

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO  
Faculté de Droit, d'Economie, de Gestion et de Sociologie  
Département ECONOMIE

-----  
SECOND CYCLE  
PROMOTION SORTANTE : FENITRA  
Option : DEVELOPPEMENT

-----  
MEMOIRE de fin d'études  
pour l'obtention du

DIPLOME de MAITRISE ès SCIENCES ECONOMIQUES

**ENERGIES RENOUVELABLES ET  
SOUTENABILITE ECONOMIQUE**

Présenté et soutenu par : ANDRIAMIARIMANANA Henintsoa le 06 Mai 2014

Dirigé par : RAKOTOVAO ANDRIANANJA Heriniaina

Année Universitaire : 2012-2013



## REMERCIEMENTS :

---

Avant toute chose, je tiens à remercier le BON DIEU qui m'a donné la force et le courage de réaliser ce mémoire malgré les difficultés et les problèmes qui se sont présentés.

Je tiens également à adresser mes sincères remerciements à:

- Monsieur le Président de l'Université d'Antananarivo,
- Monsieur le Doyen de la Faculté de Droit, d'Economie, de Gestion et de Sociologie,
- Monsieur le Chef de Département Economie de l'Université d'Antananarivo
- Tous les Enseignants du Département Economie.

Je tiens particulièrement à remercier mon encadreur Monsieur RAKOTOVAO ANDRIANANJA Heriniaina pour ses orientations et ses conseils.

Enfin, j'adresse ma gratitude à mes parents, à mes frères, à toute la famille et à mes ami(e)s qui m'ont soutenus moralement et matériellement dans l'élaboration de ce document.

## ACRONYMES :

---

- ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
- AIE : Agence Internationale de L'Energie
- CEA : Commission Economique pour l'Afrique
- EEG : Erneuerbaren-Energien-Gesetz
- EnR : Energie renouvelable
- GES : Gaz à effet de serre
- GWh : Gigawatt-heure
- KWh : Kilowatt- heure
- Mtep : Million de tonnes équivalent pétrole
- MWh : Megawatt-heure
- Observ'ER : observatoire d'énergie renouvelable
- OPAEP : Organisation des pays arabes exportateurs de pétrole
- OPEP : Organisation des pays exportateurs de pétrole
- PIB : Produit intérieur brut
- PNUE : Programma des Nations Unies pour l'Environnement
- PV : Photovoltaïque
- R&D : Recherche-développement
- REN 21 : Renewable Energy Policy Network for the 21st century
- RTE : Réseau de transport d'électricité
- TWh : Téra watt-heure
- UM : Unité Monétaire

## **LISTE DES TABLEAUX :**

<i>Tableau 1 : Production nette d'électricité en France en 2011 et 2012 par filières .....</i>	<i>19</i>
<i>Tableau 2 : Capacité de production des énergies renouvelables à la fin 2011 .....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 3 : Fourchettes des coûts moyens actualisés de production par filière.....</i>	<i>33</i>
<i>Tableau 4 :Montant des dépenses de R&amp;D de 2002 à 2010 de plusieurs pays en Euros constants (base €/ \$ 2010).....</i>	<i>33</i>

## **LISTE DES ANNEXES :**

<i>Annexe 1 : Evolution des emplois directs des filières renouvelables de 2006 à 2012.....</i>	<i>ix</i>
<i>Annexe 2 : Proportion des Energies renouvelables en 2011 .....</i>	<i>ix</i>
<i>Annexe 3 : Evolution de la production d'électricité renouvelable de 2005 à 2011.....</i>	<i>x</i>
<i>Annexe 4 : Valorisation des différentes filières des énergies renouvelables .....</i>	<i>x</i>

## GLOSSAIRES :

---

- Club de Rome : groupe de réflexion réunissant des scientifiques, des économistes, des fonctionnaires nationaux et internationaux, ainsi que des industriels de 53 pays, préoccupés des problèmes complexes auxquels doivent faire face toutes les sociétés, tant industrialisées qu'en développement.
- Consommation d'énergie primaire (ou total des disponibilités) : il s'agit de la consommation d'énergie de tous les acteurs économiques sur le territoire national. Elle est égale à la production primaire dont on soustrait : le solde du commerce extérieur (exportations moins importations), le solde des variations de stocks (déstockage moins stockage), ainsi que les approvisionnements en combustibles des routes maritimes, pour les navires de haute mer. Elle correspond aussi à la somme de la consommation finale et de la consommation de la branche énergie.
- Électricité primaire : électricité d'origine nucléaire, hydraulique, éolienne, solaire (photovoltaïque) et géothermique (haute température).
- Énergie finale : énergie livrée au consommateur pour sa consommation finale. Il s'agit par exemple de l'essence à la pompe, de l'électricité au foyer, du bois utilisé par une chaufferie collective, etc. L'énergie finale peut être une énergie primaire (consommation de charbon dans la sidérurgie ou de bois par les ménages par exemple) ou non.
- Énergie primaire : énergie tirée de la nature (du soleil, des fleuves ou du vent) ou contenue dans les produits énergétiques tirés de la nature (comme les combustibles fossiles ou le bois) avant transformation. On considère donc que l'énergie électrique produite à partir d'une éolienne, d'un barrage ou de capteurs photovoltaïques est une énergie primaire. Par extension, on convient dans le bilan de l'énergie que l'énergie électrique produite par une centrale nucléaire est également une énergie primaire, respectant ainsi une convention internationale.
- Énergie secondaire : énergie issue de la transformation d'une énergie primaire ou d'une autre énergie secondaire. Cela comprend l'électricité produite dans une centrale

thermique, le carburant ou le fioul issu du raffinage du pétrole brut, etc. La branche industrielle qui effectue cette transformation est appelée l'industrie de l'énergie, ou plus simplement la branche énergie.

- Energies renouvelables (EnR) : selon le manuel de référence des institutions internationales, il s'agit des « énergies dérivées de processus naturels en perpétuel renouvellement ». On y distingue d'une part les énergies renouvelables dites électriques (énergies hydraulique, éolienne, marémotrice, le solaire photovoltaïque et la géothermie à haute température) et d'autre part les énergies renouvelables dites thermiques (EnRt), qui comprennent le solaire thermique, les pompes à chaleur, la géothermie valorisée sous forme de chaleur, le bois-énergie, les déchets urbains renouvelables incinérés, les résidus agricoles et agroalimentaires incinérés, le biogaz et les biocarburants. L'hydroélectricité produite par pompages et l'énergie issue de la part non biodégradable des déchets urbains incinérés ne sont pas considérées comme de l'énergie renouvelable. Toutes ces énergies sont utilisées pour produire de l'électricité, de la chaleur ou les deux simultanément (cogénération) ou sous forme de force motrice pour les transports.
- Equilibre général walrasien : c'est une branche de la macroéconomie. Elle cherche à expliquer comment se fixe le niveau de production et de consommation des biens et les prix dans une économie. Les modèles d'équilibre général sont utilisés pour mesurer l'impact des décisions politiques.
- Pompe à chaleur : dispositif permettant de transférer de la chaleur entre deux milieux, dans un sens inverse à la diffusion naturelle de la chaleur du plus chaud vers le plus froid jusqu'à l'égalité des températures. Ce cycle physique nécessite un apport d'énergie pour fonctionner.
- Production brute d'électricité : production mesurée aux bornes des groupes des centrales ; elle intègre par conséquent la consommation des services auxiliaires et les pertes dans les transformateurs des centrales.
- Production nette d'électricité : production mesurée à la sortie des centrales, c'est-à-dire déduction faite de la consommation des services auxiliaires et des pertes dans les transformateurs des centrales.

- Production primaire : ensemble des énergies primaires produites sur le territoire national.
- La fonction de Cobb-Douglas : une fonction largement utilisée en économie pour représenter le lien qui existe entre intrant et extrant.
- Théorie économique orthodoxe : Une orthodoxie est une doctrine considérée comme norme de la vérité, et enseignée officiellement.

# INTRODUCTION GENERALE

---

Les ressources naturelles constituent un facteur essentiel à la croissance économique. Malthus à la fin du XVIIIème siècle était le premier à avoir traité les liens entre croissance et ressources naturelles. Cet économiste a d'ailleurs affirmé le problème de rareté de ces ressources. Ainsi, certaines ressources naturelles telles que le charbon ou le pétrole sont disponibles en quantités finies et ne sont pas renouvelables. Cependant, les besoins de l'homme sont illimités. Des besoins qui sont concrétisés par les demandes. Ces demandes, qui à son tour, passent par les productions utilisant des matières premières. En effet, la satisfaction des besoins de l'homme nécessite une quantité suffisante de ressources naturelles. L'une des traductions économiques synthétiques les plus couramment avancées de la notion de développement durable consiste à poser l'exigence de non-décroissance dans le temps du capital total, physique, humain et naturel, par habitant (Godard O., 1994).

Les préoccupations sur les ressources naturelles vont apparaître dans les années 1970, à l'occasion des chocs pétroliers. Ces chocs font prendre conscience du caractère épuisable du pétrole jusque-là bon marché. Avant Octobre 1973, le baril du pétrole était de 3 dollars<sup>1</sup>. Ainsi, le monde peut s'attendre à un risque de pénurie énergétique. En 2012, les surplus de capacité de production de pétrole pourraient disparaître entièrement, et dès 2015, le déficit de production pourrait être proche de 10 millions de barils<sup>2</sup> par jour. Cependant, les pays détenteurs de cette ressource peuvent en tirer profit par le biais de la rente suivant sa rareté. L'« État producteur » prélève en 1973 2,09 \$/baril et 8,7 \$/baril en janvier 1974, soit plus de quatre fois plus<sup>3</sup>.

En 1972, dans la lignée des travaux de Malthus, le Club de Rome publie un rapport alarmiste intitulé « *Limits to growth* » (Halte à la croissance). Le développement économique y est présenté comme générateur d'une pénurie de matières premières et d'un épuisement des ressources fossiles.

Ce caractère de rareté et d'épuisement des ressources fossiles entraîne des conséquences néfastes dans la poursuite de la croissance économique. La hausse du prix du

---

<sup>1</sup> Source : Annual Energy Review, 2009 (consulté le 10 Octobre 2013 vers 13h).

<sup>2</sup> Source : Joint operating environment, 2008 (consulté le 04 Septembre 2013 vers 17h).

<sup>3</sup> Source : Annual Energy Review, 2009 (consulté le 10 Octobre 2013 vers 13h).

pétrole entraîne l'augmentation des coûts de production pour les entreprises. En contrepartie, les entreprises pourraient baisser leurs consommations en matières premières ou accroître leurs prix de vente ou réduire leurs activités et leurs emplois. La consommation mondiale de pétrole a chuté de 1,2 millions de barils par jour depuis 1982<sup>4</sup>.

En mettant en lumière la sensibilité géopolitique et le pouvoir de marché dont dispose l'OPEP, les chocs pétroliers des années 70 poussent les pays occidentaux à trouver de nouvelles sources d'énergies. C'est à cette période que les filières solaire et éolienne apparaissent<sup>5</sup>. Cependant, une question se pose : « **Les Energies renouvelables permettent-elles d'assurer la soutenabilité économique ?** ».

Cette question présente un intérêt double, théorique et pratique, dans l'analyse de la capacité des énergies renouvelables à assurer la soutenabilité de l'économie. Théorique, dans le sens où la science économique s'intéresse davantage aux différentes conceptions des crises énergétiques. Ces conceptions sont illustrées à travers des modèles et des théories tels que le modèle d'Hartwick (1977) ou encore la théorie de Solow (1974). Ces modèles et théories expliquent les diverses options permettant une consommation soutenable des ressources, notamment le pétrole. Pratique, dans la mesure où la question d'énergies occupe une place importante dans la poursuite de la croissance économique. Les périodes de crise pétrolière peuvent engendrer des périodes de récession durant lesquelles le PIB des pays ralentit sa croissance ou même diminue<sup>6</sup>.

Ce mémoire est une revue de littérature reposant sur deux aspects. Le premier aspect consiste en une revue théorique et historique permettant de comprendre l'avènement de la quête de nouvelles formes d'énergies. Le second aspect étudie la capacité des énergies renouvelables à satisfaire au cours du temps les besoins de l'économie. La durabilité est assurée à condition d'un « maintien au cours du temps de la capacité (du stock de capital) à délivrer la consommation correspondante de biens et services » (Faucheux et Noël, 1995, p.267).

---

<sup>4</sup> Source : Statistical Review of World Energy, June 2010 (consulté le 03 janvier 2014 vers 10h).

<sup>5</sup> Source : Statistical Review of World Energy, June 2010 (consulté le 03 janvier 2014 vers 10h).

<sup>6</sup> Source : Statistical Review of World Energy, June 2010 (consulté le 03 janvier 2014 vers 10h).

Le corpus théorique s'inscrit dans le cadre de l'économie du développement durable. A ce titre, nous avons choisi comme grille de lecture l'approche faible de la durabilité qui repose sur la substituabilité entre les différentes formes de capital. Cette approche permet de dégager les raisons auxquelles l'économie doit recourir aux ressources naturelles renouvelables telles que les énergies renouvelables. Des centres de recherche et des bibliothèques tels le site d'Ambatonakanga, l'ONE<sup>7</sup>, le CREAM<sup>8</sup>, ou encore l'IRD<sup>9</sup> offrent des larges choix de documents sur les énergies renouvelables. Aussi, la consultation du cahier d'économie de l'environnement aide à la compréhension des différentes approches du développement durable et du concept d'économie verte.

Pour la partie théorique du mémoire, les modèles théoriques ont été élaborés grâce aux visites des sites webs : [www.repec.org](http://www.repec.org)<sup>10</sup>, [www.jstor.org](http://www.jstor.org)<sup>11</sup> et [www.Persée.org](http://www.Persée.org).

