas où les séries sont cointégrées, la tendance de  $Z_t$  restera au voisinage de sa moyenne qui est finie. Donc  $Z_t$  mesure selon Granger (1986) « d'erreur d'équilibre » qui n'est autre que l'ampleur du déséquilibre dans la relation entre  $X_t$  et  $Y_t$ .

Dans le cas contraire, les séries ne sont pas cointégrées, il existe une probabilité unitaire qui trace la trajectoire de divergence des séries dont leur différence étant non stationnaire.

Le cas le plus fréquent est  $d=b=1$  qui a été abordé par Engle et Granger (1987).

Conformément à ce cas, si les deux séries  $X_t$  et  $Y_t$  sont respectivement non stationnaires c'est-à-dire qu'elles sont cointégrées :  $X \sim I(1)$  et  $Y \sim I(1)$  alors il existe une combinaison stationnaire  $Z_t$ .

On a :  $Z_t = X_t - aY_t$  et  $Y_t$  suit une trajectoire proche de  $X_t$  si  $a=1$  alors  $Z \sim I(0)$

L'analyse de la cointégration est établie principalement selon deux méthodes : la méthode du maximum de vraisemblance (Johansen (1988,1991)) et la méthode en deux étapes (Engle et Granger (1987)). Seule la méthode de maximum de vraisemblance (Johansen (1988,1991)) qui va être développée.

### 3.3.2.2 Test de cointégration de Johansen (1988) :

Il suffit que les variables soient intégrées de même ordre, ce test permet d'énumérer le nombre de relation d'équilibre à long terme entre les variables quel que soit la normalisation utilisée. Johansen a représenté un vecteur  $X_t$  contenant  $N$  variables toutes  $I(1)$  sous la forme d'un modèle VAR(p) :

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \dots + \phi_p X_{t-p} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Avec :  $\varepsilon_t \sim BB(0, \Omega)$  et  $\phi_p (= 1 \dots \dots p)$  qui sont les matrices de paramètres de taille  $(N, N)$

La première étape consiste à estimer les paramètres contraints par l'hypothèse de cointégration. On commence ainsi par la reproduction de l'équation (4) sous forme d'un modèle à correction d'erreur :

$$\Delta X_t = \pi_1 \Delta X_{t-1} + \dots + \pi_{p-1} \Delta X_{t-p+1} + \pi_p \Delta X_{t-p} + \varepsilon_t \quad (5)$$

Avec :  $\pi_i = -I + \phi_1 + \dots + \phi_i$  pour  $i = 1 \dots p$

Les matrices  $\pi_i (i = 1 \dots P)$  sont de taille  $(N, N)$ . Tous les termes de l'équation (5) sont des  $I(0)$  sauf  $X_{t-p}$  qui est un  $I(1)$ . On remarque alors qu'il y a un déséquilibre d'intégration ; l'ordre d'intégration du membre de gauche est différent de celui des termes du membre de droite.

De ce fait, il faut que  $\pi_p X_{t-p}$  soit  $I(0)$  pour y avoir un équilibre d'ordre d'intégration.

On pose ainsi,  $\pi_p = -\beta \alpha'$  avec  $\alpha'$  est une matrice  $(r, N)$  qui contient les  $r$  vecteurs cointégrants et  $\beta$  une matrice  $(N, r)$  qui contient les poids associées à chaque vecteur de cointégration.

D'où l'équation (5) devient :

$$\Delta X_t = \pi_1 \Delta X_{t-1} + \dots + \pi_{p-1} \Delta X_{t-p+1} + -\beta \alpha' \Delta X_{t-p} + \varepsilon_t \quad (6)$$

L'estimation des différentes matrices est faite selon la méthode proposée par Johansen (1988,1989) qui est celle de maximum de vraisemblance.

L'hypothèse de base de cette méthode est la normalité de  $\varepsilon_t$ . La log-vraisemblance s'écrit ainsi :

$$\text{Log}L(\beta, \alpha, \pi_1, \dots, \pi_{p-1}, \Omega) = -\frac{NT}{2} \text{Log}2\pi - \frac{T}{2} \text{Log}(\det\Omega) - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \varepsilon_t' \Omega^{-1} \varepsilon_t \quad (7)$$

Avec :

T : le nombre d'observations,

N : le nombre de variables continues dans X

$\det(\Omega)$  : le déterminant de la matrice variance-covariance de  $\varepsilon_t$ .

L'application de la log-vraisemblance aux paramètres  $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{p-1}$  revient à effectuer la régression de  $e_{0t}$  sur  $e_{pt}$ . En d'autres termes, on effectue la MCO des résidus et on obtient le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} \Delta X_t = \theta_{01} \Delta X_{t-1} + \dots + \theta_{0p-1} \Delta X_{t-p+1} + e_{0t} \\ X_{t-p} = \theta_{11} \Delta X_{t-1} + \dots + \theta_{1p-1} \Delta X_{t-p+1} + e_{pt} \end{cases} \quad \forall i = 1, \dots, p-1 \quad (8)$$

Avec :  $\theta_{0i} = \pi_i - \beta \alpha' \pi_i$  et  $\theta_{1i} = \pi_i$

Ceci rend l'équation (6) comme suivant :

$$\Delta X_t + \beta \alpha' X_{t-p} = \pi_1 \Delta X_1 + \dots + \pi_{p-1} \Delta X_{t-p+1} + \varepsilon_t \quad (9)$$

D'où :

$$\Delta X_t + \beta \alpha' X_{t-p} = \pi_1 \Delta X_1 + \dots + \pi_{p-1} \Delta X_{t-p+1} + \beta \alpha' [\pi_1 \Delta X_1 + \dots + \pi_{p-1} \Delta X_{t-p+1}] - \beta \alpha' [\pi_1 \Delta X_1 + \dots + \pi_{p-1} \Delta X_{t-p+1}] + \varepsilon_t \quad (10)$$

