



Université d'Oran 2
Faculté des Sciences Économiques, Commerciales et des Sciences de
Gestion
THESE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences Commerciales.
Spécialité : Management

**Innovation technologique et énergies renouvelables en
Algérie : bilan et essai d'évaluation**

Cas du solaire

Présentée et soutenue publiquement par :
DALI YUCEF Samia

Devant le jury composé de :

BENBAYER Habib	Professeur	Université d'Oran 2	Président
BOUDJANI Malika	Professeure	Université d'Oran 2	Rapporteuse
TRARI-MEDJAOUI Hocine	M.C.A.	Université d'Oran 2	Examineur
SENOUCI Benabbou	Professeur	ESE Oran	Examineur
BOUTIFOUR Zohra	M.C.A	ENP Oran	Examinatrice
BRAHAMI Mohamed Amine	M.C.A	ESE Oran	Examineur

Année universitaire

2022-2023

"Si nous ne changeons pas notre façon de penser, nous ne serons pas capables de résoudre les problèmes que nous créons avec nos modes actuels de pensée"

Albert Einstein.

Remerciements

J'adresse ma reconnaissance à ma directrice de recherche Mme Le Professeure BOUDJANI Malika pour sa disponibilité, son soutien depuis le début de ce travail ainsi que pour ses précieux conseils et orientations qui m'ont été d'une aide inestimable.

Mes remerciements d'adressent aussi à tous les membres de ce jury qui ont eu l'amabilité d'accepter d'y siéger et de consacrer un peu de leur temps à l'expertise de cette thèse.

Je remercie beaucoup Mme. AZRI Mounia du CDER, pour son aide inestimable.

Je remercie également M. AKBI Amine, du CDER dont les conseils m'ont beaucoup éclairée pendant mes recherches de terrain.

Tout comme je n'oublie pas l'ensemble des personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

DALI YUCEF Samia

Innovation technologique et énergies renouvelables en Algérie : bilan et essai d'évaluation. Cas du solaire.

Résumé :

Dans une quête de mutation économique au profit des énergies renouvelables, les nombreuses expériences mondiales établissent clairement que l'innovation technologique articulée autour d'une vision systémique est sans doute facteur de succès. Ainsi et pour les pays en voie de développement, dont l'Algérie, l'élaboration d'une stratégie assurant l'adoption des technologies renouvelables devrait prendre en considération les caractéristiques tant politiques qu'économiques, financières ou humaines inhérentes au pays. Notre thèse s'inscrit dès lors dans le cadre de cette conception systémique. Elle rend compte ainsi du processus d'évaluation du Programme National des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique (PNEREE) lancé en 2011, lui-même soutenu par le Programme National de Recherche en Énergies Renouvelable (PNRER). La démarche méthodologique que nous avons privilégiée entend ainsi dresser en premier lieu un bilan du système d'innovation technologique énergétique en cours afin d'en relever les principales forces et faiblesses. Ces dernières sont identifiées en nous appuyant sur une batterie d'indicateurs quantitatifs et qualitatifs empruntés à l'analyse par les fonctions. En second lieu, et à travers une projection dans le temps, nous relevons les ajustements nécessaires qu'exige le système existant en regard des phases de développement de la technologie en question. Notre analyse dresse au final ce qui pourrait fonder une stratégie d'action mettant l'accent sur les interdépendances existant entre les différents éléments du Système d'Innovation Technologique Énergétique algérien. Mais elle établit aussi surtout l'évolution de ces interactions dans le temps.

Mots clés : Programme National des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique, Algérie, évaluation, analyse systémique, système d'innovation, approche par les fonctions.

Classification JEL : O32, O38, Q28, Q55, Q58

ملخص

في السعي إلى التغيير الاقتصادي لصالح الطاقات المتجددة أثبتت العديد من التجارب العالمية بوضوح أن الابتكار التكنولوجي الذي يتم التعبير عنه حول رؤية منهجية هو بلا شك عاملاً من عوامل النجاح. وبالتالي، وبالنسبة للبلدان النامية، بما في ذلك الجزائر، فإن تطوير استراتيجية لضمان اعتماد التقنيات المتجددة يجب أن يأخذ في الاعتبار الخصائص السياسية أو الاقتصادية أو المالية أو البشرية المتأصلة في البلاد. لذلك فإن أطروحتنا هي جزء من هذا المفهوم الشامل. وبالتالي فهي تقدم تقارير عن عملية تقييم البرنامج الوطني للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة (PNEREE) الذي تم إطلاقه في عام 2011، بدعم من البرنامج الوطني للبحوث في الطاقات المتجددة (PNRER). وبالتالي فإننا نعتزم أولاً وضع تقييم نظام الابتكار التكنولوجي في مجال الطاقة قيد التنفيذ من أجل تحديد نقاط القوة والضعف الرئيسية فيه. يتم تحديد الأخيرة من خلال الاعتماد على مجموعة من المؤشرات الكمية والنوعية المستعارة من التحليل حسب الوظائف. ثانيًا، ومن خلال الإسقاط بمرور الوقت، نحدد التعديلات اللازمة التي يتطلبها النظام الحالي فيما يتعلق بمراحل تطوير التكنولوجيا المعنية. يضع تحليلنا في النهاية ما يمكن أن يؤسس لإستراتيجية عمل تؤكد على الترابط القائم بين مختلف عناصر نظام الابتكار التكنولوجي للطاقة الجزائري. ولكن قبل كل شيء، فإنه يؤسس أيضاً تطور هذه التفاعلات بمرور الوقت