Ce mémoire comporte deux chapitres dont chaque chapitre sera composé de deux sections :

- Le premier chapitre aborde la question des causes de la recherche d'autres formes de sources d'énergies. Ainsi, après la crise pétrolière de 1973, plusieurs théories de la croissance justifiant la rareté du pétrole et la possibilité de sa substitution sont apparues, notamment en 1974. Les modèles de base (Dasgupta et Heal 1974 ; Solow 1974 ; Stiglitz 1974) se sont prêtés à de nombreux élargissements comprenant : les modèles de croissance soutenable avec ressources renouvelables. Il s'agit d'une extension des enseignements issus des modèles de croissance optimale avec ressources épuisables à des modèles de croissance optimale avec ressources épuisables et/ou renouvelables. Le concept d'économie verte permet d'avoir un aperçu, à travers des exemples, sur les bienfaits de l'utilisation des ressources renouvelables telles que les énergies renouvelables sur l'économie.

- Le deuxième chapitre porte sur l'étude de la soutenabilité des énergies renouvelables. Globalement, les énergies renouvelables proviennent de cinq sources différentes qui sont le

---

<sup>7</sup>ONE : Office Nationale de l'Environnement

<sup>8</sup>CREAM : Centre de recherches, d'Etudes et d'appui à l'Analyse Economique à Madagascar

<sup>9</sup>IRD: Institut de Recherche pour le Développement

<sup>10</sup>RePEc ou *Research Papers in Economics*

<sup>11</sup>Jstor ou *Journal Storage*

soleil, le vent, l'eau, la terre et les végétaux. Cependant, bien que ces énergies renouvelables soient favorables aux activités des agents économiques, ses installations génèrent des coûts environnementaux et économiques même. En conséquence, l'analyse de la soutenabilité ou non de l'économie par les énergies renouvelables dépend de la mise d'une politique de développement de ces énergies renouvelables.

# CHAPITRE 1 : REVUE HISTORIQUE ET THEORIQUE SUR LA QUÊTE DES ENERGIES RENOUVELABLES

---

## CHAPITRE 1 : REVUE HISTORIQUE ET THEORIQUE SUR LA QUÊTE DES ENERGIES RENOUVELABLES

### INTRODUCTION DU PREMIER CHAPITRE :

Le concept de développement durable a été appréhendé dans différents rapports. Ce type de développement concilie les dimensions économique, sociale et environnementale de façon à assurer la viabilité durable de l'ensemble. Ce développement doit également « répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de satisfaire les leurs » (Rapport Brundtland, 1987).

Cette définition met en avant l'équité intergénérationnelle. Cependant, la satisfaction de chaque génération passe par l'utilisation des ressources naturelles. En effet, un développement durable demande l'existence permanente des ressources naturelles, notamment le pétrole. Dans cette optique, nous nous inscrivons dans une approche « faible » du développement durable qui élimine toute contrainte naturelle. Ce qui évacue toute idée d'irréversibilité (Faucheux et Noël, 1995 ; Vallée, 2002). Ainsi, nous retenons la thèse de la parfaite substituabilité du « capital naturel<sup>12</sup> » par les autres formes de capital (capital humain, capital physique, etc). Le capital naturel est le stock qui produit le flux de ressources naturelles : la population de poissons dans l'océan qui génère le flux de pêche allant sur le marché ; la forêt sur pied à l'origine du flux d'arbres coupés ; les réserves de pétrole dans le sol dont l'exploitation fournit le flux de pétrole à la pompe (Daly H., 1994).

L'objet de ce chapitre est de mettre en relief les causes essentielles de la tendance vers l'utilisation d'autres sources d'énergies. Des sources d'énergies qui assureraient la soutenabilité de l'économie.

Ce chapitre se subdivise en deux sections :

La première section aborde le déroulement de la crise pétrolière de 1973. Cette crise qui a amené des auteurs tels que Stiglitz (1974) ou Solow (1974) à réfléchir sur les théories concernant l'épuisement du pétrole, la rente de rareté des pétroliers et la substituabilité du capital naturel. Cependant, les substituts (capital manufacturé surtout) au capital naturel

---

<sup>12</sup> Le terme capital naturel apparaît en 1973 dans *Small is beautiful*, le best seller d'Ernst Friedrich Schumacher. Ce terme est fortement identifié avec Robert Costanza, l'expérience Biosphère II, et le *Natural Capitalism*, modèle économique de Paul Hawken, Amory B. Lovins, et Hunter Lovins.

portent atteinte à l'environnement. En effet, cette forme de substitution ne correspond pas aux optiques du développement durable.

La deuxième section étudie l'option possible correspondant aux objectifs du développement durable et ses conséquences sur l'économie.

## SECTION1: LE DECLENCHEMENT DE LA RECHERCHE DE NOUVELLES SOURCES D'ENERGIE

Etant donné la dépendance à l'égard de l'énergie, une inquiétude sur l'adéquation des ressources de la nation pour satisfaire ses besoins énergétiques apparaît. En d'autres termes, la croissance économique est limitée par une quantité finie de ressources naturelles essentielles et épuisables. En cours de consommer les ressources finies, le niveau de vie du monde descend inexorablement vers celui de l'homme de Neandertal<sup>13</sup>.

### 1- La crise pétrolière de 1973 :

Un « choc pétrolier » est un phénomène de hausse brutale du prix du pétrole ayant une incidence négative sur la croissance économique mondiale<sup>14</sup>. Selon les économistes, deux chocs pétroliers ont marqué l'histoire du XX<sup>e</sup> siècle : le premier en 1973, le second en 1979.

Un choc pétrolier peut-être dû à plusieurs facteurs :

- Un « choc d'offre », qui lui-même peut-être dû à :
  - une crise politique ou un conflit armé dans un pays ou un ensemble de pays producteurs ou de transit, telle la crise de 1973 mais aussi la révolution iranienne de 1979,
  - une baisse volontaire de l'offre des pays producteurs.

---

<sup>13</sup> Neandertal (*homme de*) : squelette humain, découvert en 1856 dans la vallée du Neander près de Düsseldorf. C'est le premier fossile humain qui ait été reconnu comme différent de l'homme actuel. Les néandertaliens vivaient entre 80000 et 35000 av. J.-C. et sont associés au faciès moustériens.

<sup>14</sup> Source : Annual Energy Review, 2009 (consulté le 10 Octobre 2013 vers 13h).

- Une augmentation non anticipée de la demande des pays consommateurs. C'est ce que l'on appelle un « choc de demande ». L'augmentation des cours du pétrole en 2008 peut être considérée comme un choc de demande

Dans le début des années soixante-dix, les pays producteurs de pétrole regroupés au sein de l'OPEP tentent de réagir face à la dégradation du prix du pétrole brut. Prix, qui, depuis 1950, a baissé par rapport aux produits industriels. De 1947 à 1967, le prix du pétrole en dollars américains a augmenté de moins de 2 % par an. Jusqu'au choc pétrolier, le prix est resté relativement stable par rapport aux autres devises et matières premières<sup>15</sup>. Étant donné que ce produit nécessaire est en abondance pour faire face à la croissance mondiale, le pétrole est une énergie à bon marché (3 dollars le baril)<sup>16</sup>. L'OPEP s'engage dans un bras de fer avec les pays importateurs et les grandes compagnies pétrolières occidentales pour tenter de rééquilibrer le marché en sa faveur.

La guerre israélo-arabe de 1967 et surtout celle de 1973 vont servir de détonateur à une modification du rapport de force. Ainsi, en 1967, les États arabes décrètent, pour quelques mois, une suspension des livraisons de pétrole aux États-Unis et à la Grande-Bretagne. Ces pays étant accusés de soutenir l'Israël. La même situation se reproduit lors de la guerre du Kippour en 1973, mais d'une façon beaucoup plus dure<sup>17</sup>.

Le 16 octobre 1973, les dix membres de l'OPAEP décident un embargo complet envers les États-Unis, les Pays-Bas, le Portugal et l'Afrique du Sud, jugés trop pro-israéliens. Mais surtout, l'OPAEP décide de réduire la production de pétrole brut arabe chaque mois, jusqu'à ce que les Israéliens se soient retirés des territoires occupés. De plus, le prix du baril est porté de 3 à 5,12 dollars<sup>18</sup>.

La réduction de la production en novembre 1973 et la hausse du prix du brut constituent un véritable choc dans les pays occidentaux. Le 23 décembre 1973, l'OPEP fixe le prix du baril à 11,65 dollars, soit, en trois mois, quasiment le quadruple des prix ayant

---

<sup>15</sup>Source : Annual Energy Review, 2009 (consulté le 10 Octobre 2013 vers 13h).

<sup>16</sup>Source : Annual Energy Review, 2009 (consulté le 10 Octobre 2013 vers 13h).

<sup>17</sup> Source : Annual Energy Review, 2009 (consulté le 10 Octobre 2013 vers 13h).

<sup>18</sup> Source : Annual Energy Review, 2009 (consulté le 10 Octobre 2013 vers 13h).

cours<sup>19</sup>. Cette brutale augmentation, qui met fin au pétrole bon marché, n'a pu se réaliser que grâce à une évolution du marché favorable aux pays exportateurs<sup>20</sup>.

D'ailleurs, depuis la fin des années soixante, la demande grandissante des pays occidentaux ainsi que celle des États-Unis tend à dépasser l'offre et à créer les conditions d'un rapport de force favorable aux pays de l'OPEP. Pendant les années 1960, la demande pétrolière croît de plus de 7% par an. Dès 1972, la production de pétrole aux États-Unis atteint ce que les experts désignent comme un « pic pétrolier » (point de production maximale). Afin de pallier le manque, les États-Unis importent une quantité toujours croissante de pétrole, notamment extrait au Moyen-Orient<sup>21</sup>. Désormais ces pays occidentaux sont contraints à des importations de plus en plus importantes.

Ce choc pétrolier a touché les pays industrialisés de façon diverse. Les taux de dépendance des économies de ces pays par rapport au pétrole varient sensiblement. S'il n'est que de 13% aux États-Unis, il dépasse 60% pour l'Europe occidentale, atteignant même 75% en France, 85% en Italie, tandis qu'il est de plus de 90% au Japon<sup>22</sup>. Les incidences du choc pétrolier sur l'économie de ces pays sont très importantes. La hausse du pétrole bouleverse tous les équilibres internes et externes. Selon Blanchard et Gali (2007), les chocs pétroliers ont eu un impact très significatif sur les prix et la croissance. L'impact le plus dramatique sur la croissance était pour les Économies américaine et japonaise lors du premier choc et dont les effets cumulés étaient respectivement de -13.3% et de -16.1%.

Afin de résorber l'important déficit que cette hausse creuse dans leur balance commerciale, les pays importateurs se voient contraints de réduire leurs importations. Pour la première fois en trois décennies, la consommation a baissé d'une année sur l'autre<sup>23</sup>. En même temps, ces pays importateurs tentent de privilégier leurs exportations au détriment de leur consommation intérieure.

La hausse du prix du pétrole a aussi une autre conséquence tout aussi redoutable pour les économies occidentales atteintes par la stagnation. Cette hausse contribue à l'accélération

---

<sup>19</sup> Source : Annual Energy Review, 2009 (consulté le 10 Octobre 2013 vers 13h).

<sup>20</sup> Source : Annual Energy Review, 2009 (consulté le 10 Octobre 2013 vers 13h)

<sup>21</sup> Source : Annual Energy Review, 2009 (consulté le 10 Octobre 2013 vers 13h)

<sup>22</sup> Source : Annual Energy Review, 2009 (consulté le 10 Octobre 2013 vers 13h)

<sup>23</sup> Source : Annual Energy Review, 2009 (consulté le 10 Octobre 2013 vers 13h)

de l'inflation qui passe de 3 à 4% en 1973 à plus de 10% jusqu'au début des années quatre-vingt<sup>24</sup>. Ainsi, dans la mesure où la crise de 1974 apparaît dans la foulée de la hausse du prix du pétrole, nombreux économistes à l'époque ont fait du choc pétrolier la cause de la récession.

La « facture pétrolière » est la raison principale de la dépression. Plusieurs indices révèlent la dégradation de la conjoncture : la crise monétaire du printemps 1973 notamment marque la fin des parités fixes. De ce fait, le choc pétrolier a eu un effet amplificateur sur les déséquilibres préexistants.

## 2- Les réactions depuis 1974 :

Le modèle de développement industriel a fonctionné pendant des années sur la croyance en l'impossibilité d'épuisement des ressources naturelles. Lorsque cette croyance s'est effondrée, les économistes néoclassiques ont tenté d'intégrer l'environnement dans le modèle d'équilibre général walrasien. Cette intégration a été inaugurée par Hotelling en 1931 et trouve son aboutissement dans la règle de compensation énoncée par Hartwick en 1977.

Les rentes prélevées au fur et à mesure de l'épuisement des ressources sont égales à la différence entre le prix et le coût marginal des ressources. Ces rentes doivent être réinvesties pour produire du capital substitut aux ressources épuisées. Aussi, ces rentes croissent de période en période d'un taux égal au taux d'actualisation. C'est la conception de la soutenabilité faible. Par opposition, la soutenabilité forte est le maintien du stock de ressources naturelles sans faire appel à la substituabilité.

Ainsi la soutenabilité faible postule que le progrès technique sera toujours capable de modifier les processus de production avec une pollution de moins en moins considérable.

En complément de cette démarche, l'intégration de l'environnement au calcul économique concret repose sur la prise en compte des externalités. L'internalisation de ces externalités repose sur les modalités principales de tarification (conception pigouïenne) et l'émission de droits à polluer.

- Le modèle de base: la règle d'Hotelling en 1931

---

<sup>24</sup> Source : Annual Energy Review, 2009 (consulté le 10 Octobre 2013 vers 13h)

S'agissant des ressources non renouvelables comme le pétrole, un des thèmes structurants est celui du régime inter temporel. La règle d'Hotelling indique que les détenteurs de capitaux devraient être rationnels dans leurs investissements. Ainsi, la rente unitaire retirée de l'extraction de ces ressources s'apprécie dans le temps au même taux que le taux d'intérêt. En conséquence, à long terme, ce sont les prix des ressources naturelles rares et essentielles, sur lesquelles le progrès technique n'a pas de prise, qui devraient dominer l'économie.