En peut déduire après factorisation et simplification que :

$$\varepsilon_t = e_{0t} + \beta \alpha' e_{pt} \quad (11)$$

Ce qui rend l'équation de la Log-vraisemblance comme suivant :

$$\text{Log}L(\beta, \alpha, \Omega) = -\frac{NT}{2} \text{Log}2\pi - \frac{T}{2} \text{Log}(\det\Omega) - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T (e_{0t} + \beta \alpha' e_{pt})' \Omega^{-1} (e_{0t} + \beta \alpha' e_{pt}) \quad (12)$$

Le test de Johansen (1988, 1989) consiste ainsi à maximiser l'équation (12) par rapport à  $\Omega$  et  $\beta$  tout en fixant  $\alpha$ . L'estimation de  $\Omega$  et  $\beta$  donne les résultats suivants :

$$\begin{cases} \hat{\beta}(\alpha) = S_{0p} \alpha (\alpha' S_{pp} \alpha)^{-1} \\ \hat{\Omega}(\alpha) = S_{00} - S_{0p} \alpha (\alpha' S_{pp} \alpha)^{-1} \alpha' S_{p0} \end{cases} \quad (13)$$

Avec :  $S_{ij} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T e_{it} e_{jt}$  pour  $i, j=0, \dots, p$  ( $S_{ij}$  représentent les matrices de variance-covariance de  $e_{0t}$  et  $e_{pt}$ ).

Revenons à l'équation (12), on remarque bien que  $\frac{1}{2} \sum_{t=1}^T (e_{0t} + \beta \alpha' e_{pt})' \Omega^{-1} (e_{0t} + \beta \alpha' e_{pt})$  est un nombre réel que l'on note par A. Cette constatation va permettre de simplifier l'équation de  $\hat{\Omega}$ .

$$\text{On a: } A = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T (e_{0t} + \beta \alpha' e_{pt})' \Omega^{-1} (e_{0t} + \beta \alpha' e_{pt}) = \frac{1}{2} \text{tr} \Omega^{-1} \sum_{t=1}^T (e_{0t} + \beta \alpha' e_{pt})' (e_{0t} + \beta \alpha' e_{pt}) \quad (14)$$

Selon Dhyes (1970) :

$$\hat{\Omega} = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T (e_{0t} + \beta \alpha' e_{pt})' (e_{0t} + \beta \alpha' e_{pt}) \quad (15)$$

D'où :

$$A = \frac{T}{2} \text{tr} I_N = N \frac{T}{2} \quad (16)$$

Donc La Log-vraisemblance concentrée devient :

$$\text{LogL}(\alpha) = -\frac{NT}{2} \text{Log} 2\pi - \frac{T}{2} \text{Log}(\det \hat{\Omega}(\alpha)) - N \frac{T}{2} \quad (16)$$

On constate ainsi que la Log-vraisemblance ne dépend pas de  $\det \hat{\Omega}(\alpha)$ .

La méthode de Johansen (1988) consiste ainsi à estimer un ensemble de vecteurs de cointégration . Cette approche s'initie avec la maximisation de la log-vraisemblance par rapport à  $\hat{\Omega}(\alpha)$ . Ce qui revient de résoudre le programme de minimisation suivant :

$$\text{Min}_{\alpha} (\det \hat{\Omega}(\alpha)) = \text{Min}_{\alpha} (\det(S_{00} - S_{0p} \alpha (\alpha' S_{pp} \alpha)^{-1} \alpha' S_{p0})) \quad (17)$$

Or d'après la formule de de calcul du déterminant par blocs on a :

$$\begin{vmatrix} S_{00} & S_{0p} \alpha \\ \alpha' S_{p0} & \alpha' S_{pp} \alpha \end{vmatrix} = |\alpha' S_{pp} \alpha| - |S_{00} - S_{0p} \alpha (\alpha' S_{pp} \alpha)^{-1} \alpha' S_{p0}| \quad (18)$$

Avec regroupement et simplification le problème consiste à minimiser l'équation suivante :

$$\text{Min}_{\alpha} \left( \frac{|\alpha' S_{pp} \alpha - \alpha' S_{p0} S_{pp}^{-1} S_{0p} \alpha|}{|\alpha' S_{pp} \alpha|} \right) \quad (19)$$

La solution de l'équation (19) est donnée par Anderson (1984).

Les vecteurs de cointégration sont issus des N vecteurs propres de l'équilibre

$|\lambda - S_{pp} - S_{p0} S_{00}^{-1} S_{0p}| = 0$  . La résolution de cette équation nous permet de trouver les N vecteurs propres estimés  $(\hat{\lambda}_1, \dots, \hat{\lambda}_N)$  et les N vecteurs propres estimés  $(\hat{v}_1, \dots, \hat{v}_N)$ , tout en gardant l'hypothèse de normalisation  $\hat{V}' S_{pp} \hat{V} = I$  avec  $\hat{V}$  est la matrice des vecteurs propres estimés.

Pour les estimateurs du maximum de vraisemblance des paramètres  $(\pi_1, \dots, \pi_{p-1})$  et  $\beta$ , on les déduit à partir du MCO appliqué à l'équation (5) en remplaçant  $\alpha$  par son estimateur  $\hat{\alpha}$ .