الكلمات المفتاحية: البرنامج الوطني للطاقات المتجددة وكفاءة الطاقة، الجزائر، التقييم، التحليل المنهجي، نظام الابتكار، نهج الوظائف.

تصنيف JEL: O32، O38، Q28، Q55، Q58

Abstract :

In a quest for economic change to benefit renewable energies, numerous global experiences clearly establish that technological innovation articulated around a systemic vision is undoubtedly a factor of success. Thus and for developing countries, including Algeria, the development of a strategy ensuring the adoption of renewable technologies should take into consideration the political, economic, financial or human characteristics inherent to the country. Our thesis is therefore part of this systemic conception. It thus reports on the evaluation process of the National Program for Renewable Energy and Energy Efficiency (PNEREE) launched in 2011, itself supported by the National Program for Research in Renewable Energy (PNRER). The methodological approach that we have favored aims to firstly take stock of the current energy technological innovation system in order to identify its main strengths and weaknesses. The latter are identified by relying on a battery of quantitative and qualitative indicators borrowed from functional analysis. Secondly, and through a projection over time, we note the necessary adjustments required by the existing system with regard to the development phases of the technology in question. Our analysis ultimately establishes what could form the basis of an action strategy emphasizing the interdependencies existing between the different elements of the Algerian Energy Technological Innovation System. But above all it establishes the evolution of these interactions over time.

Keywords: National Program for Renewable Energy and Energy Efficiency, Algeria, evaluation, systemic analysis, innovation system, functional approach.

JEL classification: O32, O38, Q28, Q55, Q58

Sommaire

Introduction générale	p.01
Chapitre 1 : Innovation technologique et environnement dans la pensée économique	p.08
Section 1 : Innovation technologique et développement durable.	p.09
Section 2 : Politiques publiques pour l'innovation environnementale.	p.37
Chapitre 2 : Le système d'innovation (SI) au service du développement des technologies durables	p.65
Section 1 : Analyse du changement technologique dans un système d'innovation.	p.66
Section 2 : Système d'innovation technologique et transition énergétique.	p.96
Chapitre 3 : Évolution des systèmes d'innovations technologiques énergétiques mondiaux	p.120
Section 1 : Système énergétique mondial et changement technologique.	p.121
Section 2 : Politiques d'innovation technologique pour la transition énergétique dans le monde.	p.145
Chapitre 4 : le système d'innovation technologique pour les énergies solaires en Algérie	p.175
Section 1 : Vers un choix des indicateurs appropriés pour l'évaluation du S.I.T.E solaire algérien.	p.176
Section 2 : Évaluation par les fonctions du système d'innovation technologique de l'énergie solaire en Algérie.	p.190
Section 3 : Quelle stratégie pour le S.I.T.E solaire algérien ? Éléments de réponse.	p.235
Conclusion générale	p.255
Références bibliographiques	p.264
Acronymes	p.278
Unités physiques	p.280
Unités monétaires	p.281
Liste des tableaux	p.281
Liste des figures	p.282
Annexes	p.286
Table des matières	p.290

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie a toujours été au centre des préoccupations de toutes les économies du monde, et a toujours constitué un enjeu majeur pour elles.

Une énergie propre, abordable et durable quant à elle, a su attirer, depuis plusieurs années, les économies soucieuses de préserver leur développement économique et humain en même temps. « Ainsi, son absence peut entraver ce développement et constituera un obstacle majeur à la réalisation des objectifs du millénaire ». Commission Économique pour l'Afrique, (2012, page V)¹

Ce besoin de concilier entre la préservation des ressources naturelles pour les générations futures d'un côté, et la croissance économique des pays de l'autre, a donné naissance à la notion de « *durabilité du développement* » en économie et a fait l'objet des proclamations de l'Assemblée Générale des Nations Unies sur l'importance de l'énergie pour le développement durable et la lutte contre la pauvreté. Une initiative « *Énergie durable pour tous* » a d'ailleurs été établie en fixant trois objectifs principaux, et ce, à l'horizon 2030 :

- un accès universel à des services énergétiques modernes,
- une réduction de 40 % de l'intensité énergétique mondiale,
- une augmentation de 30 % de l'utilisation des énergies renouvelables dans le monde. Commission Économique pour l'Afrique, (2012)²

À travers le rapport de Brundtland (1987)³, le rôle du progrès technique et l'innovation ont bien été mis en lumière comme solutions à ces défis rassemblant depuis, tous les acteurs économiques, politiques, sociaux et environnementaux sur les mêmes préoccupations.