Soit un investisseur disposant de capitaux à placer. Il peut soit acquérir des titres sur un marché boursier qui lui rapporteront le taux d'intérêt du marché, soit se porter acquéreur d'un gisement de ressources épuisables.

Avec la première option, son capital initial  $K_0$  se valorisera au bout d'une période au taux d'intérêt  $i$  :  $K_0$  devient  $K_0(1+i)$

Avec la seconde option, la possession d'un gisement ne produisant en elle-même aucun revenu. Seule la vente de la ressource, une fois cette dernière extraite, ou la revente du gisement peut procurer un gain.

Par hypothèse, à la date d'achat :  $K_0 = r_0 q$ , avec  $q$ , la quantité de ressources in situ, par exemple des barils de pétrole, et  $r_0$  le prix d'achat unitaire de la ressource in situ.

Au temps  $t = t_1$ , ce que peut espérer au maximum l'investisseur, c'est soit de revendre le gisement, soit de vendre la totalité de la ressource sur le marché après l'avoir extraite, pour un prix unitaire  $p_1$ . La différence entre  $p_1$  et  $r_1$ , ce sont les coûts d'extraction, soit  $c_1$ .

La valeur de revente de la ressource extraite  $V_1 = p_1 q = (r_1 + c_1) q$

Le profit maximum retiré de l'opération est alors :  $r_1 q$

À l'équilibre, l'investisseur doit être indifférent entre les deux types de placement considérés. En effet si l'un des placements était manifestement plus rentable, les investisseurs modifieraient leur allocation, et on ne serait pas à l'équilibre.

Cela signifie que nous devons avoir :  $K_0(1+i) = r_0 q(1+i) = r_1 q$

En conséquence :  $r_1 = r_0(1+i)$

L'arbitrage entre la vente au temps  $t$  de la ressource extraite et la conservation de la ressource in situ pour une vente ultérieure se fait de telle façon que la rente unitaire augmente dans le temps au taux d'intérêt de l'économie.

Ce résultat peut être lu de deux manières :

- la logique même du marché prend en compte le trend de raréfaction de la ressource. Cette prise en compte se manifeste à travers l'augmentation régulière de la rente de

rareté et, indirectement, du prix de vente de la ressource extraite. Ce qui assure un usage efficace de cette ressource,

- il faut que la ressource se raréfie suffisamment au regard de la demande pour que l'investisseur ait intérêt à investir dans un gisement de ressources épuisables. Dans cette optique, il peut en tirer une rente aussi profitable que d'autres formes de placement. Il y a là une base économique aux limites de l'exploration de nouveaux gisements et des réserves prouvées.

- Le modèle d'Hartwick en 1977:

Pour faciliter la compréhension du modèle, Hartwick (1977) a appliqué la démarche suivante : supposons le capital naturel ( $K_n$ ) comme une simple composante du capital total ( $K$ ). En effet, ce dernier est constitué de  $K_m$  (capital manufacturé ou productible),  $K_h$  (capital humain ou stock de connaissances et de savoir-faire) et  $K_n$  (capital naturel, c'est-à-dire ressources épuisables ou renouvelables, services environnementaux). Ces différents types de capitaux sont supposés commensurables et équivalents (ce qui constitue une hypothèse lourde).

Soit :  $K = K_m + K_h + K_n$ .

Cette hypothèse d'un agrégat élargi du capital permet l'application des concepts de la théorie du capital. Aussi, cette hypothèse conduit plus particulièrement à l'identification d'une règle à caractère normatif. Cette règle est censée réguler la répartition des capitaux entre les générations dans l'optique d'assurer la soutenabilité du développement.

Selon cette règle, la soutenabilité sera assurée si, le long du sentier de développement, le stock total de capital ( $K$ ) est constant ou s'accroît. Soit :

$$\frac{dK}{dt} = \dot{K} = \frac{d(K_m + K_h + K_n)}{dt} \geq 0$$

Autrement dit, soit :

$$\dot{K} = S(t) - \delta K(t),$$

où  $S(t)$  représente le montant de l'épargne investi dans un fond de compensation,  $\delta K(t)$  est la dépréciation du capital.

Suivant l'idée de Solow, à partir des deux équations précédentes, on obtient l'expression suivante :

$$S(t) - \delta K(t) \geq 0 \quad \text{ou encore,} \quad S - \delta_m K_m - \delta_h K_h - \delta_n K_n \geq 0.$$

Cette règle d' Hartwick (1977) assure le maintien du stock de capital dans le temps et la consommation apparaît comme l'intérêt de ce stock. Selon Solow R. M. (1986), un sentier de consommation non décroissant (soutenable), obtenu comme un sentier de valeur présente actualisée maximum, est conforme à cette règle. En effet les rentes, provenant de l'usage du capital naturel par la génération présente, doivent être réinvesties sous forme de capital économique reproductible. Ce capital sera transmis aux générations futures dans des proportions permettant de maintenir les niveaux de consommation réels constants au cours du temps.

- La théorie solowenne en 1974:

Le problème pour la société est de trouver le plus possible une manière permanente et soutenable de la consommation, c'est à dire une consommation constante où un modèle technologiquement faisable d'utilisation de ressource et de temps infini. Mais tout cela, même avec d'énormes investissements, ne doivent ni épuiser plus que les actions disponibles des ressources, ni conduire les actions du capital reproductible dans des nombres négatifs. « Un dépôt de ressource tire sa valeur marchande, finalement, de la perspective de l'extraction et de la vente. En attendant, son propriétaire, comme le propriétaire de chaque bien capital, demande: Qu'avez-vous fait pour moi récemment? La seule manière dont un dépôt de ressource dans la terre et laissé dans la terre peut produire un retour courant pour son propriétaire est en appréciant sa valeur. Les marchés des placements peuvent être à l'équilibre seulement quand tous les capitaux dans une classe donnée de risque gagnent le même taux de rendement. Ces capitaux sont ici considérés en partie en tant que dividende courant et en partie en tant que la plus-value. Le taux de rendement commun est le taux d'intérêt pour cette classe de risque. Puisque les dépôts de ressource ont la propriété particulière qu'ils ne rapportent aucun dividende à condition qu'ils restent dans la terre, à l'équilibre la valeur d'un dépôt de ressource doit se développer à un taux égal au taux d'intérêt ». (Solow R.M. 1974, p.2).

Aussi, « La rente de rareté représente simplement la valeur économique du pétrole encore enfoui, indépendamment des coûts qui devront être subis pour l'extraire. La rareté de la ressource lui donne évidemment une valeur et fait la richesse de ceux qui la possède. Mais ce mécanisme de marché contribue aussi à l'optimalité sociale. Un prix du pétrole plus élevé

est le meilleur moyen d'inciter à en laisser dans le sol en conservant ainsi le capital des générations futures ». (Artus et al. 2010, p.28).

- La théorie de Daly H.en 1991 :

La théorie économique orthodoxe a supposé que toute la pénurie est relative: la « nature impose des pénuries particulières, pas pénurie générale indéniable ». (Harold J. B. et Morse F. 1963, p. 11). Par conséquent, la réponse à la pénurie et aux changements relatifs des prix est toujours « substitution ». La recommandation politique est « l'internalisation des externalités » habituellement par l'intermédiaire des impôts de pollution. « Le problème de la pollution environnementale est chose facile de corriger une mauvaise allocation mineure de ressource au moyen de frais de pollution ». (Beckerman W. 1972, p. 327).

Les questions qui se posent sont :

- Quel produit de remplacement y a-t-il pour des ressources en général, pour la basse entropie?
- Comment est-il possible d'augmenter le prix relatif de toutes les ressources?

En réalité, le dogme de la relativité n'existe pas. Autrement dit, le monde pourrait arriver à une pénurie absolue des ressources naturelles. Ce qui aboutira au growthmania<sup>25</sup>. S'il n'y a aucune pénurie absolue pour limiter la possibilité de la croissance, aucune personne ne veut limiter l'efficacité de la croissance. Et encore, tout le monde cherche une croissance pour toujours et encore plus meilleure.

L'implication de la pénurie absolue est l'opposé du growthmania, à savoir, l'état d'équilibre. En ce moment, les growthmaniacs font habituellement appel à la technologie. Sûrement la croissance économique peut continuer indéfiniment parce que la technologie continuera à se développer exponentiellement comme dans le passé. Ceci manque minutieusement le point. La croissance exponentielle et alléguée de la technologie n'est pas directement mesurable. Il est vrai qu'elle contribue à la croissance économique. Cependant, il est important de remarquer qu'elle implique aussi la croissance exponentielle des importances physiques d'épuisement et de pollution. Un tel progrès technique est plus une partie du problème que la solution. Il faut faire appel à un changement qualitatif de la direction du progrès technique. En d'autres termes, il est nécessaire d'établir une technologie

---

<sup>25</sup> Growthmania: « Une critique des conceptions orthodoxes de la croissance. Growthmania veut, pénurie et efficacité » (Summer, 1974).

de ressource-économie et considérant les modèles de la vie. En conséquence, le monde doit accorder une plus grande confiance dans l'énergie solaire et les ressources renouvelables.

En bref, l'approche faible du développement durable considère que les différentes formes de capital sont substituables. Par conséquent, il sera toujours possible de remplacer le capital naturel (services environnementaux, ressources naturelles) par le capital manufacturé. Dans cette perspective, les contraintes auxquelles fait face l'économie sont celles liées à l'épuisement des ressources naturelles, au développement des substituts et aux transferts intergénérationnels.

Dans le cadre d'un modèle d'équilibre général, on obtient une règle de « compensation » (Hartwick, 1977) qui garantit l'équité entre les générations. Cette règle stipule que des revenus égaux à la différence entre le prix et le coût marginal des ressources doivent être prélevés au fur et à mesure de l'épuisement des ressources. Puis, ces revenus doivent être utilisés pour produire du capital qui se substituera aux ressources épuisées. Le modèle de Stiglitz (1974) présente l'équilibre obtenu dans le cadre d'une fonction de production à rendements constants Cobb-Douglas à trois facteurs (travail, capital, environnement).

Question d'énergie, l'énergie fait partie des facteurs essentiels du développement économique et social de notre société. Les progrès réalisés au cours du XX<sup>ème</sup> siècle ont été accomplis grâce à l'utilisation d'une énergie abondante et relativement bon marché, le pétrole.

Cependant, la consommation de ressources fossiles a eu des conséquences négatives pour l'environnement et pour l'économie : l'épuisement des ressources naturelles et la pollution. Ces risques d'épuisement des ressources face à une croissance continue de la demande, font apparaître l'inefficacité du modèle énergétique actuel comme non durable. En conséquence, il faut engager une transition vers un modèle plus durable. Pour cela, la diversification des sources d'énergie peut-être une solution. La mise en œuvre de cette solution va toutefois réclamer un effort sans précédent. Elle conduira à des transformations importantes du modèle économique actuel.

## SECTION 2: UNE ECONOMIE AVEC DE NOUVELLES OPTIONS

La substitution du capital naturel par le capital manufacturé a engendré des effets néfastes sur l'environnement et donc sur le bien-être de la société. En effet, cette forme de substitution ne permet pas d'atteindre les objectifs du développement durable. Ainsi, il est

nécessaire de trouver bien d'autres formes de substitution. Ce qui nous amène à étudier le concept d'Economie verte.

Selon le Rapport du PNUE (2011), l'Economie verte est une économie qui entraîne une amélioration du bien-être humain et de l'équité sociale tout en réduisant de manière significative les risques environnementaux et la pénurie des ressources.

Une économie verte est une économie dans laquelle les liens vitaux reliant l'économie, la société et l'environnement sont pris en considération. En outre, c'est une économie dans laquelle il faut tenir compte de quelques changements dont :

- la transformation des modes de production et de consommation,
- l'utilisation rationnelle des ressources matérielles et de l'énergie,
- et la réduction des déchets et des polluants.

Toutes ces modifications contribuent à revitaliser et à diversifier les économies. Ces économies, qui à son tour, offrent des possibilités de création d'emplois, d'essor du commerce durable et de lutte contre la pauvreté. Autrement dit, ces économies doivent œuvrer pour une plus grande équité et une meilleure répartition des revenus.

## 1- Le choix d'un substitut :

La prise en compte d'une nouvelle approche de la croissance, à travers l'économie verte, correspond aux objectifs du développement durable. Cette nouvelle approche reflète une position intermédiaire entre la durabilité faible et la durabilité forte.

La gestion des ressources naturelles vise à diminuer les prélèvements sur les ressources naturelles et à réduire la pollution. Selon Robins et al. (2009), 15 % des sommes affectées aux plans de relance adoptés en début 2009 ont été consacrées à des investissements verts. Lesquels sont la promotion de l'efficacité énergétique, la gestion de l'eau, le traitement des déchets et techniques de dépollution, le développement d'énergies sobres en carbone.

Les activités de gestion des ressources naturelles portent sur cinq domaines auxquels s'ajoutent deux activités transversales:

- la gestion des ressources en eau,
- la gestion des forêts non cultivées,
- la gestion de la faune et de la flore sauvage,

- la gestion des ressources énergétiques (production d'énergies renouvelables et réduction des prélèvements de ressources énergétiques fossiles),
- la gestion des ressources minérales,
- la recherche et développement pour la gestion des ressources naturelles et des autres activités liées aux ressources naturelles (activités transversales).

Comme il est impossible de traiter en une section ou en un chapitre toutes ces activités de gestion, la suite du présent travail s'oriente vers la gestion des ressources énergétiques. Par ailleurs, la question d'énergie est l'objet d'étude même de ce mémoire.