Les expressions des estimateurs  $\hat{\Omega}$  et  $\hat{\beta}$  sont les suivants :

$$\begin{cases} \hat{\beta} = S_{0p} \hat{\alpha} (\hat{\alpha}' S_{pp} \hat{\alpha})^{-1} = -S_{0p} \hat{\alpha} \\ \hat{\Omega} = S_{00} - S_{0p} \hat{\alpha} \hat{\alpha}' S_{p0} = S_{00} - \hat{\beta} \hat{\beta}' \end{cases} \quad (20)$$

Les  $r$  vecteurs cointégrants sont issus par les  $r$  vecteurs propres les plus significatifs. A savoir, les  $r$  vecteurs propres qui correspondent aux  $r$  plus grandes valeurs propres

solutions de l'équation :  $|\lambda S_{pp} - S_{p0}S_{00}^{-1}S_{0p}| = 0$

Johansen a énoncé l'emploi de deux statistiques pour trouver le nombre de vecteurs de cointégration c'est-à-dire le réel  $r$ .

$$\begin{cases} \lambda_{trace} = TR = -T \sum_{i=q+1}^N \log(1 - \hat{\lambda}_i) \\ VP_{max} = -T \log(1 - \widehat{\lambda}_{q+1}) \end{cases} \quad (21)$$

Avec :  $\lambda_{trace}$  teste l'hypothèse nulle  $r \leq q$  c'est-à-dire qu'il existe au plus  $r$  vecteurs de cointégration. On peut dire aussi que ce test vient d'évaluer le rang de la matrice  $\pi_p$  c'est à dire tester l'hypothèse :  $H_0: Rg(\pi_p) = r$ .

Selon Johansen (1988), la statistique  $\lambda_{trace}$  sous  $H_0$  suit la loi asymptotique qui est donnée par la formule suivante :

$$\left[ \int_0^1 W(r) dW'(r) \left( \int_0^1 W(r) W'(r) dr \right)^{-1} \int_0^1 dW(r) W'(r) \right]$$

Où  $W$  n'est qu'un mouvement brownien de matrice variance-covariance la matrice identité.

Il faut noter que les valeurs critiques de la statistique  $\lambda_{trace}$  ont été élaborées par Johansen et Juselius en 1990 puis par améliorées par Osterwald-Lenum en 1992.

Selon les valeurs critiques d'Osterwald-Lenum, quatre cas de figure peuvent avoir lieu :

- Cas 1 : constante dans le modèle à correction d'erreur (les séries sont caractérisées par des trends linéaires) et dans les relations de cointégration
- Cas 2 : constante dans les relations de cointégration mais pas dans le modèle à correction d'erreur (les séries n'ont pas le trend linéaire).
- Cas 4 : constante dans le modèle à correction d'erreur (les séries sont caractérisées par un trend linéaire) et constante et tendance dans les relations de cointégration
- Cas 3 : absence de constante dans le modèle à correction d'erreur (les séries n'ont pas de trend linéaire) et dans les relations de cointégration.

### La règle de décision est la suivante :

Si la statistique  $\lambda_{trace}$  est supérieure à sa valeur critique, on rejette l'hypothèse nulle de  $r$  relations de cointégration. On distingue alors avec trois cas:

- Cas 1 : Si  $Rg(\pi_p) = 0$  alors  $r=0$ . Donc il n'existe pas de relation de cointégration. Dans ce cas  $X_t$  est intégré d'ordre 1 mais non cointégré. Il est alors possible d'estimer un modèle VAR sur  $\Delta X_t$ .
- Cas 2 : Si  $Rg(\pi_p) = r$  avec  $0 < r < N$ . On dit alors que  $X_t$  est cointégré de rang  $r$  et qu'il existe  $r$  relations de cointégration. Un modèle à correction d'erreur peut alors être estimé.
- Cas 3 : Si  $Rg(\pi_p) = N$  c'est-à-dire  $r=N$  (on se trouve avec le plein rang). Dans ce cas,  $X_t$  est stationnaire et il n'existe pas de relation de cointégration. Un modèle VAR peut être estimé directement sur  $X_t$ .

Il faut indiquer que le test de la trace permet d'identifier le nombre de relations de cointégration mais il n'indique pas les variables qui sont cointégrées.

Concernant la statistique  $VP_{max}$ , elle permet de tester l'hypothèse nulle  $H_0: r = q$  contre l'hypothèse  $r = q + 1$ .

Il existe d'autres tests de cointégration tels que proposés par Engle Granger à savoir le test RVAR (Restricted VAR), le test ARVAR (Augmented RVAR) et le test UVAR (Unrestricted VAR). Toutefois, ces tests ne tiennent pas compte du changement des paramètres au cours du temps. Ce qui donne naissance aux autres tests dites tests d'instabilité de la cointégration. En autres, le test de stabilité de la relation cointégrante de Hansen (1992) et celui de Gregory et Hansen (1996), de Quintos (1995) et de Inoue (1999).

### 3.3.3 Modèle à correction d'erreur (ECM) et causalité:

#### 3.3.3.1 Modèle à correction d'erreur (ECM)

C'était Hendry qui a développé cette méthodologie. En effet, l'existence d'une relation de d'état stationnaire entre des séries de variables est justifiée principalement par la présence d'une cointégration. Ce qui signifie que ces séries vont évoluer d'une manière commune et avec une tendance similaire.

Pour Granger, tout processus cointégré inclut la mise en place d'un mécanisme à correction d'erreur qui détourne les variables de trop se retirer de leur équilibre de long terme.

Il existe plusieurs motivations pour utiliser les modèles à correction d'erreur. Parmi celles les insuffisances de la modélisation ARMA. En effet, cette dernière n'est pas valable que pour les séries stationnaires.

L'opération de la différentiation est une solution pour rendre une série stationnaire. Or cette technique dévoile un certain nombre d'insuffisances :

- La théorie économique n'indique pas explicitement comment les ajustements permettant d'arriver à une situation d'équilibre de long terme ou à un objectif prédéterminé.
- Elle ne tient pas compte des changements intervenus d'une période à une autre. Comme elle n'évalue pas les relations entre les niveaux des variables. De plus, les propriétés de long terme des séries temporelles sont masquées par l'usage des méthodes de filtrage pour rendre les variables stationnaires.
- La modélisation classique tel que les processus ARMA est bornée d'identifier la relation de cointégration dans le cas où il existe des relations stables à long terme entre es variables.

La question qui se pose ainsi est la suivante : Comment harmoniser les horizons temporels (de court terme et de long terme) pour posséder d'une information suffisante et complète sur la nature et la modification des relations dans le temps ?