Ce revirement de réflexion a donné naissance à partir des années 90 à de multitudes approches d'analyse du développement durable, notamment la soutenabilité faible et la soutenabilité forte qui se sont articulées autour du degré de substitution entre le capital naturel et le capital technique des nations.

Depuis cette période, les approches des économistes, qui s'intéressaient uniquement au fonctionnement du marché et celui du travail ont laissé progressivement place aux économistes qui se préoccupaient des déterminants de la croissance et de l'intégration du progrès technique comme facteur endogène et non exogène. Cela est particulièrement le cas des théories néoclassiques seconde génération, qui ont porté un intérêt particulier à la recherche appliquée

¹ Rapport de la Commission économique pour l'Afrique des nations unies n° CEA-AN/PUB/12/01, « Le secteur des énergies renouvelables en Afrique du nord, situation actuelle et perspectives » Septembre 2012.

² Ibid.

³ Brundtland, 1987, « Notre avenir à tous », Commission mondiale sur l'environnement et le développement (C.M.E.D.), Montréal, Fleuve.

sur l'innovation afin d'apporter un éclairage susceptible d'aider les décideurs économiques à atteindre les objectifs du millénaire et assurer une croissance durable de l'économie.

Conséquence de ces débats, les conceptions autour du processus d'innovation technologique environnementale et son poids sur la performance économique des nations se sont également penchées sur la nature des interactions organisationnelles et institutionnelles liant les firmes entre elles sur le marché.

C'est dans cette idée, que l'approche « *système d'innovation* » -dérivée de la vision schumpétérienne et évolutionniste - a été marquée comme la mieux adaptée pour étudier la relation entre le changement technologique et le développement économique. Lundvall, (1992)⁴

Néanmoins, la nature des interdépendances au sein du système influence les progrès techniques mais ne garantit pas toujours une réussite. Cette incertitude rend le système d'innovation technologique et surtout le système d'innovation technologique énergétique assez complexe. Cette complexité renvoie à la complexité d'analyse et d'évaluation des différentes politiques mises en place.

En effet, le secteur énergétique mondial actuel est caractérisé par une demande d'énergie fort changeante et des tensions géopolitiques sans précédent exigeant aux pays d'adopter les politiques appropriées, axées sur des stratégies bien définies à long terme, afin de garantir une mutation vers un mix énergétique.

L'Algérie n'y échappe pas, pour qui la transition vers un mix énergétique devient inévitable. En effet, plusieurs études ont été menées, plaçant l'Algérie au premier rang des pays à fort potentiel énergétique durable non encore exploité. Il convient de rappeler « le gisement solaire exceptionnel qui couvre une superficie de 2.38 MKm², avec plus de 3000 heures d'ensoleillement par an. Sans parler de l'existence d'un potentiel éolien et géothermique appréciable et facilement mobilisable. » (CDER)⁵

Le potentiel solaire algérien a même été constaté par plusieurs centres de recherche, tels que L'Agence Spatiale Allemande DLR, « *qui montre des niveaux d'irradiation exceptionnels de l'ordre de 1200 kWh/m²/an⁶ dans le Nord du Grand Sahara. Par contre, les meilleurs taux d'irradiation solaire en Europe sont de l'ordre de 800 kWh/m²/an limités à la partie sud de l'Europe* ». Bentoubal.S et alii, (2010, P50)⁷. Cette même agence estime un potentiel solaire de

⁴ Lundvall.B, 1992, « National systems of innovation: Toward a theory of innovation and interactive learning », Anthem press. Edition de 2010.

⁵ Site internet du CDER, « Programme national de recherche en énergies renouvelables », <https://www.cder.dz/spip.php?article883>, consulté le 04/12/2020.

⁶ Kilo Watt Heure par m² et par an

⁷Bentoubal.S, Slimani.A, Boucherit.M.S, Hamouda.M, 2010, L'énergie renouvelable en Algérie et l'impact sur l'environnement, Journal of Scientific Research N° 0 vol. 1.

plus de 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, et de 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque, classant ainsi l'Algérie comme le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen.

L'importance du potentiel naturel d'un côté, et les mutations énergétiques mondiales axées de plus en plus sur les énergies renouvelables d'un autre côté, ont conduit le gouvernement algérien à mettre en place en 2011 un premier grand programme national intitulé « Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique ».