En fonction de son impact sur l'environnement, une activité est qualifiée de « verte » en référence à une activité équivalente qui exerce une pression plus grande sur l'environnement (plus polluante ou plus consommatrice de ressources naturelles). C'est donc une notion relative, compte tenu d'un état donné des connaissances technologiques, des prix de production des différentes activités et des normes de consommation. Les produits dits « verts » sont le plus souvent des substituts dont l'usage est moins polluant que les produits conventionnels à une date donnée.

Les investissements en matière d'énergie renouvelable, composante-clé de l'Economie verte, augmentent de plus de 50 % par an depuis 2004<sup>26</sup>. La demande globale pour les énergies renouvelables n'a cessé d'augmenter au cours de 2011 et de 2012. Leur part représentait en 2011 pas moins de 19% de la consommation finale d'énergies mondiale (Wolf M. et al, 2013).

Etant donné que la France et l'Allemagne faisaient partie des pays victimes des chocs pétroliers, la suite de cette section traitera à travers ces deux pays les raisons de ce choix pour les énergies renouvelables. Selon Achim Steiner, Directeur Exécutif du PNUE (2013), « le dynamisme des énergies renouvelables se poursuit à travers le monde puisque les pays, entreprises et communautés se saisissent des synergies existantes entre économies vertes faibles en carbone, future accès à l'énergie et sécurité énergétique, modes de vie durables et un climat stable ».

- La nouvelle politique énergétique allemande :

En 2000, en raison de l'importance de ses besoins énergétiques, l'Allemagne prône pour les énergies renouvelables pour atteindre l'objectif pour son approvisionnement en

---

<sup>26</sup> Source : Agence Internationale de l'Energie, 2006 (Consulté le 04 janvier 2014 vers 11h).

énergie. L'objectif du Gouvernement fédéral est de doubler dans les dix prochaines années la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité. Autrement dit, il s'agit de faire passer la part de l'électricité renouvelable de 5 à 10 % du total en 2010<sup>27</sup>.

C'est avec la loi EEG de 1999 que la politique d'aide au développement des énergies renouvelables prend une dimension décisive. Cette loi comprend l'ensemble des dispositions prévues pour le rachat au demeurant obligatoire de l'électricité produite à partir de toutes les sources renouvelables (en particulier les prix de rachat et les obligations de raccordement).

En 2004, les quantités d'énergie produites à partir du vent et de la biomasse se sont multipliées respectivement par six et par trois. Les énergies renouvelables ont atteint la proportion de 3,6 % de la consommation d'énergie primaire (Trittin J., 2006).

En 2011, les renouvelables ont représenté en Allemagne 20,5% de la consommation électrique. En 2012, ces renouvelables ont été de 22.9% de la consommation électrique, 10.4% de la consommation de chaleur, et 12.6% de la consommation finale d'énergie (Wolf M. et al, 2013). Cependant, l'Allemagne a vu les investissements dans le secteur du renouvelable s'effondrer de 35% à 20 milliards de dollars; une conséquence directe de la chute des prix du solaire (Wolf M. et al, 2013).

- La réduction de la consommation française de pétrole :

La politique énergétique française vise à satisfaire deux critères fondamentaux : l'indépendance énergétique et le coût de l'énergie.

Entre 1973 et 1999, la part des combustibles fossiles dans l'approvisionnement total en énergie primaire de la France est passée de 94,7 % à 53,7 %<sup>28</sup>.

Les énergies renouvelables sont au centre de l'attention. Ces sources d'énergies devraient permettre de diversifier l'approvisionnement énergétique en respectant la contrainte d'indépendance énergétique.

La France, en substituant une partie des énergies non renouvelables par celles renouvelables, est arrivée à respecter le positionnement théorique de l'économie verte. L'intensité pétrole de la production française a baissé de 1,5 % par an en moyenne entre 1990 et 2008 (Wolf M. et al, 2013).

---

<sup>27</sup> Source : Energy Information Administration, 2000 (Consulté le 20 Novembre 2013 vers 16h)

<sup>28</sup> Source : Energy Information Administration, 2000 (Consulté le 20 Novembre 2013 vers 16h)

L'intensité matières est définie comme le rapport entre la consommation intérieure apparente de matières et le PIB<sup>29</sup>. En 1990, cette intensité s'établissait à 0,6 kg de matière utilisée par Euro de PIB. Entre 1990 et 2008, elle a diminué de 26 %, soit un gain annuel moyen de productivité matière de 1,7% (Wolf M. et al, 2013). En raison de l'augmentation de la production, la quantité totale de matières utilisée par l'économie française est néanmoins en hausse. En 2008, elle atteignait 893 millions de tonnes. La consommation par habitant étant proche de son niveau de 1990, autour de 14 tonnes par habitant (Wolf M. et al, 2013).

La quantité de pétrole nécessaire à la production d'un Euro de PIB dépend fortement de la structure de l'économie et de la répartition sectorielle de la production. Ainsi, la baisse de l'intensité pétrole en France est en partie imputable à la hausse du secteur tertiaire, moins consommateur d'énergie et donc de produits pétroliers, dans le PIB<sup>30</sup>.

En 2012, la part de la production d'électricité à partir de sources fossiles n'est que de 8,8 %. En 2010, cette proportion était de 10 % pour la France et de 51,5 % pour l'Union européenne<sup>31</sup>.

Le tableau suivant permet de détailler la production nette d'électricité en France par filières.

---

<sup>29</sup> Source : Insee, 2005 (consulté le 28 Février 2014 vers 9h)

<sup>30</sup> Source : Insee, 2005 (consulté le 28 Février 2014 vers 9h)

<sup>31</sup> Source : ADEME, 2013 (consulté le 26 Février 2014 vers 16h)

Tableau 1 : Production nette d'électricité en France en 2011 et 2012 par filières

Bilan énergétique France	2012 (TWh)	2011 (TWh)	Variation 2012/2011	Part dans la production 2012	Emissions de CO <sub>2</sub> 2012 (millions de tonnes)
<b>Production nette</b>	<b>541,4</b>	<b>543,0</b>	<b>-0,3%</b>	<b>100%</b>	<b>29,5</b>
<b>Nucléaire</b>	<b>404,9</b>	<b>421,1</b>	<b>-3,8%</b>	<b>74,8%</b>	<b>0,0</b>
<b>Thermique à combustible fossile</b>	<b>47,9</b>	<b>51,5</b>	<b>-7,0%</b>	<b>8,8%</b>	<b>26,4</b>
<i>dont charbon</i>	<i>18,1</i>	<i>13,4</i>	<i>35,1%</i>	<i>3,3%</i>	<i>17,4</i>
<i>fioul</i>	<i>6,6</i>	<i>7,6</i>	<i>-13,2%</i>	<i>1,2%</i>	<i>2,3</i>
<i>gaz</i>	<i>23,2</i>	<i>30,5</i>	<i>-23,7%</i>	<i>4,3%</i>	<i>6,7</i>
<b>Hydraulique</b>	<b>63,8</b>	<b>50,3</b>	<b>26,8%</b>	<b>11,8%</b>	<b>0,0</b>
<b>Eolien</b>	<b>14,9</b>	<b>12,1</b>	<b>23,1%</b>	<b>2,8%</b>	<b>0,0</b>
<b>Photovoltaïque</b>	<b>4,0</b>	<b>2,4</b>	<b>66,7%</b>	<b>0,7%</b>	<b>0,0</b>
<b>Autres sources d'énergies renouvelables</b>	<b>5,9</b>	<b>5,6</b>	<b>5,4%</b>	<b>1,1%</b>	<b>3,1</b>

Source : RTE-bilan électrique, 2012.

## 2- Les conséquences économiques, sociales et environnementales de l'option recueillie :

A la lignée de l'illustration précédente, cette sous-section abordera de manière explicite les impacts des choix de la France et de l'Allemagne.

- L'efficacité énergétique en France :

Les activités de l'économie verte ont employé environ 452 600 personnes en 2010 dont les deux tiers dans les activités marchandes des entreprises (Louati S. et al, 2013). La majorité des emplois des éco-activités est concentrée dans les activités de protection de l'environnement qui concernent près de 267 700 personnes (Louati S. et al, 2013). Les deux secteurs principaux sont la gestion des eaux usées et celle des déchets (près de 100 000 emplois chacun) (Louati S. et al, 2013). La gestion des ressources naturelles représente un quart des emplois (plus de 125 000), dont la moitié dans la production des énergies renouvelables (Louati S. et al, 2013).

À court terme, l'évolution de l'emploi dans les éco-activités est soutenue. Entre 2009 et 2010, les effectifs des éco-activités ont augmenté de 4,5% alors que dans l'ensemble de l'économie, ils étaient quasiment stables (+ 0,1 %) (Louati S. et al, 2013). La croissance des effectifs des activités vertes est particulièrement portée par le domaine des énergies renouvelables : + de 19 % entre 2009 et 2010. Dans ce domaine, le secteur photovoltaïque occupe le plus d'emplois, avec 14 000 équivalents temps pleins, devant la biomasse (13 300) et l'hydraulique (10 300) (Louati S. et al, 2013).

Malgré la diminution des tarifs d'achat et un crédit d'impôt développement durable moins avantageux, le secteur photovoltaïque reste très dynamique avec un doublement de son activité entre 2009 et 2010. Ceci est dû en partie à la diminution des marges et des coûts<sup>32</sup>.

À plus long terme, le secteur des activités de l'économie verte est aussi très dynamique. Les activités de protection de l'environnement et de gestion des ressources naturelles sont suivies statistiquement depuis 1997. Avant 2004 et l'uniformisation européenne du périmètre par Eurostat, les catégories utilisées avaient un champ plus étendu que maintenant. C'est le cas par exemple du domaine des eaux et eaux usées. Les biens comptabilisés n'étaient plus les mêmes qu'avant 2004. Environ, 25 000 emplois supplémentaires par an étaient comptabilisés dans l'activité « eaux et eaux usées ». Seul le domaine des déchets et de la récupération peut être convenablement suivi entre 1997 et 2010<sup>33</sup>. Par conséquent, du fait de ce changement de champ, la comparaison des emplois environnementaux avant et après 2004 est très délicate. Le commentaire qui suit se concentre donc sur la période postérieure à 2004.

Entre 2004 et 2010, le nombre d'emplois environnementaux (en équivalent-temps plein) a augmenté d'un peu plus de 20% à un rythme annuel moyen de 3,4% très supérieur à celui de l'ensemble des branches de l'économie (0,5 %) (Louati S. et al, 2013).

Après une croissance très forte entre 2004 et 2006, la hausse des emplois environnementaux a ralenti entre 2006 et 2007, principalement dans le domaine des déchets. L'emploi dans les usines d'incinération des ordures ménagères a en effet baissé de moitié entre 2006 et 2007 (1 500 emplois en 2007) (Louati S. et al, 2013).

Une directive européenne a fixé en 2006 un objectif pour le taux de réutilisation et de recyclage de 80% en 2006 puis 85% en 2007 (Louati S. et al, 2013). En conséquence, le

développement du tri sélectif s'est accompagné d'une diminution d'activités pour les usines d'incinération. En 2008, tiré par la très forte hausse des énergies renouvelables (+ 25,5% entre 2007 et 2008), l'emploi environnemental a crû significativement (+ 3,8 %) (Louati S. et al, 2013). En effet, l'année 2008 a été marquée par une forte accélération des installations de systèmes photovoltaïques. Cette forte accélération a été favorisée par l'adoption en juillet 2006 de tarifs d'achat très favorables (Louati S. et al, 2013). Le ralentissement constaté en 2009, consécutif à la crise économique, a eu moins de répercussions dans le secteur des activités de l'économie verte que dans l'ensemble de l'économie. Dès 2010, l'emploi dans les activités de l'économie verte repart à la hausse (+ 4,2%) (Louati S. et al, 2013). Cependant, dans le reste de l'économie, l'emploi se stabilise seulement. L'augmentation rapide de l'emploi en moyenne période indique clairement que le secteur « vert » répond à des besoins croissants. Cette augmentation est probablement pour une part imputable aux politiques menées au cours de la période. L'exemple des systèmes photovoltaïques montrent aussi l'importance des incitations fiscales.

- Les conséquences des énergies renouvelables en Allemagne :

En Allemagne, un million et demi de personnes travaillent pour l'environnement. Cela représente 3,87 % de la population active. Rien qu'en 2005, 13 000 nouveaux emplois ont été créés dans le secteur des énergies renouvelables (Trittin J., 2006). Ce qui correspond à une augmentation de 10 % par rapport à l'année précédente. Sans les réformes écologiques, nous aurions aujourd'hui plus de chômage, moins d'argent dans les caisses de l'État et une compétitivité moindre pour nos entreprises (Trittin J., 2006).

Globalement, par sa production d'énergie à partir du vent, de l'eau, du soleil, de la biomasse et de la géothermie, l'Allemagne économise environ 70 millions de tonnes de dioxyde de carbone, nuisible pour l'environnement. Cette production a généré en 2005 un chiffre d'affaires de 16,5 milliards d'euros. L'Allemagne est d'ailleurs le leader mondial sur le marché des installations éoliennes (Trittin J., 2006).

En bref, l'économie dépend largement des ressources naturelles (non renouvelables et renouvelables). Ces ressources constituent la base de l'activité économique.

A court terme, l'exploitation de telles ressources génère des avantages économiques. Mais à long terme, l'épuisement des ressources (notamment des ressources fossiles) diminue le potentiel de croissance économique et de développement. En conséquence, il est nécessaire

d'engager une transition énergétique (passage des énergies fossiles vers les énergies renouvelables). Ce passage d'une source d'énergie conventionnelle à d'autres sources d'énergie plus durables est conforme au concept de l'économie verte. Bien que l'économie verte soit un nouveau concept, il se trouve néanmoins que de nombreux exemples de politiques et d'initiatives ont réussi à travers différents pays. Dans les pays européens tels que la France et l'Allemagne, le domaine de l'énergie prouve qu'une économie verte orientée vers l'action est déjà en œuvre.