Pour répondre à cette on recourt à la modélisation ECM (Error Correction Models).

Certes, la contribution de cette modélisation est sa possibilité de distinguer les mouvements de court terme. Mais aussi, elle montre une particularité d'estimer des liens économétriques basés sur une cible de long terme déterminée par la théorie économique.

On conclut alors que les ECM intègrent à la fois les évolutions de court terme et de long terme des variables ce que les rendent des modélisations dynamiques. Ils permettent ainsi de corriger les biais d'estimation induit par la cointégration.

Soient  $X_t$  et  $Y_t$  deux variables  $CI(1,1)$ .

La présentation de ces modèles est donnée par l'équation suivante :

$$\begin{cases} \Delta X_t = \gamma_1 Z_{t-1} + \sum_{i=1}^2 \Delta X_{t-i} + \sum_{j=1}^2 \Delta Y_{t-j} + d_1(L)\varepsilon_{X_t} \\ \Delta Y_t = \gamma_2 Z_{t-1} + \sum_{i=1}^2 \beta'_i \Delta X_{t-i} + \sum_{j=1}^2 \delta'_j \Delta Y_{t-j} + d_2(L)\varepsilon_{Y_t} \end{cases} \quad (22)$$

Avec :

- $\varepsilon_{X_t}$  et  $\varepsilon_{Y_t}$  : les bruits blancs.
- $Z_t = X_t - aY_t$  : C'est le résidu de la relation de cointégration entre  $X_t$  et  $Y_t$ .
- $d_1$  et  $d_2$  : Les polynômes finis en L.
- $\gamma_i$  ( $i=1,2$ ) : la force de rappel vers la cible de long terme donnée par la relation de cointégration. Ce coefficient doit être négatif et  $|\gamma_1| + |\gamma_2| < 0$  sinon il n'existe pas du phénomène de retour à l'équilibre.

On dit que le vecteur  $X_t$  a une représentation à correction d'erreur s'il peut être écrit sous la forme :

$$A(L)\Delta X_t = -\gamma Z_{t-1} + d(L)\varepsilon_t \quad (23)$$

Avec :

- $\varepsilon_t$  : Un bruit blanc.
- $A(0) = I$
- $A(1)$  ne contient que des termes finis.
- $\gamma \neq 0$
- $Z_t = \alpha' X_t$  dont  $\alpha'$  est le vecteur de cointégration.

La relation ci-dessus représente une modélisation VAR dans lequel des variables retardées d'une période sont en niveau vu qu'il s'agit d'une forme réduite.

On peut le trouver aussi sous le nom de CVAR (VAR avec cointégration) voir même un modèle VAR à correction d'erreur (VAR-ECM).

Une fois la théorie de cointégration et les modèles à correction d'erreur sont présentés et définis. On passe à l'étude du sens de causalité entre les variables.

### 3.3.3.2 La causalité :

La mise en évidence d'un lien entre les variables est très importante pour une étude économétrique mais Il est important aussi de déterminer le sens de causalité entre eux.

Il existe différentes définitions de la causalité, mais on se limite à celle présentée par Granger : la causalité au sens de Granger (1969).

Déterminer la causalité au sens de Granger c'est répondre à la question : est-ce que variable  $X$  cause ou non la variable  $Y$ . Ce sens de liaison existe si et seulement si la connaissance du passé de  $Y$  améliore la prévision de  $X$  à tout horizon. Deux cas se figurent :

- $Y$  cause  $X$  à la date  $t$  si et seulement si :

$$E((X_t|X_{t-1}, Y_{t-1})) \neq E((X_t|X_{t-1})) \quad (24)$$

Avec :

$$\begin{aligned} X_{t-1} &= \{X_{t-1}, X_{t-2}\} = \{X_{t-i}, i \geq 1\} \\ Y_{t-1} &= \{Y_{t-1}, Y_{t-2}\} = \{Y_{t-i}, i \geq 1\} \end{aligned}$$

- Y cause X instantanément à la date t si et seulement si :

$$E((X_t|X_{t-1}, Y_t) \neq E((X_t|X_{t-1}, Y_{t-1})) \quad (25)$$

Avec :

$$Y_t = \{Y_t, Y_{t-1}\} = \{Y_{t-i}, i \geq 0\}$$

Suite aux propriétés issues de la régression linéaire théorique, l'estimation d'une variable selon plusieurs informations est nécessairement meilleure.

D'où on a toujours :

$$V_\varepsilon(X_t|X_{t-1}, Y_{t-1}) \leq V_\varepsilon(X_t|X_{t-1}) \quad (26)$$

Avec :  $V_\varepsilon$  représente la matrice de variance covariance de l'erreur de prévision.

On peut ainsi représenter la condition de la non causalité c'est-à-dire Y ne cause pas X à la date t si et seulement si :

$$V_\varepsilon(X_t|X_{t-1}, Y_{t-1}) = V_\varepsilon(X_t|X_{t-1}) \quad (27)$$

Pour mesurer la causalité, Granger a présenté deux formules selon le sens de la liaison :

- Mesure de causalité de Y vers X :

$$C_{Y \rightarrow X} = \log\left(\frac{\det V_\varepsilon(X_t|X_{t-1})}{\det V_\varepsilon(X_t|X_{t-1}, Y_{t-1})}\right) \quad (28)$$

Si Y ne cause pas X alors :  $C_{Y \rightarrow X} = 0$  sinon  $C_{Y \rightarrow X} > 0$

- Mesure de causalité instantanée de Y vers X :

$$C_{Y \rightarrow X} = \log\left(\frac{\det V_\varepsilon(X_t|X_{t-1}, Y_{t-1})}{\det V_\varepsilon(X_t|X_{t-1}, Y_t)}\right) \quad (29)$$

Pour tester la non causalité, Granger a procédé par le test d'hypothèse nulle de non causalité à travers la statistique du ratio du maximum de vraisemblance :