Le programme consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de près de 22 000 MW (Méga watt) entre 2011 et 2030 dont 12 000 MW seront dédiés à couvrir la demande nationale en électricité et 10 000 MW à l'exportation. L'objectif de production de l'électricité d'origine solaire quant à lui, est estimé à 13 575 MW reparti en deux phases 3 000 MW à la fin 2020, et 10 575 MW à la fin 2030. MEM, (2011)⁸

S'alignant sur les proclamations des diverses manifestations internationales, les pouvoirs publics ont placé l'innovation au cœur de leurs préoccupations. En effet, dans son programme, l'Algérie « favorise la recherche pour faire du programme EnR un véritable catalyseur du développement d'une industrie nationale qui valorisera les différentes potentialités algériennes (humaines, matérielles, scientifiques, etc.) ». MEM, (2011, P24)⁹

La politique adoptée s'appuie principalement sur la coopération avec les centres de recherche, les universités mais également les entreprises œuvrant dans ce domaine, et ce, en vue de promouvoir les procédés techniques innovants en matière d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique.

Notre thèse se donne pour objectif d'établir :

- un bilan de cette politique en matière de développement des énergies renouvelables, plus spécifiquement sur celles du solaire,
- un essai d'évaluation à même d'en situer les forces et les faiblesses pour en corriger, à terme, la stratégie d'orientation dans un contexte de nécessaire innovation technologique mondiale en faveur des énergies dites « propres ».

Ainsi, notre problématique de recherche s'articulera-t-elle autour des questionnements suivants :

⁸ Ministère algérien des énergies et des mines, 2011, « Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique », Mars 2011.

⁹ Ibid.

Quelle est la nature des interactions existantes dans le système d'innovation technologique énergétique solaire algérien (S.I.T.E), et comment impactent-elles la réalisation des objectifs nationaux pour la transition énergétique ?

Cette principale question, nous mène à devoir introduire, dans notre plan de travail, plusieurs volets d'analyse pouvant s'exprimer ainsi :

Comment peut-on évaluer le système d'innovation technologique énergétique solaire algérien ? Quels indicateurs choisir ? Quelles sont ses forces et ses faiblesses ? Le niveau de développement économique du pays impacte-t-il les résultats du programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique et celui-ci se trouve-t-il conditionné par ce même niveau de développement ?

L'ensemble de ces interrogations nous conduit à poser les hypothèses de travail suivantes :

H1 : L'existence d'un fort potentiel naturel solaire assure au pays une attractivité des investissements internationaux et représente le principal levier pouvant assurer l'atteinte des objectifs tracés.

H2 : La mise en place d'une stratégie à long terme assurant un engagement d'apprentissage et d'application des innovations technologiques énergétiques solaires par les acteurs est une condition pour atteindre les objectifs tracés.

Nous tenterons de vérifier ces hypothèses de travail par une approche quantitative et qualitative en nous plaçant à un niveau macroéconomique d'ensemble.

Nos observations dans le temps, relevées à partir d'une panoplie d'indicateurs, s'établissent sur des périodes démarrant avant le lancement du programme national des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, soit avant 2011 et s'étalent sur des périodes différentes.¹⁰

Notre travail se scindera en quatre (4) chapitres :

Le premier chapitre s'articulera autour du concept de l'innovation technologique et sa relation avec l'environnement dans la pensée économique. Il sera développé sur 2 sections :

- la première se donne pour objet d'établir la relation pouvant exister entre le concept d'innovation technologique et celui de développement durable, tout en mettant en relief les caractéristiques ainsi que les principaux déterminants des innovations technologiques environnementales sur le marché,

¹⁰ Les périodes d'évolution varient d'un indicateur à l'autre, et ce, en fonction de la disponibilité des informations y relatives.

- la seconde aura pour rôle d'explicitier les limites que peut contenir le marché et la nécessité que l'État décide alors d'intervenir pour la régulation de ce marché. Il s'agira à ce niveau de relever les interactions, leur nature, existantes entre les politiques publiques et le comportement des acteurs du secteur des technologies propres sur le marché.

Les retombées économiques, sociales et environnementales possibles de ces différentes politiques feront de même l'objet de cette section.

Cette section nous permettra ainsi au final d'obtenir les matériaux d'analyse nécessaires à l'évaluation des différentes mesures publiques adoptées par l'Algérie, aspects que nous abordons au sein du dernier chapitre.

Le second chapitre de notre recherche s'appuiera sur l'approche "système d'innovation" développée par le courant de pensée schumpétérien qui veut que le processus de changement technologique soit le résultat d'un ensemble de facteurs économiques, sociaux, politiques et organisationnels agissant sur la création, développement et la diffusion des innovations.

Ce chapitre sera axé sur le poids des interactions pouvant exister au sein d'un système d'innovation, sur le développement et l'émergence des technologies durables.

À cette fin, nous structurerons la première section de ce chapitre en nous interrogeant de savoir :

- quels sont les principes fondamentaux d'un système d'innovation ?
- quelles sont les caractéristiques d'un processus de changement technologique ?
- quelles sont les différentes approches analytiques de ce changement technologique ?