L'économie verte offre à ces pays des opportunités d'attirer des investissements dans les ressources environnementales et les énergies renouvelables. À terme, ces investissements sont bénéfiques pour le développement et permettront de réduire la pauvreté et de créer des emplois. Ces pays peuvent partager leurs expériences avec bien d'autres pays du monde en vue d'une croissance économique mondiale durable et de la protection de l'environnement.

#### CONCLUSION DU PREMIER CHAPITRE :

Depuis le milieu des années soixante, la pensée économique s'est trouvée véritablement confrontée avec la question de l'environnement. La conciliation des termes économie, environnement et bien-être aboutit au concept de développement durable. Ce dernier peut être appréhendé suivant deux approches : la durabilité faible et la durabilité forte.

Pourvu que le monde fait face à un risque d'épuisement des ressources naturelles (notamment des ressources fossiles), l'approche par la durabilité faible s'avère plus adaptée. Cette approche sous-entend la possibilité de substitution du capital naturel par les autres formes de capital. En outre, la recherche de substitut aux ressources fossiles était en particulier due aux crises pétrolières. Ces crises ont révélé au grand public que la dépendance vis-à-vis du pétrole pouvait entraîner une vulnérabilité de l'économie. En régulant le prix du pétrole sur les marchés des matières premières, les pays producteurs pouvaient influencer le cours du dollar et les possibilités d'exportation. Ces pays avaient ainsi directement pris sur le marché mondial. En réaction au choc de 1973, des modèles et des théories décrivant les modes d'allocation du capital naturel ont été élaborés. Hotelling (1931) a été à l'origine d'une vaste littérature montrant que l'évolution des prix doit suivre le taux d'intérêt. Un résultat intéressant de cette voie de recherche est que si la production est concurrentielle, le niveau des prix va être plus bas que dans l'hypothèse d'un monopole. La production renouvelable est apparue comme une solution. L'énergie renouvelable joue des grands rôles dans le développement dont entre autres : la diminution de la dépendance extérieure, la stabilisation

des coûts de production énergétique, le développement du secteur industriel et service soutenu par des progrès technologique et la protection de l'environnement.

L'enjeu est de parvenir à long terme à intégrer les contraintes environnementales sans pour autant que les surcoûts occasionnés empêchent ou réduisent la croissance économique. Dès lors, un débat peut être ouvert : « Le caractère épuisable du pétrole mènerait-il nécessairement à sa substitution aux énergies renouvelables ? ».

# CHAPITRE 2 : ENERGIES RENOUVELABLES ET SOUTENABILITE DE L'ECONOMIE

---

## CHAPITRE 2 : ENERGIES RENOUVELABLES ET SOUTENABILITE DE L'ECONOMIE

### INTRODUCTION DU SECOND CHAPITRE :

Le secteur de l'énergie est très important pour l'économie de chaque pays étant donné qu'il sous-entend la croissance économique et le développement. Plusieurs pays dans le monde ont commencé à adopter de nouvelles formes d'énergies : les énergies renouvelables. Les raisons de ce choix sont différentes. Lesquelles sont : la création d'emplois, la faible émission de carbone, la possibilité d'indépendance énergétique, etc.

L'expression « énergies renouvelables » est la forme courte et usuelle des expressions « sources d'énergies renouvelables » ou « énergies d'origine renouvelable » qui sont plus correctes d'un point de vue physique<sup>34</sup>.

L'objet de ce chapitre est de mettre en relief les différentes sortes d'énergies renouvelables et d'analyser leur soutenabilité dans le domaine économique.

Ce chapitre se subdivise en deux sections :

- La première section consiste à présenter les diverses énergies renouvelables. A chaque source d'énergie correspond un historique et une explication technique.
- La deuxième section insiste sur la soutenabilité des énergies renouvelables dans le domaine économique. Bien que les énergies renouvelables s'avèrent une solution pour la protection de l'environnement et pour la poursuite de la croissance économique, leur utilisation et leur installation ne sont pas sans faille. Elles demandent encore des efforts

### SECTION 1 : UN ETAT DES LIEUX DES ENERGIES RENOUVELABLES

Fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau, les marées ou encore la croissance des végétaux, les énergies renouvelables n'engendrent pas ou peu de déchets ou d'émissions polluantes. Elles participent à la lutte contre l'effet de serre et les rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Elles facilitent également la gestion raisonnée des ressources locales et génèrent des emplois. Le solaire (solaire photovoltaïque, solaire thermique), l'hydroélectricité, l'éolien, la biomasse, la géothermie sont des énergies à flux inépuisables

---

<sup>34</sup> Source : Energy Information Administration, 2000 (Consulté le 20 Novembre 2013 vers 16h)

par rapport aux « énergies stock » tirées des gisements de combustibles fossiles en voie de raréfaction : pétrole, charbon, lignite, gaz naturel. Dans l'univers des énergies renouvelables, quelques questions sont susceptibles d'être posées : Quelles sources d'énergies ? Pour quels besoins ? Comment les capter, les transformer ? Sous quelle forme les utiliser ?<sup>35</sup>

## 1- L'énergie solaire :

L'énergie solaire est inépuisable, gratuite et non polluante. Même si l'énergie solaire reçue par la terre est d'intensité variable, intermittente et peu dense, son utilisation offre de nombreuses possibilités.

Parmi ses nombreuses applications, on distingue :

- le solaire thermique qui transforme le rayonnement solaire en chaleur et
- le solaire photovoltaïque qui convertit la lumière en électricité.

- Le solaire thermique :

C'est une technologie utilisant l'énergie du soleil pour fournir de l'eau chaude (ou du chauffage) aux maisons et aux piscines.

Dans les conditions terrestres, le rayonnement thermique se situe entre 0,1 et 100 micromètres<sup>36</sup>. Il se caractérise par l'émission d'un rayonnement au détriment de l'énergie calorifique du corps émetteur. Ainsi, un corps émettant un rayonnement thermique diminue son énergie calorifique et un corps recevant un rayonnement thermique augmente son énergie calorifique. Le soleil émet principalement dans le rayonnement visible, entre 0,4 et 0,8 micromètre<sup>37</sup>. En rentrant en contact avec un corps, le rayonnement solaire augmente la température de ce corps. On parle alors d'énergie solaire thermique. Cette source d'énergie est connue notamment par le fait de se positionner à un endroit ensoleillé pour se réchauffer.

L'énergie thermique peut être utilisée directement ou indirectement :

---

<sup>35</sup> Source : Energy Information Administration, 2000 (Consulté le 20 Novembre 2013 vers 16h)

<sup>36</sup> Source : Agence Internationale de l'Énergie, 2006 (Consulté le 04 janvier 2014 vers 11h).

<sup>37</sup> Source : Agence Internationale de l'Énergie, 2006 (Consulté le 04 janvier 2014 vers 11h).

- directement pour chauffer des locaux ou de l'eau sanitaire (panneaux solaires chauffants et chauffe-eau solaire) ou des aliments (fours solaires),
- indirectement pour la production de vapeur d'un fluide caloporteur pour entraîner des turbines et ainsi obtenir une énergie électrique (énergie solaire thermodynamique).

L'énergie solaire thermique peut également être utilisée pour la cuisine. Apparue dans les années 1970, la cuisine solaire consiste à préparer des plats à l'aide d'un cuiseur ou d'un four solaire. Les petits fours solaires permettent des températures de cuisson de l'ordre des 150 °C. Les paraboles solaires permettent de faire les mêmes plats qu'une cuisinière à gaz classique ou électrique<sup>38</sup>.

- Le solaire photovoltaïque

Le mot « Photovoltaïque » est la combinaison de deux mots: « photo », mot d'origine grecque qui signifie lumière et « voltaïque », qui vient de « volt » et représente l'unité utilisée pour mesurer le potentiel électrique<sup>39</sup>.

L'énergie photovoltaïque se base sur l'effet photoélectrique pour créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique. Cette source de lumière peut être naturelle (soleil) ou-bien artificielle (une ampoule). L'énergie photovoltaïque est captée par des photovoltaïques. Ces cellules sont des composants électroniques qui produisent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Plusieurs cellules peuvent être reliées pour former un module solaire photovoltaïque ou un panneau photovoltaïque. Une installation photovoltaïque connectée à un réseau d'électricité se compose généralement de plusieurs panneaux photovoltaïques. Leur nombre peut varier d'une dizaine à plusieurs milliers.

Il existe plusieurs technologies de modules solaires photovoltaïques :

- les modules solaires monocristallins possèdent le meilleur rendement au m<sup>2</sup> et sont essentiellement utilisés lorsque les espaces sont restreints et pour optimiser la production d'une centrale photovoltaïque.

---

<sup>38</sup> Source : Agence Internationale de l'Energie, 2006 (Consulté le 04 janvier 2014 vers 11h).

<sup>39</sup> Source : Energy Information Administration, 2000 (Consulté le 20 Novembre 2013 vers 16h)

- les modules solaires poly-cristallins représentent une technologie proposant des rendements plus faibles que la technologie monocristalline.

- les modules solaires amorphes sont des panneaux solaires proposant un rendement largement inférieur aux modules solaires cristallins. Cette solution nécessite en effet une plus grande surface pour la même puissance installée.

En France, l'énergie photovoltaïque est produite par de nombreux opérateurs (particuliers, propriétaires de bâtiments industriels ou agricoles...). Ces opérateurs vendent l'électricité produite à des conditions tarifaires régies par la loi. Les tarifs de rachats sont fixés par le législateur, de façon à stimuler l'investissement par ces opérateurs.

Pendant longtemps, le Japon a été le plus grand producteur de ce type d'énergie sur la planète. Mais actuellement, l'Allemagne est en train de le rattraper ou de le dépasser même (Wolf M. et al, 2013).

## 2- L'énergie hydraulique :

L'énergie hydraulique est la plus exploitée des énergies renouvelables. En effet en 2006, la production mondiale d'électricité d'origine hydraulique est de 3137,3 TWh (Téra Watt par heure), soit 89,0% comparé à 11% pour les cinq (5) autres sources d'électricité d'origine renouvelable<sup>40</sup>.

Généralement, on distingue deux sortes d'énergies hydrauliques : les grandes hydrauliques et les petites hydrauliques.

Les grandes centrales hydroélectriques permettent de réguler la production d'électricité en injectant l'électricité dans le réseau en fonction des besoins.

Les petites centrales hydroélectriques (ou microcentrales) souvent installées en site isolé, permettent de répondre aux besoins d'une ou plusieurs habitations, d'une exploitation agricole, d'un atelier d'artisan.

Les énergies hydrauliques proviennent généralement de sources marines :

- L'énergie des vagues : elle est produite par le mouvement des vagues et peut être captée par des dispositifs tels le Pélamis (sorte de vers en métal articulé) ou le Searev. Leur puissance correspond à celle d'une petite éolienne.

---

<sup>40</sup> Source : Observ'ER, 2007 (Consulté le 18 Octobre 2013 vers 14h)

- L'énergie marémotrice : elle est produite par le mouvement de l'eau créé par les marées (variations du niveau de la mer, courants de marée),
- L'énergie hydrolienne : elle est issue de l'utilisation des courants sous-marins,
- L'énergie thermique des mers : elle est produite en exploitant la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans,
- L'énergie osmotique : elle a pour origine la diffusion ionique qui a lieu lors de l'arrivée et du mélange d'eau douce dans l'eau salée de la mer. L'idée remonte aux années 1970, c'est donc une énergie nouvelle. L'énergie osmotique consiste à tirer parti du phénomène d'osmose qui se produit lors du mélange d'eau de mer et d'eau douce (grâce à leur salinité différente). La première centrale osmotique a été ouverte à Hurum en Norvège par la société Statkraft à l'embouchure du Fjord d'Oslo au bord de la Mer du Nord. Il s'agit encore d'un prototype destiné à tester la fiabilité du processus et à en améliorer le rendement. Pourtant l'ouverture d'une première centrale industrielle est prévue pour 2015. Une centrale de la taille d'un terrain de football pourrait produire de l'électricité pour 30 000 ménages. D'après l'entreprise, à terme 50% de la production électrique de l'Union Européenne pourrait être d'origine osmotique<sup>41</sup>.

### 3- L'énergie éolienne :

L'activité solaire est la principale cause des phénomènes météorologiques. Ces derniers sont notamment caractérisés par des déplacements de masses d'air à l'intérieur de l'atmosphère. C'est l'énergie mécanique de ces déplacements de masses d'air qui est à la base de l'énergie éolienne. L'énergie éolienne consiste ainsi à utiliser cette énergie mécanique.

Des voiliers ont été utilisés dès l'Antiquité, comme en témoigne la Barque solaire de Khéops. Jusqu'au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, l'essentiel des déplacements nautiques à moyenne et longue distance se sont faits grâce à la force du vent<sup>42</sup>.

L'énergie éolienne a aussi été vite exploitée à l'aide de moulins à vent équipés de pales en forme de voile, comme ceux que l'on peut voir aux Pays-Bas. Ces moulins utilisent l'énergie mécanique pour actionner différents équipements. Les moulins des Pays-Bas

---

<sup>41</sup> Source : Energy Information Administration, 2000 (Consulté le 20 Novembre 2013 vers 16h)

<sup>42</sup> Source : Agence Internationale de l'Energie, 2006 (Consulté le 04 janvier 2014 vers 11h).

actionnent directement des pompes dont le but est d'assécher ou de maintenir secs les polders du pays.

Aujourd'hui, ce sont les éoliennes qui prennent la place des moulins à vent. Les éoliennes transforment l'énergie mécanique en énergie électrique, soit pour l'injecter dans un réseau de distribution soit pour être utilisée sur place. Pour résoudre le problème d'espace, les éoliennes sont de plus en plus souvent placées en mer

L'éolien se développe également de plus en plus à l'échelle individuelle. En effet, le petit éolien devient très rentable. Les fabricants proposent des génératrices de plus en plus performantes, et aux prix de plus en plus abordables.