$H_0$ :  $X_t$  ne cause pas  $Y_t$

$$L^* = (N - C) C_{Y \rightarrow X} = (N - C) \log\left(\frac{\det V_\varepsilon(X_t|X_{t-1}, Y_{t-1})}{\det V_\varepsilon(X_t|X_{t-1}, Y_t)}\right) \quad (30)$$

$$= (N - C) \left[ \log \det \sum RVAR - \log \det \sum UVAR \right]$$

Avec :

- $L^* \sim \chi^2(2p)$
- N : le nombre d'observations.
- C : le nombre des paramètres dans chaque équation du modèle
- $\sum RVAR$  : la matrice variance-covariance des résidus du modèle contraint
- $\sum UVAR$  : la matrice de variance-covariance des résidus du modèle non contraint

La règle de décision est la suivante :

- Si  $L^* > \chi^2$  lu dans la table, on rejette l'hypothèse nulle d'absence de causalité.
- $L^* \leq \chi^2$ , on accepte l'hypothèse nulle en faveur de l'hypothèse alternative de présence de causalité

Pour le cas d'une modélisation VAR(p) à deux variables  $X_t$  et  $Y_t$ , tel que présenté comme suit :

$$\begin{pmatrix} X_t \\ Y_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 \\ b_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_1^1 & b_1^1 \\ a_1^2 & b_1^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{t-1} \\ Y_{t-1} \end{pmatrix} + \dots + \begin{pmatrix} a_p^1 & b_p^1 \\ a_p^2 & b_p^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{t-p} \\ Y_{t-p} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \end{pmatrix} \quad (31)$$

Pour tester l'absence de causalité entre les deux variables, on applique un test de restriction sur les coefficients des variables  $X_t$  de la représentation VAR :

- $X_t$  ne cause pas  $Y_t$  si on accepte l'hypothèse nulle :  $H_0: b_1^1 = b_2^1 = \dots = b_p^1 = 0$
- $Y_t$  ne cause pas  $X_t$  si on accepte l'hypothèse nulle :  $H_0: a_1^1 = a_2^1 = \dots = a_p^1 = 0$

On peut effectuer ces tests à l'aide d'un test de Fisher classique de nullité des coefficients soit équation par équation ou directement avec le ratio de vraisemblance défini précédemment.

L'analyse des séries temporelles non stationnaires avec la théorie de cointégration permet d'éviter le problème de régressions fallacieuses. Elle fournit ainsi avec la modélisation ECM une nouvelle dimension à la modélisation dynamique tout en se basent sur des théories solides. Leurs apports résident à dégager de façon cohérente les propriétés de long terme des séries temporelles.

La section suivante va présenter une application de cette méthodologie pour le cas de la Tunisie tout en analysent la relation de cointégration entre la demande de l'énergie en Tunisie et les différents facteurs qui l'influencent.

### 3.3.4 Estimation et analyse des résultats empiriques

Au cours de la dernière décennie on remarque bien que la consommation d'énergie en Tunisie a graduellement arrivé à une étape de découplage par rapport à la croissance économique.

Principalement le lien entre l'énergie et la croissance économique est dressé à partir de l'intensité énergétique qui met en évidence la relation le PIB et la consommation d'énergie. Néanmoins, cette liaison reste insuffisante pour traiter une telle causalité pour cela on va utiliser la théorie de la cointégration pour dégager cette relation.

Comme on l'a présentée auparavant, la cointégration consiste à mettre en évidence l'éventualité d'une relation de long terme entre des séries qui sont non stationnaires et intégrées de même ordre. La présence d'une telle liaison évoque d'une part le comportement semblable des séries cointégrées dans le temps et d'autre part l'incapacité de diverger. On peut dire ainsi qu'il existe une dynamique par à rapport à l'équilibre de long terme justifié aussi par la modélisation ECM et la théorie de Granger (1983).

Au niveau de cette section, on s'intéresse à étudier l'existence de relations de cointégration ainsi que leur sens entre la consommation de l'énergie, le produit intérieur brut réel, la structure du produit intérieur brut (transport, industrie, agriculture) et le prix de l'énergie durant la période 2000 jusqu'à 2018 sur des données tunisiennes.

Les observations des variables sont disponibles sur toute la période allant de 2000 jusqu'à 2018 pour les variables considérées qui sont des observations trimestrielles issues principalement de l'observatoire de la banque centrale de Tunisie.

La première étape consiste à examiner les séries chronologiques afin de déterminer si celles-ci présentent des racines unitaires pour chercher l'ordre d'intégration des variables. Pour éviter les difficultés de régression fallacieuse, il est recommandé d'avoir le même ordre d'intégration pour toutes les variables lors d'une régression avec cointégration.

L'étude de la stationnarité des séries précitées est faite à travers un des tests de racines unitaires tels que les tests de Dikey-Fuller (1979-1981) pour lequel l'hypothèse nulle est la non stationnarité.

Après avoir effectué l'étude la stationnarité, on teste la cointégration entre les séries temporelles. Une fois ce test est validé, on passe à la modélisation ECM et le test de causalité.

Il ne faut pas oublier de signaler que les graphiques et les résultats de cette étude ont été élaboré avec le logiciel Excell et Eviews 10.

### 3.3.4.1 Données

Avant d'entamer l'analyse économétrique, on commence par une présentation des différentes variables à utiliser. Notre étude se décompose en cinq variables économiques à savoir : la consommation d'énergie, PIB réel et le prix de l'énergie.