Il s'agira au terme de ce premier point de nous munir des outils nécessaires à la bonne compréhension du processus technologique qui, en engageant l'ensemble des acteurs autour d'une stratégie commune, permet la création et la diffusion des technologies durables au sein d'une économie.

Le deuxième volet de ce chapitre abordera l'analyse systémique des innovations technologiques énergétiques.

Le troisième chapitre se veut investiguer la chronologie des différents systèmes d'innovations technologiques énergétiques dans le monde.

Il sera développé sur deux (2) sections :

- au travers de la première, nous décrirons la composition et l'évolution du système énergétique mondial, la place qu'occupent les énergies solaires dans le bouquet énergétique mondial, mais aussi la chaîne de valeur des technologies énergétiques solaires. La présentation

de ces informations contribuera à la bonne compréhension des conditions d'émergence des énergies solaires dans un système d'innovation donné,

- au travers de la seconde section, nous nous pencherons sur la lecture des politiques d'innovations technologiques adoptées par certaines économies inscrites dans la trajectoire de la transition énergétique. Il sera alors question, à ce niveau de recherche, de positionner les stratégies publiques des pays en fonction de leurs niveaux de développement économique, de relever les réussites et les échecs en tentant de faire ressortir au final les leçons à tirer pour le cas algérien.

Enfin le quatrième et dernier chapitre fera entrer de plain-pied dans la partie empirique de nos travaux.

Il s'organisera sur la base de trois sections qui devront aboutir à la formulation d'un bilan, puis un essai d'évaluation du système d'innovation technologique énergétique solaire algérien.

Le préalable de ces objectifs majeurs sera de dresser un choix d'indicateurs d'évaluations appropriées au dressage de ce diagnostic, au terme duquel seront dégagées les forces et les faiblesses du système analysé et quelques recommandations d'ajustement susceptibles de rendre le système d'innovation plus performant.

CHAPITRE 1

INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ENVIRONNEMENT DANS LA PENSEE ECONOMIQUE

INTRODUCTION

La préoccupation majeure des Nations Unies a depuis plus de 30 ans, été de concilier croissance économique des pays, et préservation de l'environnement pour les générations futures. À travers le rapport de Brundtland, (1987)¹¹, les rôles du progrès technologique et de l'innovation ont bien été mis en lumière comme solutions à ces problèmes. « *Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de 'besoins', et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale imposent sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir* ». Brundtland, (1987, p40)¹².

Ainsi, deux paramètres sont associés à la notion de durabilité du développement : les besoins liés aux ressources naturelles pour les générations futures d'un côté, mais également le besoin en connaissances techniques et organisationnelles. Dans cette optique à travers l'innovation, les pays peuvent améliorer l'état des techniques et satisfaire ainsi ces besoins.

Considérée comme le remède à toutes les crises du temps moderne, l'innovation a rassemblé tous les acteurs économiques, politiques, sociaux et environnementaux, sur les mêmes préoccupations.

Le monde a d'ailleurs, depuis, connu des mutations très importantes, notamment dans les pays développés, où les mesures mises en place progressivement ont modifié la conception de la réglementation et ainsi les comportements des firmes. En effet, les nouvelles réglementations sont perçues par plusieurs firmes, notamment les plus grandes, comme des opportunités stratégiques qui peuvent leur assurer un avantage concurrentiel, en leur ouvrant de nouveaux marchés et en leur permettant d'améliorer la qualité de leurs produits mais également réduire leurs coûts, et ce, sur le moyen et le long terme.

De son côté, la conception du système d'innovation a beaucoup évolué, passant du modèle linéaire au modèle interactif qui met en interaction les firmes en concurrence sur le marché mais également les institutions de l'État, mettant ainsi en avant l'importance de la performance collective.

Depuis les années quatre-vingt, l'innovation technologique est fortement liée à la performance économique des nations. La recherche et développement expérimental (R&D) a

¹¹ Ibid.Op.Cit. P 01.

¹² Idem

d'ailleurs été considérée comme partie intégrante du processus d'innovation et représentée comme le déterminant premier du développement économique.

Le contexte d'analyse sur ce chapitre tiendra compte des différentes interactions entre les politiques publiques et les stratégies des acteurs qui s'engagent dans l'apprentissage et l'application des innovations technologiques.

Dans cette optique, le présent chapitre traitera deux (02) sections.

Nous aborderons dans la première section, une présentation du cadre théorique des concepts de l'innovation, de la technologie et du développement durable, pour nous pencher en dernier lieu sur la conception de l'innovation environnementale ainsi que sur ses principaux déterminants « *technology push* » ou « *demand pull* ».

L'objectif recherché de cette première section est de présenter le rôle important de l'innovation technologique environnementale en analysant les différentes conditions de sa mise en œuvre garantissant une orientation de l'économie vers un développement durable.