#### 4- La biomasse :

La biomasse désigne la masse totale de matière vivante (végétaux, animaux, micro-organismes) présente dans un écosystème donné. La biomasse représente une énergie potentielle accumulée sous forme biochimique<sup>43</sup>.

Indirectement, il s'agit d'énergie solaire stockée sous forme organique grâce à la photosynthèse. La biomasse est exploitée par combustion ou métabolisation. Cette énergie est renouvelable à condition que les quantités brûlées n'excèdent pas les quantités produites. Cette condition n'est pas toujours remplie. On peut citer notamment le bois et les biocarburants. Des cyanobactéries modifiées pourraient convertir de l'énergie solaire en carburant et consommer du CO<sub>2</sub>. Cette technique et l'utilisation de ce carburant équilibreraient la production et la consommation de CO<sub>2</sub>.

On distingue trois grands secteurs de mise en valeur de la biomasse :

- le bois-énergie : les applications utilisant le bois comme combustible vont des installations individuelles (cheminée, insert ou chaudière) aux réseaux de chauffage urbain ou industriel. Ces derniers utilisent du bois broyé, sciure, copeaux, écorces, paille... Un volume de plantation supérieur à l'abattage et des technologies plus performantes pour réduire la consommation de combustible, un élément essentiel pour une mise en valeur cohérente du bois énergie

---

<sup>43</sup> Source : Energy Information Administration, 2000 (Consulté le 20 Novembre 2013 vers 16h)

- les biocarburants : le blé, la betterave, le colza ou le tournesol permettent de produire des carburants (éthanol et biodiesel) dont le rendement et les bénéfices pour l'environnement sont appréciables.

- le biogaz : le processus de production de biogaz résulte de la digestion de matières organiques par des bactéries. Les déchets de l'agro-industrie, de l'agriculture, des décharges d'ordures ménagères ou des boues issues des eaux usées, peuvent par fermentation produire chaleur et électricité.

## 5- La Géothermie :

La géothermie consiste à capter l'énergie thermique emmagasinée dans les couches profondes de l'écorce terrestre ou dans le sol afin de l'utiliser sous forme de chauffage ou de la transformer en électricité<sup>44</sup>.

Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie profonde ne dépend pas des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent).

On distingue quatre formes de géothermie : la haute, la moyenne, la basse et la très basse énergie :

- La géothermie haute énergie permet d'exploiter des centrales géothermiques de forte puissance, qui sont le plus souvent installées dans des régions volcaniques.

- La géothermie de moyenne et basse énergie permet d'assurer en totalité ou en partie le chauffage urbain de milliers de logements ou le fonctionnement d'équipements industriels.

- La géothermie de très basse énergie, ou géothermie domestique permet de chauffer des habitations grâce à des pompes à chaleur géothermique.

En bref, les énergies renouvelables prennent de multiples formes. Leur développement constitue un enjeu fondamental dans un contexte de consommation croissante des ressources à l'échelle mondiale et d'épuisement des ressources fossiles.

La consommation finale brute d'énergies renouvelables est constituée d'électricité, de chaleur et de biocarburants. Le tableau ci-après présente à la fois les différentes sortes d'énergies renouvelables et les cinq premiers pays producteurs de chacune d'entre elles.

---

<sup>44</sup> Source : Energy Information Administration, 2000 (Consulté le 20 Novembre 2013 vers 16h)

Tableau 2 : Capacité de production des énergies renouvelables à la fin 2011

Rang	Capacité électrique issue de la biomasse	Capacité électrique géothermique	Capacité hydroélectrique	Capacité photovoltaïque solaire	Capacité électrique éolienne
1	Etats-Unis	Etats-Unis	Chine	Allemagne	Chine
2	Brésil	Philippines	Brésil	Italie	Etats-Unis
3	Allemagne	Indonésie	Etats-Unis	Japon	Allemagne
4	Chine	Mexique	Canada	Espagne	Espagne
5	Suède	Italie	Russie	Etats-Unis	Inde

Source : REN 21, 2012

## SECTION 2 : ANALYSE DE LA SOUTENABILITE DES ENERGIES RENEUVELABLES DANS LE DOMAINE ECONOMIQUE.

Les avantages économiques et écologiques de l'utilisation des énergies renouvelables sont indéniables. Par ailleurs, plusieurs études laissent penser qu'il serait possible de répondre en 20 à 40 ans à tous les besoins énergétiques par des sources renouvelables. Cependant, des difficultés écologiques et surtout économiques dans leurs installations existent encore. En effet, la suite du présent document permet de décrire les obstacles dans la mise en œuvre de ces sources d'énergies renouvelables et la politique permettant de les développer en vue d'une soutenabilité économique.

### 1- Les contraintes dans sa généralité :

La mise en œuvre concrète des énergies renouvelables se confronte à des contraintes d'environnement et de marché, de gouvernance et au cadre du droit, qui toutes évoluent.

- Nuisances et pollutions :

Le terme d'énergie renouvelable est souvent assimilé à celui d'énergie propre. Cependant, la définition est différente : une énergie propre ne produit pas de polluant, ou bien

elle produit des polluants qui disparaissent rapidement sans conséquences pour l'environnement. Une énergie renouvelable n'est pas nécessairement propre, et inversement. Par exemple, la collecte et la combustion de la biomasse peut produire des nuisances (piétinement, réduction de biodiversité, etc.) et des polluants (NOx, suies, etc., c'est notamment le cas de la biomasse solide comme le bois). En effet, il n'y a que des sources d'énergie plus ou moins nuisibles suivant les circonstances.

- Disponibilité :

La plupart des énergies renouvelables dépendent du milieu et ne sont pas disponibles tout le temps ou à des coûts économiquement acceptables, en particulier l'énergie solaire.

- Impact sur le réchauffement climatique :

Lorsqu'on ne tient pas compte du potentiel de réduction des émissions de GES des modes actuels de production et d'utilisation de l'énergie, les énergies renouvelables sont parfois présentées comme une solution au problème du réchauffement climatique. En réalité, il faut considérer deux aspects complémentaires des politiques de la maîtrise de l'énergie : les économies d'énergie d'une part et les énergies renouvelables d'autre part. Le but est de diminuer la consommation d'énergies fossiles. Selon Jean-Marc Jancovici (2002), le développement des énergies renouvelables ne suffira pas à éviter une importante diminution des consommations d'énergie : « malgré les renouvelables, des changements de nos modes de vie lui semblent nécessaires ».

- Coûts d'installations élevés :

Tableau 3 : Fourchettes des coûts moyens actualisés de production par filière

<b>Filières</b>	<b>Coûts de production en Euro / MWh (Actualisation : 8%)</b>
<b>Solaire thermique</b>	195-689
<b>Solaire photovoltaïque</b>	114-547
<b>Solaire thermodynamique</b>	94-194
<b>Eolien en mer</b>	87-116
<b>Eolien terrestre</b>	62-102
<b>Méthanisation</b>	61-241
<b>Biomasse</b>	56-223
<b>Géothermie</b>	50-127
<b>Hydroélectricité</b>	43-188

Source : ADEME, 2013.

L'énergie solaire est globalement très largement plus coûteuse que les autres sources d'énergie avec, en outre, un large éventail de coûts de production (94 à 689 €/MWh).

La filière éolienne terrestre apparait, selon les chiffres de l'ADEME, dans une position intermédiaire, avec des coûts compris entre 62 € et 102 €/MWh.

Enfin, tout en présentant des exceptions liées à la nature des installations (biomasse individuelle, méthanisation, hydroélectricité de petites et moyennes capacités par exemple), les coûts de production d'énergie à partir de la biomasse, de la géothermie ou de la puissance hydraulique sont globalement les moins élevés.

- Nécessités de recherche-développement et d'innovations :

Tableau 4 : Montant des dépenses de R&D de 2002 à 2010 de plusieurs pays en Euros constants (base €\$ 2010)

<b>En M€(valeur et taux de change €\$ de 2010)</b>	<b>Royau me-Uni</b>	<b>Corée</b>	<b>France</b>	<b>Italie</b>	<b>Allema gne</b>	<b>Japon</b>	<b>Etats- Unis</b>
<b>Energies renouvelables</b>	623,1	458,6	628	528,8	994,5	1636,7	4476,9

Source : AIE, 2013.

Sur la période 2002 à 2011, les dépenses totales de recherche et développement peuvent être estimées au moins à 1,7 Md€ Ces dépenses incluent des dépenses afférentes à des programmes qui ne concernent pas spécifiquement les énergies renouvelables mais ont un lien avec leur développement.

Sur la même période, les coûts de recherche strictement limités aux énergies renouvelables sont estimés à environ 840 M€

Comparé à d'autres pays, l'effort de recherche français occupe une place médiane mais la France reste distancée en valeur absolue par d'autres grandes puissances économiques (Allemagne, Japon, États- Unis).

- Obstacles au développement du marché des EnR :

Le marché de l'énergie renouvelable globale est entravé par un certain nombre de facteurs :

- Le profil bas de la technologie d'EnR : Par rapport à l'impact et la concentration sur les autres secteurs énergétiques, les technologies des énergies renouvelables ont un profil très bas. Ce dernier est partiellement dû au manque d'informations sur le potentiel et l'impact des EnR ainsi qu'à l'insuffisance d'expériences pratiques surtout dans les pays sous-développés.

- Le faible niveau de développement industriel : Le faible niveau d'industrialisation limite la croissance du développement du marché orienté vers la technologie. Les structures d'appui technique sont nécessaires pour le développement des produits pour les installations des énergies renouvelables.

- L'absence de cadre d'investissement en EnR : Le développement d'un tel cadre facilitera la quantification du marché et le positionnement des investissements.

- La perception d'un risque d'investissement en EnR : Le manque d'informations et les idées préconçues ont comme résultat un risque jugé élevé.

- Les obstacles perçus par les investisseurs : L'absence d'incitations adéquates est considérée comme un risque élevé qui entrave le développement du marché.

- Une vue générale du système PV comme une technologie de qualité inférieure et de pré-électrification. Le manque d'informations et d'idées préconçues au sujet du potentiel des PV comme une technologie d'électrification rurale a un effet modérateur sur le développement du marché.

- Un grand nombre de projets d'EnR sont financés par des bailleurs de fonds. Le financement des bailleurs de fonds sert à financer des biens d'équipement. Or, le gouvernement ou la communauté ne sont pas en mesure de gérer et d'entretenir les installations d'EnR. Peut-être qu'ils ne comprennent même pas l'importance de le faire.

## 2- Les contraintes selon le type d'énergie renouvelable :

- L'énergie solaire :

L'énergie solaire n'est disponible que de jour (soit 50 % du temps en moyenne sur une année) ou durant certains mois quand on se rapproche des pôles.

Par rapport aux installations classiques, un équipement utilisant l'énergie solaire est caractérisé par des frais d'investissement élevés et des frais d'exploitation relativement limités. Le fonctionnement journalier est systématiquement intermittent. En conséquence, l'utilisation annuelle est faible.

En définitive, la rentabilité d'une installation solaire est étroitement liée au lieu de son implantation. Une installation solaire devra donc faire l'objet d'une étude dans chaque cas particulier. Pour le cas des usines génératrices électriques, un examen objectif des données économiques actuelles montre qu'une telle installation serait encore très loin de pouvoir concurrencer les grandes usines génératrices classiques. La production de l'électricité en grande quantité, à l'échelle industrielle et à des conditions compétitives, paraît en effet encore bien lointaine. Aucune hypothèse ne peut être faite quant à l'emploi de l'énergie solaire, à cette fin, dans les zones ensoleillées du monde.

Pour les usines génératrices électriques, le chauffage domestique de l'eau est économique dans de nombreuses régions bien ensoleillées. Cependant, la clientèle particulière peut reculer parfois devant le prix relativement élevé de l'installation et la nécessité fréquente d'un chauffage d'appoint. Le chauffage des habitations semble avoir une gamme d'applications plus étroite. C'est l'une des difficultés essentielles qui réside dans l'obtention d'une certaine autonomie ou la nécessité de disposer d'un chauffage d'appoint.

Un des problèmes aussi est que le coût de fabrication des cellules PV est très élevé alors que leur rendement reste faible. De plus, les panneaux PV doivent être associés à des batteries pour le stockage de l'électricité qui ne se produit que le jour, et à condition d'avoir un rayonnement solaire suffisant. En conséquence, l'énergie produite est, non seulement,

dépendante de la situation géographique et météorologique, mais aussi, cette énergie requiert des investissements initiaux importants.

Par ailleurs, certaines études pointent des impacts environnementaux non négligeables (le recyclage des cellules) et affirment que l'énergie utilisée pour la fabrication des cellules PV n'est jamais rentabilisée durant les 20 années de production.

S'agissant du solaire thermique, il reste néanmoins une énergie coûteuse par rapport au chauffage par énergie fossile en raison du montant élevé des investissements et d'un retour sur investissement assez long (de 10 à 15 ans). La durée de vie des panneaux est quant à elle limitée à 20 ans environ<sup>45</sup>.

- L'énergie hydraulique :

L'installation de ce type d'énergie n'est pas sans impacts sur l'écologie car :

- les rives sont des éléments indispensables des écosystèmes,
- les barrages portent atteinte à la biodiversité et menacent d'extinction des espèces aquatiques aussi bien que terrestres.

De plus, les coûts d'investissement sont énormes.

- L'énergie éolienne :

Avec les technologies d'aujourd'hui, en occupant 0,4 %<sup>46</sup> de la surface du globe, l'installation d'une source d'énergie éolienne nécessite :

- un coût à peu près comparable à celui des énergies fossiles et nucléaires,
- mais avec un effort de transformation des réseaux de production, de stockage et de transport de l'énergie très important,
- ce qui demande une forte volonté sociétale et politique.