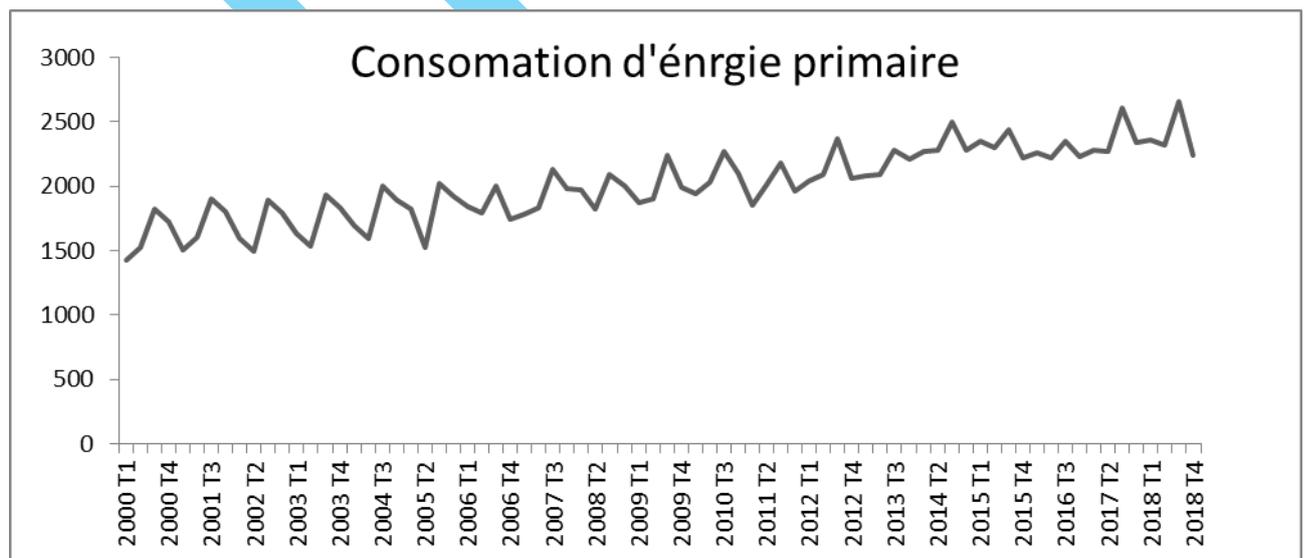
#### 3.3.4.1.1 La consommation d'énergie :

C'est la consommation d'énergie primaire sous sa forme brute extraite directement d'un gisement naturel : avant transformation en combustibles et carburants. Cette quantité est mesurée souvent en kilo tonne d'équivalent pétrole (ktep).

Les d'observations de cette variable sont des données trimestrielles qui couvrent la période 2000-2018. Elles sont extraites de l'observatoire de la Banque centrale de Tunisie sous le nom consommation d'énergie (kt de pétrole-équivalence).

**La figure** résume la variation de la consommation d'énergie primaire. On remarque que cette évolution s'articule autour une moyenne trimestrielle de de 2010,7 ktep pour l'ensemble de la période considérée 2000-2018. Pendant le troisième trimestre de l'année 2018, la consommation d'énergie primaire a enregistré un niveau historique de 2657,6 ktep contre un solde de 1822,7 ktep pour la même période de l'année 2010.

Figure :



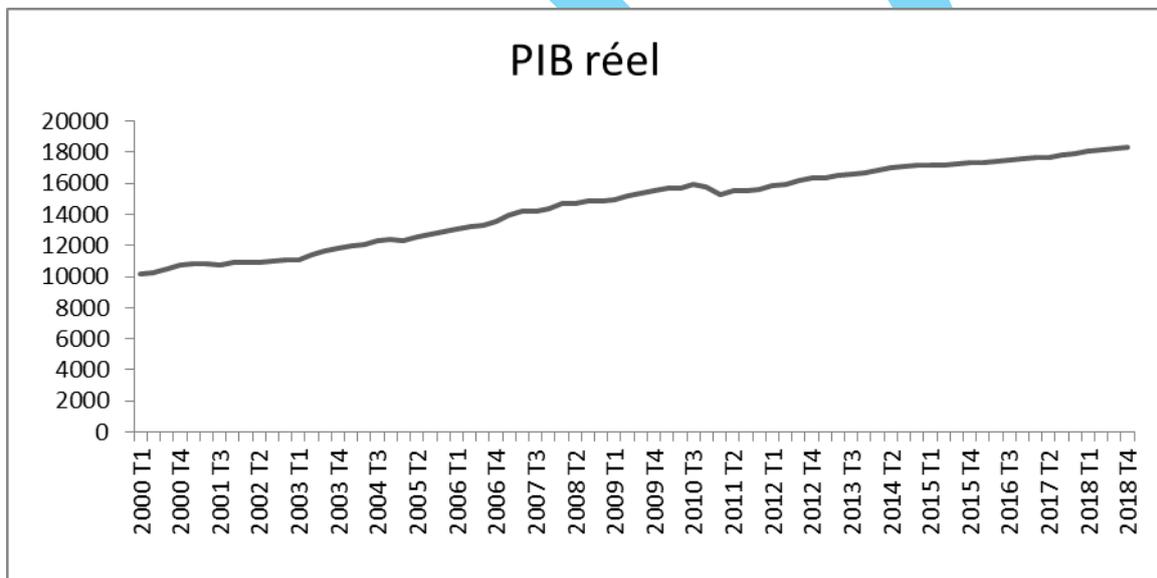
### 3.3.4.1.2 PIB réel

Le PIB réel représente un indice de niveau économique du pays. Il représente la valeur de PIB en tenant compte des variations des prix ou de l'inflation. Cet indice se trouve aussi sous le nom PIB en volume ou PIB à prix constants.

Le PIB représente une mesure efficace pour quantifier le développement d'un pays. Il reflète ainsi la capacité économique d'un pays en termes de création de richesse. Pour cette étude économétrique, on a utilisé le PIB réel, exprimé en Milliard de dinar (année de base 2010), en tant que proxy de la croissance économique. Les observations de cette variable sont des données trimestrielles qui couvrent la période 2000-2018 qui sont issues de l'Institut National des Statistiques de Tunisie.