D'un autre côté et à travers la deuxième section, nous examinerons le rôle des politiques publiques dans la prise des décisions incitant les innovations pour l'environnement, et ce, à travers la compréhension des effets du « *spillover* », et les raisons qui dissuadent les firmes à consacrer les investissements nécessaires pour la R&D.

Ainsi, nous consacrons cette deuxième section à l'apport de la littérature économique touchant au comportement des acteurs, celui des firmes, placés face aux mécanismes du marché et aux raisons pouvant freiner leurs efforts de recherche en innovations environnementales.

Section 1 : Innovation technologique et développement durable

L'innovation technologique objet de notre recherche, jouant un rôle fondamental dans le développement, a fait ses premières apparitions dans le champ économique, avec les travaux de Schumpeter en 1937¹³. Le processus du changement technologique, prend appui sur un enchaînement d'étapes avec une relation input output entre invention et innovation¹⁴.

La vision de la théorie néoclassique sur l'allocation des ressources sans se pencher sur la création ni sur le renouvellement de celles-ci, a donné naissance à la conception de la « durabilité du développement », qui est apparue à la fin des années 80¹⁵.

¹³ Et ce, à travers la théorie des cycles économiques, où il formula son triptyque ; invention-innovation-diffusion.

¹⁴ L'invention naît suite à une recherche fondamentale, et cette dernière permet le développement de l'innovation seulement, si elle déclenche un acte commercial.

¹⁵ A travers le rapport de Brundtland 1987, établi par la Commission mondiale de l'environnement et du développement.

À partir des années 90, les travaux traitant de la question du développement durable, et du changement technologique deviennent de plus en plus nombreux, identifiant ainsi les approches du développement durable : la soutenabilité faible¹⁶, et la soutenabilité forte¹⁷.

Depuis cette période, les approches des économistes qui s'intéressaient uniquement au fonctionnement du marché et du travail, ont laissé progressivement place aux économistes qui se préoccupaient des déterminants de la croissance, et de l'intégration du progrès technique comme facteur endogène et non exogène. Ceci est particulièrement le cas des théories néoclassiques seconde génération qui ont porté un intérêt particulier à la recherche appliquée sur l'innovation afin d'apporter un éclairage susceptible d'aider les décideurs économiques à atteindre les objectifs du millénaire et assurer une croissance durable de l'économie.

L'implication de l'ensemble des interactions entre acteurs économiques rend le processus de l'innovation assez complexe. C'est pour cette raison que cette section traitera de prime abord de la présentation des différents aspects du processus de l'innovation, plus particulièrement l'innovation technologique.

Dans un second temps, nous présenterons les différentes approches théoriques du rôle de l'innovation technologique dans le développement durable, notamment l'approche néoclassique et l'approche évolutionniste. Pour ensuite, traiter de la relation de la technologie avec la durabilité, donnant naissance à la conception de l'innovation environnementale.

1-Autour du concept « innovation technologique » :

1-1-De l'innovation à l'innovation technologique de produit et de procédé :

À travers le manuel d'OSLO, OCDE, (2005, p54)¹⁸ l'OCDE¹⁹ présente une définition générale de l'innovation :

*« Une **innovation** est la mise en œuvre d'un produit (bien ou service) ou d'un procédé nouveau ou sensiblement amélioré, d'une nouvelle méthode de commercialisation ou d'une nouvelle méthode organisationnelle dans les pratiques de l'entreprise, l'organisation du lieu de travail ou les relations extérieures ».*

¹⁶ Approche néoclassique, un prolongement de la théorie endogène de Solow. Une hypothèse reposant sur une substituabilité entre les différents facteurs de production. (Capital naturel et capital technique)

¹⁷ Approche de l'économie écologique, ayant comme hypothèse ; le capital naturel et le capital technique sont complémentaires et non substituables.

¹⁸ OCDE, 2005, 3^{ème} édition, « Principes directeurs pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation »-Manuel OSLO-

¹⁹ OCDE : Organisation de Coopération et Développement Économiques

Cette définition englobe à la fois plusieurs catégories d'innovations, de produits, de procédés, de commercialisations, et innovations organisationnelles, tels que référencés par la classification de Joseph Schumpeter, Taillant, (2005, p.48)²⁰ :

« La fabrication d'un bien nouveau, c'est-à-dire encore non familier au cercle des consommateurs, ou d'une qualité nouvelle d'un bien. L'introduction d'une méthode de production nouvelle (...) ; il n'est nullement nécessaire qu'elle repose sur une découverte scientifiquement nouvelle et elle peut aussi résider dans de nouveaux procédés commerciaux pour une marchandise. L'ouverture d'un débouché nouveau (...). La conquête d'une source nouvelle de matières premières ou de produits semi-ouvrés (...). La réalisation d'une nouvelle organisation, comme la création d'une situation de monopole (par exemple la trustification) ou l'apparition brusque d'un monopole. »

Sur les cinq catégories, Schumpeter souligne une forme de « rupture » qui sera développée par la suite sous la « *destruction créatrice* » largement détaillée par Aghion et Hewitt, (1992)²¹.