Le principal inconvénient de cette source d'énergie renouvelable est son manque de flexibilité et son inconstance. Le vent ne souffle pas forcément quand on en a besoin. En moyenne, une éolienne ne tourne à sa puissance nominale qu'un cinquième (1/5) du temps sur

---

<sup>45</sup> Source : Agence Internationale de l'Energie, 2006 (Consulté le 04 janvier 2014 vers 11h).

<sup>46</sup> Source : Energy Information Administration, 2000 (Consulté le 20 Novembre 2013 vers 16h)

une année. Il convient alors de diviser par cinq (5) la puissance installée pour obtenir la puissance réelle moyenne, donc l'énergie fournie par l'installation.

Quant aux aspects économiques, ils restent incertains, dans la mesure où l'estimation de la quantité d'énergie récupérable est difficile à déterminer. Néanmoins, il est important de savoir que les problèmes de coûts résultent dans la plus part des cas, des problèmes de choix politiques et financiers. Mais pour les pays pauvres, la difficulté majeure réside souvent dans les frais d'investissements initiaux.

Concernant l'éolienne Offshore, elle permet de produire d'énorme puissance électrique (plus de 10MW par unité) qui entraînera par la suite la baisse des coûts d'investissement. Toutefois, l'éolienne Offshore coûte 1,5 fois à 2 fois plus chère que l'éolienne terrestre<sup>47</sup>.

- La Biomasse :

C'est grâce au phénomène de la photosynthèse que les plantes ont le pouvoir de réaliser la synthèse des matières végétales à partir de l'eau et du gaz carbonique.

Si l'épuisement des ressources en combustibles classiques pousse les hommes à mettre au point l'utilisation de nouvelles sources d'énergie, l'augmentation continue de la population terrestre les incite également à chercher à accroître leurs ressources alimentaires.

Des recherches ont montré que les phénomènes de photosynthèse naturels pouvaient être accélérés. Le rendement énergétique de l'opération peut être augmenté, en choisissant certaines plantes et en les soumettant à un traitement approprié. Des résultats très intéressants ont déjà été obtenus, notamment au Japon, aux États-Unis, en Allemagne et en France. Ces pays ont cultivé, dans des conditions favorables, certaines algues microscopiques appelées chlorelles. Ces dernières sont riches en protéines et en vitamines. Elles étaient déjà utilisées au Japon à des fins alimentaires. Les chlorelles présentent le très grand intérêt de ne nécessiter que des quantités d'eau relativement réduites. Ce qui est particulièrement précieux dans les régions du globe très ensoleillées mais pauvres en eau, comme le Sahara. Le développement d'une technique orientée vers la production de nourriture peut donner un jour une substance végétale combustible. Cette substance végétale est alors d'exploitations de type industriel où les cultures se feraient dans l'eau. Les substances végétales pourraient donc ne plus apparaître, comme elles le sont aujourd'hui dans beaucoup de pays.

---

<sup>47</sup> Source : Energy Information Administration, 2000 (Consulté le 20 Novembre 2013 vers 16h)

Le recours intensif à la biomasse engendrerait mécaniquement des phénomènes de déforestation. De même, la culture intensive de végétaux présenterait les mêmes inconvénients que l'agriculture intensive. Ainsi, la production à grande échelle de biocarburant (à partir de colza, de betterave, ou de canne à sucre) implique le recours massif aux engrais. En conséquent, cela aboutirait à la pollution des sols et des eaux ainsi que l'érosion des sols. Au Brésil, pays pionner des biocarburants, chaque litre d'éthanol produit treize litres de résidus hautement polluants<sup>48</sup>. L'utilisation de la biomasse représente une réelle alternative au pétrole, pourtant sa généralisation causerait inévitablement des impacts écologiques considérables.

- La Géothermie :

Les problèmes à l'installation de cette forme d'énergie sont les suivants : coûts élevés des investissements, nombre de site limité, corrosion de l'eau géothermale. Dans tous les cas, il faudrait que les recherches continuent pour que cette énergie soit rapidement utilisable et admise dans le grand public. Actuellement, la géothermie commence seulement à se développer.

### 3- L'adoption des politiques d'accompagnement aux énergies renouvelables :

- Prise en compte des externalités environnementales :

La prise en compte des externalités environnementales est essentielle pour apprécier les impacts des énergies renouvelables. Ces externalités environnementales doivent permettre d'atténuer le coût pour la collectivité : internalisation des coûts externes.

Cette action d'internalisation est concrétisée par une redevance spécifique (impôt exprimé en UM/Unité produite).

La redevance est l'outil incitatif le plus important car la quantité de production d'une entreprise ou d'une industrie n'est pas limitée. L'Entreprise décide elle-même la quantité qu'elle pense produire en fonction de la redevance.

---

<sup>48</sup>Source : Energy Information Administration, 2000 (Consulté le 20 Novembre 2013 vers 16h)

La société dans son ensemble est gagnante de cette mesure économique. La somme des bénéfices formés par la diminution des dommages et par la recette de la redevance est supérieure à la diminution des surplus de consommateurs<sup>49</sup>. Pour Coase R. (1960), l'internalisation des effets externes peut être obtenue sans intervention de l'Etat autre que l'établissement de droits de propriété et par la seule négociation marchande entre les pollués et les pollueurs quelque soit la répartition initiale des droits entre eux. Chaque agent économique est incité à se procurer des droits à polluer tant que leur coût marginal reste inférieur à celui des mesures de dépollution. L'optimum social serait atteint puisque les prix des droits à polluer s'élèvent au fur et à mesure que les contraintes environnementales s'aggravent.

- Valorisation du carbone :

La fiscalité est aussi un moyen pour valoriser le carbone à un coût permettant de rentabiliser les productions d'énergies renouvelables. Elle présente l'avantage pour les finances publiques d'enregistrer une recette<sup>50</sup>.

- Octroi de certificats vert :

L'État, en soumettant les producteurs d'énergie à une obligation de production d'énergie renouvelable, leur accorde des certificats verts (comme au Royaume-Uni), en échange des MWh produits. Les certificats s'échangent ensuite sur un marché entre producteurs. Ceux d'entre eux n'ayant pas rempli leur quota devant en acquérir auprès de ceux qui les ont dépassés. Si l'offre est faible (peu d'énergie renouvelable a été produite), leur prix est élevé. En effet, les producteurs seront inciter à investir dans les énergies renouvelables<sup>51</sup>.

Cependant, pour rendre le système efficace, l'État doit garantir un prix minimum du certificat vert.

---

<sup>49</sup> Le surplus de consommateurs correspond à la somme maximale qu'un consommateur accepte de payer pour une quantité donnée d'un bien moins qu'il doit effectivement verser (Alfred Marshall, 1925).

<sup>50</sup> Source : CEA mémento de l'énergie, 2012

<sup>51</sup> Source : CEA mémento de l'énergie, 2012

- Réforme des politiques nuisibles :

Les subventions accordées par l'Etat peuvent coûter cher à l'économie et à la société, sans forcément atteindre les objectifs politiques souhaités si elles ne sont pas bien conçues. Selon Sterner, (2001), les subventions aux combustibles fossiles ne profitent pas souvent aux personnes démunies et qu'elles nuisent également à l'investissement dans les énergies renouvelables. L'Etat doit plutôt investir dans les recherches et développement afin de stimuler l'investissement privé. Mais également, il est au devoir de l'Etat de mettre en place les infrastructures adéquates et le cadre juridique favorables à l'essor des énergies renouvelables.

- Ouverture au commerce mondial :

Le commerce est un moyen d'établir un lien entre la production et la consommation. Pour assurer la transition vers une économie avec énergies renouvelables, une large gamme de produits et technologies sont accessibles à travers le commerce régional et/ou international. En conséquence, il est nécessaire pour les gouvernements de s'assurer que les marchés sont ouverts aux consommateurs afin que ces derniers puissent accéder à ces biens et technologies<sup>52</sup>.

- Réallocation du capital (naturel, humain, physique) dans le domaine des énergies renouvelables. Ce domaine, qui, par la suite peut stimuler la croissance durable et créer des emplois.

- Renforcement des institutions et organisation des processus de réalisation de la politique d'accompagnement aux énergies renouvelables :

Le renforcement des institutions joue un rôle essentiel dans la formulation et le soutien à la mise en œuvre des stratégies et politiques de l'économie verte. Une transition vers une économie avec de nouvelles options ne peut pas être conduite par les agences gouvernementales seulement. Cette transition est plutôt menée par une action coordonnée

---

<sup>52</sup> Source : CEA mémento de l'énergie, 2012

impliquant les hommes politiques et les décideurs venant de nombreux secteurs du gouvernement<sup>53</sup>.

Les institutions sont déterminantes pour ce qui est d'intégrer les nouvelles dépenses et les nouvelles politiques dans les stratégies et les politiques nationales de développement. En outre, de nouvelles formes institutionnelles qui s'appuient sur la participation des secteurs privé et public, les connaissances locales des communautés, pourraient susciter un large soutien pour une transformation économique verte. Selon Mohan G. (2007), pour que la participation à des activités économiques vertes puisse devenir efficace et susciter la transformation, elle doit être encouragée en tant que forme de citoyenneté active, aux côtés du principe de responsabilité. Les résultats des processus participatifs doivent ensuite être matérialisés en politiques qu'il est possible de mettre en œuvre, de sorte que la participation du public puisse être significative (Resnick D. et Birner R., 2010).

En bref, les contraintes de l'installation des sources d'énergies renouvelables sont les suivantes :

- La disponibilité des renouvelables dépend en grande partie de la situation géographique et des conditions météorologiques.
- Leur rentabilité est fonction de leur implantation qui nécessite des coûts d'investissement énormes.
- Le manque de perspectives et d'initiatives de la part des gouvernements qui décourage l'accomplissement définitif des projets sur les renouvelables.
- L'insuffisance de financement et d'investissements initiaux surtout dans les pays sous-développés.
- La possibilité d'une dégradation de l'environnement : disparition des végétaux, extinction des espèces aquatiques, la détérioration de la nappe phréatique, etc.
- Le manque d'expériences et de savoir-faire concernant l'installation et le développement des énergies renouvelables.
- Les entraves à l'égard du marché des EnR.

Compte tenu de toutes ces contraintes, des études sur la soutenabilité des énergies renouvelables ont été menées. La soutenabilité économique peut être assurée par les énergies renouvelables à condition d'en adopter une bonne politique de soutien.

---

<sup>53</sup> Source : CEA mémento de l'énergie, 2012

## CONCLUSION DU SECOND CHAPITRE :

Les énergies renouvelables sont habituellement classées en cinq grandes familles en fonction de la source d'énergie initiale : soleil, vent, eau, biomasse ou sol.

L'Europe, l'Amérique du Nord et la Chine ont connu une importante augmentation des installations de production électrique par énergie solaire ces dernières années. Mais la place de l'énergie solaire, qui représente seulement 2 % de la génération électrique renouvelable, reste encore marginale jusqu'à aujourd'hui (Wolf M. et al, 2013).

Première source d'énergie renouvelable au monde, l'hydroélectricité a fourni à elle seule 17 % de l'électricité mondiale en 2012. L'hydroélectricité est aussi l'une des mieux réparties sur la planète (Wolf M. et al, 2013). La hausse de 20 % en 2012 des capacités éoliennes mondiales prouve le dynamisme de cette filière, présente en Europe, en Amérique du Nord et en Asie. En 2012, la Chine est devenue le pays détenant la plus grande puissance éolienne installée. Ce pays est d'ailleurs le leader mondial sur le marché des énergies renouvelables cette année-là avec une augmentation de 22% équivalent à des investissements de 67 milliards de dollars en 2012 (Wolf M. et al, 2013).

Principalement issue du bois, la biomasse est en essor dans les pays du Nord de l'Europe. La biomasse génère électricité et chaleur.

Concernant la géothermie, grâce à ses faibles coûts d'exploitation, cette source d'énergie offre de l'électricité et de la chaleur à bas prix aux pays émergents réunissant les bonnes conditions géologiques.

La nouvelle la plus positive parmi les pays développés vient du Japon. Les investissements de ce pays dans les énergies renouvelables, sans compter la recherche - développement, ont augmenté de 73% pour un total de 16 milliards de dollars en 2012. Cette croissance est largement due au boom des systèmes solaires de petite échelle suite à la réforme du tarif de rachat alloué à ces installations (Wolf M. et al, 2013).

Cependant, des problèmes surviennent à l'encontre de l'utilisation et du développement des énergies renouvelables. Ces problèmes sont d'ordre politique, économique, environnemental et même géographique et météorologique. En conséquence, Le rôle des autorités reste primordial. C'est la puissance publique qui fixe le cadre dans lequel l'exploitation des énergies renouvelables peut être rentable. L'Etat peut agir par exemple sur le domaine fiscal ou favoriser le marché des énergies renouvelable

## CONCLUSION GENERALE :

---

Ce mémoire avait pour objet d'étudier la capacité des énergies renouvelables à assurer la soutenabilité économique. L'approche faible du développement durable permet de comprendre les substitutions possibles au capital naturel. Cependant, les problèmes se posent au niveau du développement des substituts. En effet, l'Economie a besoin d'une solution plus efficace et plus durable.

Les diverses crises pétrolières justifient le caractère non durable du modèle énergétique actuel. Dans cette optique, il est nécessaire d'engager une transition énergétique. Les mesures à prendre pour répondre aux risques de dégradation de l'environnement requièrent la mise en œuvre de solutions spécifiquement adaptées à cette période de transition.

La diffusion et le développement des sources d'énergies renouvelables fait partie de ces solutions. Par ailleurs, il faut noter que les diverses formes d'énergie ont des caractéristiques différentes. L'utilisation de ressources nouvelles telles que les énergies renouvelables enrichirait la gamme des possibilités offertes à l'homme pour améliorer ses conditions d'existence. L'installation de ces sources d'énergies génère des emplois et accroît les activités économiques. Dans cette perspective, l'énergie éolienne, solaire, hydraulique, la biomasse et la géothermie répondent à toutes les conditions de bien-être des agents économiques.