Le schéma ci-dessous décrit l'évolution du PIB réel sur la période 2000-2018. On constate que son cheminement suit une moyenne trimestrielle de 14,608 milliard de dinar.

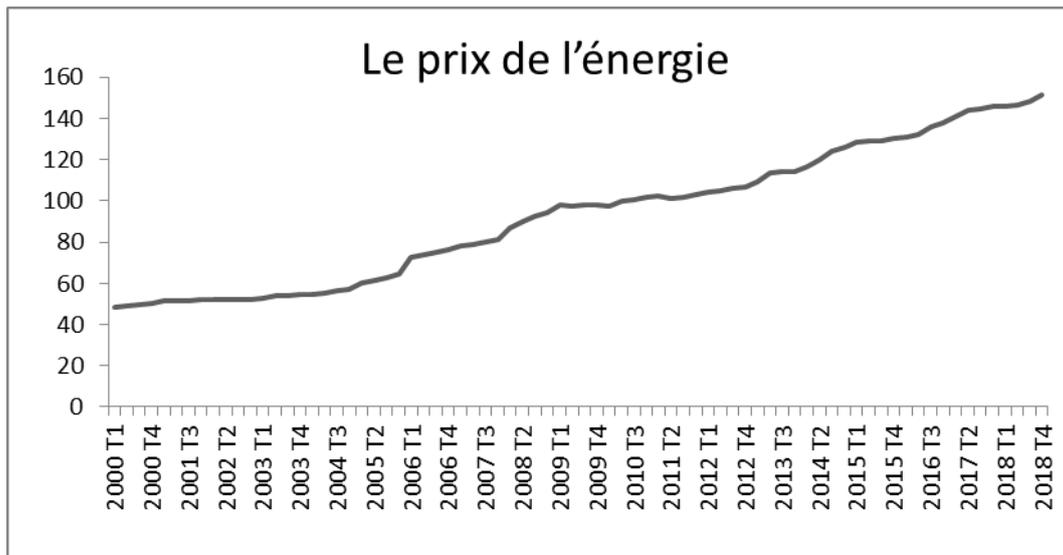
Figure :



### 3.3.4.1.3 Le prix de l'énergie

On utilise l'Indice des prix à la vente industriel pour Energie comme étant un indicateur qui mesure le prix de l'énergie en Tunisie. On peut le considérer ainsi plus efficace que le prix de l'électricité pour mesurer le prix réel de l'énergie. On peut utiliser l'Indice des prix à la vente industriel pour Energie et l'inflation comme proxy du coût de l'énergie. Les données de cette variable s'étendent sur la période 1971-2013 et elles ont été extraites des rapports trimestriels de l'Institut national des statistiques de Tunisie.

Le graphique suivant présente l'évolution du prix de l'énergie sur toute la période 2000-2018 qui a été caractérisée par une moyenne trimestrielle de 92,91.



### 3.3.4.2 Etude de stationnarité :

L'étude de la stationnarité des séries considérées nécessite auparavant un examen graphique. En effet, et comme l'indique les graphiques au-dessus, l'évolution des variables en question affiche une tendance à la hausse ce qui nous permet d'anticiper que les séries sont non stationnaires.

Il faut noter que les variables consommation d'énergie, PIB réel et le prix de l'énergie sont introduites en logarithme népérien pour neutraliser l'effet unité.

Econométriquement le test de cette caractéristique est fait à travers plusieurs outils à savoir les tests de racines unitaires ADF pour lequel l'hypothèse nulle est la présence d'une racine unité c'est-à-dire la non stationnarité.

Passons maintenant au test de la stationnarité. D'abord, on a appliqué le test ADF pour l'ensemble des variables en niveau c'est-à-dire sans aucune variation et on a trouvé les résultats suivants :

Tableau : Test de racine unitaire ADF (Séries en niveau)

Variabes	Statistique de Test	VC (1%)	VC (5%)	VC (10%)
Y=CE	-1.615099	-3.661661	-2.960411	-2.619160
X1=PIBR	-0.065984	-3.632900	-2.948404	-2.612874
X2=PXENRG	-0.002344	-3.632900	-2.948404	-2.612874

L'interprétation de ce test est faite par une simple comparaison entre la valeur critique (Statistique du test en valeur absolue) et celle calculée par le test ADF. On accepte alors

l'hypothèse  $H_0$  c'est à dire l'ensemble des variables sont non stationnaire à niveau car la statistique de test est inférieure à la statistique calculée. Pour cela on passe à la différence première.

**Tableau : Test de racine unitaire ADF (Séries en différence)**

Variabes	Statistique de Test	VC (1%)	VC (5%)	VC (10%)
Y=CE	-3.980455	-3.661661	-2.960411	-2.619160
X1=PIBR	-5.357542	-3.639407	-2.951125	-2.614300
X2=PXENRG	-4.247005	-3.639407	-2.951125	-2.614300

On remarque que pour toutes les variables en question la statistique de test en valeur absolue est supérieure à celle calculée. On peut conclure ainsi que la non stationnarité des variables est rejetée et par la suite : la CE, PIBR et PXENRG sont stationnaire en différence. Elles sont intégrées de même ordre :  $I(1)$ .

Cette constatation nous permet de passer au test de cointégration.

### 3.3.4.3 Test de cointégration

Pour estimer l'existence d'une relation de cointégration entre la consommation d'énergie et les facteurs qui l'influencent qui sont : le PIB réel, la part de l'industrie dans le PIB, la part du transport dans le PIB et le prix de l'énergie, on applique le test de Johansen (1988) de la trace ( $\lambda_{\text{trace}}$ ) et de la valeur propre ( $\lambda_{\text{tmax}}$ ) et on trouve les résultats suivants :

**Tableau Test de cointégration de Johansen**

H0: Rang r	Equation : Linaire avec tendance et constante	Equation : Linaire avec sans tendance et avec constante
$\lambda_{\text{trace}}$	2	3
$\lambda_{\text{max}}$	2	3

On remarque que les deux statistiques de Johansen ont détecté des relations d'équilibre de long terme entre les variables introduites. On peut ainsi confirmer la présence d'une relation d'équilibre de long terme entre la consommation d'énergie, le PIB, la part de l'industrie dans le PIB, la part du transport dans le PIB et le prix de l'énergie en Tunisie. Et par la suite, on peut estimer un modèle à correction d'erreur ECM.