Dans son ouvrage fondateur intitulé « Innovation et entrepreneuriat ». Drucker, (1985, p19)²², influencé par les travaux de Schumpeter définissait, l'innovation comme : « *l'outil spécifique des entrepreneurs, le moyen par lequel ils exploitent le changement comme une opportunité pour une autre entreprise ou un autre service. Elle est susceptible d'être présentée comme une discipline, susceptible d'être apprise, susceptible d'être pratiquée. Les entrepreneurs doivent rechercher avec détermination les sources d'innovation, les changements et leurs symptômes qui indiquent des opportunités pour une innovation réussie. Et ils ont besoin de connaître et d'appliquer les principes d'une innovation réussie* »

1-1-1-L'innovation de produit :

« Une innovation de produit correspond à l'introduction d'un bien ou d'un service nouveau ou sensiblement amélioré sur le plan des caractéristiques ou de l'usage auquel il est destiné. Cette définition inclut les améliorations sensibles des spécifications techniques, des composants et des matières, du logiciel intégré, de la convivialité ou autres caractéristiques fonctionnelles. ». OCDE, (2005, p 56)²³.

²⁰ Taillant.P, 2005, « L'analyse évolutionniste des innovations technologiques : l'exemple des énergies solaire photovoltaïque et éolienne » Université Montpellier 1, faculté des sciences économiques, sous la direction de Jacques Percebois.

²¹ Aghion.P, Howitt.P. 1992. "A Model of Growth Through Creative Destruction." *Econometrica* 60, no. 2: 323-351.

²² Drucker.P, 1985, « Innovation and entrepreneurship; practices and Principles », Perfect Bound.

²³ Ibid.Op. Cit.p10.

L'innovation de produit concerne, les biens et les services. Les firmes peuvent recourir à des technologies et connaissances nouvelles, ou se baser seulement sur de nouvelles combinaisons des connaissances ou de technologies déjà acquises. Toutefois, il est important de préciser que les changements techniques mineurs ou d'esthétique ne sont pas considérés comme innovation.

Pour le cas des services, l'innovation de produit concerne des changements radicaux ou des améliorations sensibles sur l'efficacité du service (rapidité, performance.).

1-1-2-L'innovation de procédé :

« Une innovation de procédé est la mise en œuvre d'une méthode de production ou de distribution nouvelle ou sensiblement améliorée. Cette notion implique des changements significatifs dans les techniques, le matériel et/ou le logiciel ». OCDE, (2005, p57).²⁴

Le but principal de ces innovations est de permettre à la firme de réduire ses coûts de production ou de distribution mais aussi, augmenter la qualité des biens et services proposés.

1-1-3-L'innovation de commercialisation (de marché) :

« Une innovation de commercialisation est la mise en œuvre d'une nouvelle méthode de commercialisation impliquant des changements significatifs de la conception ou du conditionnement, du placement de la promotion ou de la tarification d'un produit ». OCDE, (2005, p 58).²⁵

Cette catégorie d'innovation concerne principalement les clients. Par ce biais, la firme recherche à maximiser leurs satisfactions, et améliorer ainsi ses ventes et ses parts de marché.

L'innovation de commercialisation est considérée comme un facteur propice pour réussir le lancement de nouveaux produits et procédés.

1-1-4-L'innovation organisationnelle :

« Une innovation d'organisation est la mise en œuvre d'une nouvelle méthode organisationnelle dans les pratiques, l'organisation du lieu de travail ou les relations extérieures de la firme. ». OCDE, (2005, p 60).²⁶

Les innovations en matière d'organisation agissent sur le niveau de performance des firmes en apportant des modifications significatives sur la qualité du travail mais aussi sur la diffusion de l'information au sein de la firme. Toutefois, son rôle est également lié aux innovations technologiques de produit et de procédé ; en amont, puisque c'est un facteur

²⁴ Ibid.Op. Cit.p10.

²⁵ Idem

²⁶ Idem

indispensable à l'innovation technologique, et aussi en aval puisqu'elle peut se présenter comme une réaction face au changement technique. D'ailleurs, des études ont démontré que les innovations technologiques sont introduites rarement, voire pas du tout, sans innovation organisationnelle ou de commercialisation (de marketing). Havas, (2016)²⁷

En plus de ces catégories, il existe deux autres types d'innovation de nature particulière : les « *nouveaux systèmes technologiques* » et les « *technologies génériques diffusantes* ». Les nouveaux systèmes technologiques sont des ensembles d'innovations liées dans un système cohérent. Les technologies génériques sont des innovations diffusant leurs effets sur un grand nombre de secteurs économiques, par exemple l'informatique. Boyer et Didier, (1998, p 15)²⁸