Cependant, bien que très variables d'une filière à l'autre, les coûts de production des énergies renouvelables restent encore supérieurs au prix de marché de l'énergie. Des innovations vont être nécessaires à tous les niveaux pour permettre la mise en place des technologies et pour faciliter le passage d'une forme énergétique à une autre. En effet, l'installation des sources d'énergies renouvelables demande beaucoup d'investissements. De plus, les prix de l'énergie constituent, pour les entreprises, un élément significatif (notamment dans l'industrie) de leur coût de production.

Dans cette optique, l'État doit prendre des mesures pour favoriser le financement des projets sur le renouvelable. Cette institution doit-être plus performante dans la conduite de la politique énergétique. Ce qui implique une plus grande sélectivité dans l'attribution de ses aides. Ces dernières peuvent prendre beaucoup de formes: incitations fiscales et par le biais des certificats verts, tarifs fixes, aides aux R & D, mise en place des infrastructures nécessaires au développement des énergies renouvelables, etc. Ainsi, l'Etat a le devoir d'élaborer une politique d'accompagnement aux énergies renouvelables en tenant compte de la politique de développement de l'économie concernée. En conséquence, la soutenabilité de

l'économie par les énergies renouvelables dépend du dynamisme des acteurs de cette politique d'accompagnement, des conditions et possibilités de mise en œuvre de cette politique et des processus de réalisation.

## BIBLIOGRAPHIE:

---

- ARTUS P., 2011, « La raréfaction des ressources est imminente », in *Querelles écologiques et Choix politiques*, Odile Jacob, 2011.
- BARNETT H. J., et MORSE C., 1963, *Scarcity and Growth*, Baltimore.
- BECKERMAN W., 1972, « Economists, Scientists, and Environmental Catastrophe », in *Oxford Economic Papers*, pp 327-344.
- BLANCHARD O. et GALI J., 2007, « The effects shocks: », in *working paper series*, September.
- BOBI D. R. et TOMAN M. A., 1996. *The Economics of Energy Security*, Kluwer Academic Publishers.
- C.M.E.D (Rapport Brundtland), 1987, *Notre avenir à tous*, Montréal, Fleuve.
- COASE R.H., 1960, “ The problem of social cost ”, in *The Journal of Law and Economics*, 3<sup>e</sup> année.
- DALY H., 1972, "On Economics as a Life Science," *J. Polit. Econ.*, May/June 1968, 76,392- 406.
- DALY H., 1994, “Operationalizing Sustainable Development by Investing in Natural Capital”, in Jansson
- DALY H., 1994, “Operationalizing Sustainable Development by Investing in Natural Capital”, in A. M. Jansson, M. Hammer, C. Folke, R. Constanza (Eds), *Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability*, Island Press, pp. 22-37.

- DALY H., 1991, *Steady state Economics*, 2nd ed. Island Press, Washington, D.C.
- DASGUPTA P. ET HEAL M.G., 1974, "The Optimal Depletion of Exhaustible Resources", in *Review of Economic Studies*, 41, pp. 1-23.
- FAUCHEUX S. et NOËL J., 1995, *L'économie des ressources naturelles et de l'environnement*, Armand Colin, Paris.
- FRANKFURT SCHOOL, PNUE et BNEF, 2013, « Global Trends in Renewable Energy Investment 2013 », REN21.
- HARTWICK J. M., 1977, "Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources", in *American Economic Review*, vol. 67, n° 5, p. 972-974..
- HOTELLING H., 1931, "The economics of exhaustible resources", in *Journal of Political Economy*, vol. 39, n° 2, p. 137-175.
- JEAN-MARC JANCOVINI, 2002, *L'avenir climatique*, Seuil.
- MOHAN G., 2007. Participatory development: from epistemological reversals to active citizenship. *Geography Compass* vol.1 (4): 779-796.
- Observ'ER, édition 2007, Neuvième inventaire, La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde / collection statistique et chiffre, chapitre2.
- PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement), 2008, *Rapport Mondial sur le Développement Humain 2007/8*, PNUD, Paris.
- RESNICK D. and BIRNER R. , 2010. Agricultural Strategy Development in West Africa: The False Promise of Participation? *Development Policy Review* vol.28 (1): 97-115  
Sustainable Resource use Policies. *Ecological Economics*, 64:444-453.

- SOLOW R.M., 1974a, "The economics of resources or the resources of economics", in *American Economic Review*, vol. 64, n° 2, p. 1-14.
- SOLOW R.M., 1986, "On the Intertemporal Allocation of Natural Resources", in *Scandinavian Journal of Economics*, 88, pp. 141-149.
- SOLOW R.M., 1974b, "Intergenerational Equity and Exhaustible Resources", in *Review of Economic Studies* (Symposium issue) pp. 29-46.
- STIGLITZ J., 1974, «Growth with exhaustible natural resources: efficient and optimal growth paths », in *Review of Economic Studies*, Edinburgh, Longman Group Limited, vol. 41.
- TRITTIN J., 2006 , « Histoire d'un succès : les énergies renouvelables », in *Ecologie & politique*, n°33, p. 117-135.
- UNEP, 2011. Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. A Synthesis for Policy Makers.
- UNEP, 2011a. Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth, A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. Fischer-Kowalski, M., Swilling, M., von Weizsäcker, E.U., Ren, Y., Moriguchi, Y., Crane, W., Krausmann, F., Eisenmenger, N., Giljum, S., Hennicke, P., Romero Lankao, P., Siriban Manalang, A.
- UNEP, 2011b. Enabling conditions: Supporting the transition to a global green economy.
- UNEP, International Resource Panel, 2011. Chapter 7: South Africa. Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth. Stellenbosch, South Africa,
- UNEP, UNCTAD, UN-OHRLLS, 2011. Why a green economy matters for the least developed countries. Geneva. United Nations.

## ANNEXES:

Annexe 1 : Evolution des emplois directs des filières renouvelables de 2006 à 2012

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Solaire</b>	4770	6020	9220	13930	35100	32470	21810
<b>Eolien</b>	6000	6320	8790	9790	11670	10420	10240
<b>Biomass e</b>	23330	20840	22460	22770	24710	24460	25020
<b>Pompes à chaleur</b>	14430	17130	28900	23100	15260	14200	14200
<b>Hydrauli que</b>	9150	9530	9850	10430	11030	10770	10790
<b>Géother mie</b>	780	720	730	760	810	1000	1200
<b>Total EnR</b>	58460	605060	79950	80780	98580	93320	83260

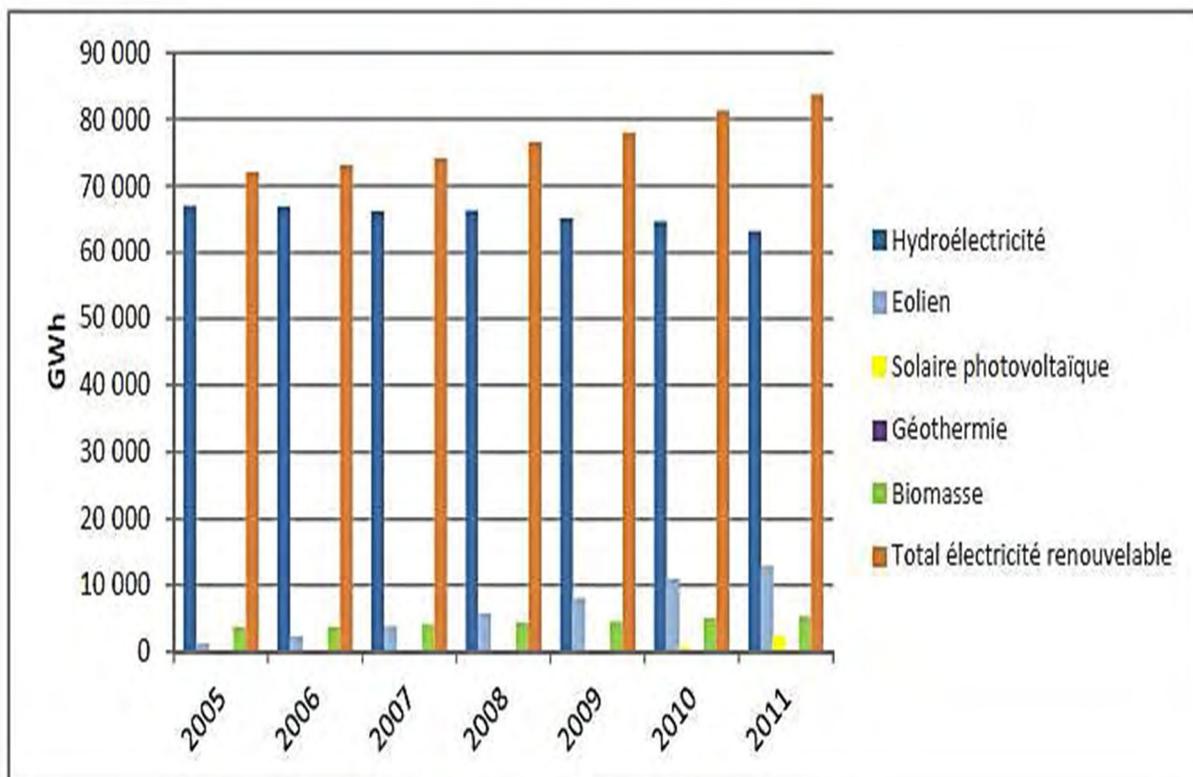
Source: ADEME, 2013.

Annexe 2 : Proportion des Energies renouvelables en 2011

Part d'EnR par secteur	Cibles en 2011	Réalisations en 2011
<b>Chaleur et refroidissement</b>	18%	16,5%
<b>Électricité</b>	16%	16,3%
<b>Transport (biocarburants)</b>	6,9%	6,7%
<b>Total</b>	13,5%	13,1%

Source: Commissariat général au développement durable / Service de l'observation et des statistiques (CGDD / SoeS), 2012.

### Annexe 3 : Evolution de la production d'électricité renouvelable de 2005 à 2011



Source: Cour des comptes- Données Commissariat général au développement durable /Service de l'observation et des statistiques (CGDD/SOeS), 2012

### Annexe 4 : Valorisation des différentes filières des énergies renouvelables

Valorisation des différentes filières des EnR	Electricité	Chaleur	Transports
Hydroélectricité	X		(X)
Energie marine	X		(X)
Energie éolienne	X		(X)
Solaire photovoltaïque	X		(X)
Solaire thermique		X	
Pompes à chaleur		X	
Géothermie	X	X	(X)
Biomasse solide	X	X	(X)
Biogaz	X	X	(X) et X
Biocarburants			(X)

(X): par le biais de l'électricité utilisée dans le secteur des transports

Source: Repères, 2013.

## Table des matières

REMERCIEMENTS :.....	i
ACRONYMES :.....	ii
LISTE DES TABLEAUX :.....	iii
LISTE DES ANNEXES :.....	iii
GLOSSAIRES :.....	iv
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 : REVUE HISTORIQUE ET THEORIQUE SUR LA QUÊTE DES ENERGIES RENOUVELABLES.....	5
INTRODUCTION DU PREMIER CHAPITRE :.....	5
SECTION1: LE DECLENCHEMENT DE LA RECHERCHE DE NOUVELLES SOURCES D'ENERGIE .....	6
1- La crise pétrolière de 1973 :.....	6
2- Les réactions depuis 1974 :.....	9
SECTION 2: UNE ECONOMIE AVEC DE NOUVELLES OPTIONS.....	14
1- Le choix d'un substitut :.....	15
2- Les conséquences économiques, sociales et environnementales de l'option recueillie :.....	19
CONCLUSION DU PREMIER CHAPITRE :.....	22
CHAPITRE 2 : ENERGIES RENOUVELABLES ET SOUTENABILITE DE L'ECONOMIE .....	24
INTRODUCTION DU SECOND CHAPITRE :.....	24
SECTION 1 : UN ETAT DES LIEUX DES ENERGIES RENOUVELABLES .....	24
1- L'énergie solaire :.....	25
2- L'énergie hydraulique :.....	27
3- L'énergie éolienne :.....	28
4- La biomasse :.....	29
5- La Géothermie :.....	30
SECTION 2 : ANALYSE DE LA SOUTENABILITE DES ENERGIES RENOUVELABLES DANS LE DOMAINE ECONOMIQUE. ....	31
1- Les contraintes dans sa généralité :.....	31
2- Les contraintes selon le type d'énergie renouvelable : .....	35
3- L'adoption des politiques d'accompagnement aux énergies renouvelables :.....	38
CONCLUSION DU SECOND CHAPITRE :.....	42
CONCLUSION GENERALE :.....	43
BIBLIOGRAPHIE:.....	vi
ANNEXES:.....	ix

Nom : ANDRIAMIARIMANANA

Prénom : Henintsoa

Titre : Energie renouvelable et Soutenabilité économique

Nombre de pages : 54

Nombre de tableaux : 7

Nombre de graphique : 1

### **RESUME :**

L'existence de l'énergie est l'une des conditions préalables à la croissance économique. Cependant, pourvu le caractère épuisable du pétrole, son utilisation comme source d'énergies peut entraîner l'économie dans une impasse. Les énergies renouvelables sont apparues comme une solution. Leur production génère des emplois et diminue la dépendance vis-à-vis de l'extérieur. En revanche, le problème essentiel à sa mise en œuvre réside dans la nécessité d'énormes investissements. En conséquence, la soutenabilité de l'économie par les énergies renouvelables dépend en grande partie de la politique et du dynamisme de l'Etat par rapport à ces énergies renouvelables.

Mots clés : Energie et Economie

Encadreur : Monsieur RAKOTOVAO Andriananja Heriniaina

Adresse de l'auteur : Lot VA 37 D Bis Tsiadana