### 3.3.4.4 Prédiction de long terme et causalité

Pour estimer les relations dynamiques existantes entre les quatre variables, on procède généralement par deux instruments d'analyse les plus utilisés par les économistes, soit :

- La décomposition de la variance de l'erreur de prévision
- Les tests de causalité

La finalité de cette étude est l'élaboration d'un modèle VECM pour pouvoir estimer la relation de long terme pour la série considérée.

La relation d'équilibre de long terme issue de notre modélisation est la suivante :

$$\text{Ln}(y^{32}) = 10,560 + 2,069\text{Ln}(X_1) - 0,375 * \text{Ln}(X_5) \quad (32)$$

(-2.92369)                      (-3.81026)                      (2.85170)

L'interprétation des différentes statistiques de Student nous permet de conclure que les coefficients des différentes variables à savoir le PIB et le prix de l'énergie sont significatifs puisque elles sont supérieures (en valeur absolue) à la valeur critique au seuil de 5% (1,97). D'où la significativité de ces variables.

Cette relation de cointégration montre une élasticité positive entre que la variable  $\text{Ln}(X_1)$ , qui mesure la croissance économique et la consommation d'énergie.

En d'autres termes, la croissance économique varie de 1% alors la consommation d'énergie suit la même tendance avec un pourcentage de 2%. Ce chiffre paraît élevé mais ce résultat est issu d'une estimation des données trimestrielles entre 2010 et 2018 durant laquelle le PIB enregistre un accroissement de 1,5% alors que la demande de l'énergie évolue avec un rythme de 3% soit deux fois ce qui explique bien le résultat trouvé.

L'ampleur de cette élasticité est justifiée principalement par trois facteurs :

- Les choix stratégiques de l'Etat en faveur des secteurs utilisateurs d'énergie : Au cours de ces dernières années, on constate bien que la part des gros consommateurs en énergie a bien accru. Selon l'ANE, la part de l'industrie en consommation énergétique est de l'ordre de 970 Ktep en 2015 contre 786 Ktep en 2010 soit un accroissement de 24,3%. Ce secteur représente 21% de la consommation nationale un développement.
- Le changement du comportement des ménages : Avec le changement de style de vie vécu cette dernière décennie, l'attitude du citoyen tunisien a trop évolué sur tout en ce qui concerne bien-être et confort. Ce qui a impacté le fameux pyramide de Maslow. En effet, La climatisation et l'accès à l'électricité sont devenus des biens vitaux qui traduisent le bien-être et le confort. Toutefois, ces deux besoins stimulent la demande en énergie en absence de rationalisation. De plus l'augmentation de la population urbain qui représente en 2017 selon l'INS 68,5% de la population totale est un autre facteur stimulant ce comportement. Il faut noter que le secteur

<sup>32</sup> Les chiffres entre parenthèses sont les t-Student des coefficients estimés

résidentiel (ménage et autre) représente 16% en 2015 de la consommation nationale en énergie selon l'ANE.

- Un secteur de transport léger : La consommation d'énergie pour ce secteur est de l'ordre de 43% en 2015, cet étendu accompagné d'une part importante en Gazole et Essence (67% en 2015 selon ANE) justifient l'accroissement du transport privé ou individuel à l'encontre du transport public. Aujourd'hui le taux de la population active selon la Banque Mondiale est de l'ordre de 52%, cet indice assortit d'une qualité médiocre du transport public et des subventions maintenu pour le produits pétroliers et ses dérivés encouragent le développement de transport individuel (31% de la population a au moins une voiture<sup>33</sup>) et par la suite un surplus en demande d'énergie.

On peut conclure alors que le développement économique en Tunisie dégage une relation croissance avec la consommation d'énergie afin de maintenir un niveau de vie plus confortable et une croissance économique soutenue.

Concernant le deuxième variable, le prix de l'énergie, la relation de cointégration montre une significativité négative de l'ordre de -0,375.

En effet, lorsque le prix augmente de 10% la consommation d'énergie subit une baisse de 3,75%. Ce qui traduit une élasticité négative entre le prix et la demande en énergie. En d'autres termes, la progression du prix fait affaiblir la demande d'énergie.

Selon la logique de la loi de la demande, le comportement vis-à-vis de la consommation d'énergie, dans le cas où le prix augmente, reflète la rationalité du consommateur qui cherche à maximiser sa satisfaction tout en respectant sa contrainte budgétaire y compris le prix du bien désiré. D'où on peut conclure que l'augmentation de la subvention accordée à l'énergie atténue le prix et donc favorise la consommation et par la suite insiste le gaspillage pour les grands consommateurs.

Une des solutions proposée par le FMI et la Banque Mondiale, pour résoudre le dilemme des subventions et pour ne pas pénaliser les ménages à revenu faible, est de verser ces aides directement dans leurs salaires. Cette solution apparait difficile à réaliser mais elle garantit une vie économique équitable. Aussi, l'Etat peut procéder à des factures personnalisées selon le type de consommateur. Autrement dit, l'indexation de prix de l'énergie fait selon la catégorie du demandeur d'énergie. Cette solution est encours d'application par le STEG : fixation d'un seuil de consommation pour déterminer le prix d'électricité.

Il faut noter que ce coefficient est bien conforme avec les normes internationales. Il est généralement compris entre -0,1 et -0,3.

---

<sup>33</sup> Selon une enquête fait par l'Institut National de la Statistique en collaboration avec le Ministère du Développement de l'Investissement et de la Coopération Internationale (MDICI) en 2018.

HEED