Les deux premières catégories constitueront notre champ d'analyse à savoir l'innovation de produits et l'innovation de procédés, que l'OCDE a rattaché sous l'appellation innovation TPP (Innovation Technologique de Produit et de Procédé). Les questions y afférentes sont traitées dans la deuxième édition du même manuel OCDE, (2002, p 36)²⁹. Ce dernier les définit ainsi :

« Les innovations technologiques de produit et de procédé (TPP) couvrent les produits et procédés technologiquement nouveaux ainsi que les améliorations technologiques importantes de produits et de procédés qui ont été accomplies. Une innovation TPP a été accomplie dès lors qu'elle a été introduite sur le marché (innovation de produit) ou utilisée dans un procédé de production (innovation de procédé). Les innovations TPP font intervenir toutes sortes d'activités scientifiques, technologiques, organisationnelles, financières et commerciales. La firme innovante TPP est une firme qui a accompli des produits ou des procédés technologiquement nouveaux ou sensiblement améliorés au cours de la période considérée ».

1-2-Principales caractéristiques de l'innovation TPP :

À partir de ces définitions, nous pouvons extraire trois caractéristiques principales de l'innovation TPP :

²⁷ Havas.A, 2016. Recent economic theorising on innovation: lessons for analysing social innovation, Institute of Economics CERS, HAS.

²⁸ Boyer. R, Didier.M.1998, « Innovation et croissance : relancer une dynamique de croissance durable par l'innovation », Rapport du Conseil d'Analyse Économique, Innovation et croissance, La Documentation Française, Paris, pp. 11-132.

²⁹ OCDE, 2002, 2ème édition, « Principes directeurs pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation ». Manuel OSLO.

1-2-1-La nouveauté : un produit ou un procédé doit être nouveau ou sensiblement amélioré pour qu'il soit considéré comme innovation. Il n'est pas nécessaire qu'il soit nouveau pour le monde, mais seulement apportant une nette amélioration pour l'entreprise. De ce fait, les changements mineurs apportés aux produits et aux procédés ne sont pas considérés comme innovation.

1-2-2-La mise en œuvre : pour un produit nouveau (ou sensiblement amélioré), sa mise en œuvre est faite lorsqu'il sera mis sur le marché.

Pour un procédé nouveau (ou sensiblement amélioré), sa mise en œuvre est faite lorsqu'il sera effectivement utilisé par l'entreprise.

1-2-3-Le rythme de l'innovation : la firme peut innover soit en lançant un seul nouveau produit, soit en apportant plusieurs petits changements progressifs et dont la somme constitue un changement significatif.

1-3-Le processus de l'innovation technologique

La première apparition du concept « *innovation* » dans les champs économiques a vu le jour à travers la théorie des cycles économiques initiée par Joseph Schumpeter en 1937, le « père » de l'économie et du management de l'innovation. La théorie repose sur une chaîne triptyque entre l'invention, l'innovation et la diffusion.

1-3-1-La relation invention-innovation :

Afin de mieux cerner le concept de l'innovation, il est important de se focaliser de prime abord sur sa relation avec l'invention.

Deux éléments constituent l'innovation : la nouveauté et le succès économique de cette nouveauté sur le marché. Si on parle de la nouveauté comme seul élément, on parle alors de « *invention* » et non pas de « *innovation* ». Cette relation a été éclairée par la théorie micro économique comme étant « *l'utilité* » jugée et dégagée par les consommateurs.

L'invention est un concept purement technique, qui intervient au début du processus de l'innovation, et signifie la création de nouvelles techniques, de nouveaux procédés, de nouvelles applications, apportant des solutions aux problèmes existants. Son introduction permet une rupture dans les pratiques techniques.

Donc, l'invention naît suite à une recherche fondamentale, et cette dernière permet le développement de l'innovation seulement, si elle déclenche un acte commercial sur le marché. Donc, toutes les inventions n'aboutissent pas à des innovations. Ainsi, une firme peut innover sans passer par la phase invention, et ce, en adoptant des anciennes inventions non encore commercialisées qui lui permettront de mettre de nouveaux produits ou procédés sur le marché.

1-3-2-La diffusion de l'innovation technologique :

« Par diffusion, on entend la manière dont, depuis leurs toutes premières applications, les innovations se répandent par l'intermédiaire des mécanismes du marché ou autrement, dans une clientèle ou dans des pays, régions, secteurs, marchés et firmes différents. Sans diffusion, une innovation n'aura pas d'incidence économique. ». OCDE, (2005, p22)³⁰.

La diffusion intervient pour relier les deux concepts (invention et innovation), elle consiste à adopter les nouveaux concepts techniques à grande échelle. Ainsi, les effets positifs liés à l'innovation sont liés à la diffusion dans le système économique, à condition d'une capacité d'absorption par les entreprises.

« Par capacité d'absorption, on entend l'aptitude des entreprises à apprendre, à utiliser les technologies développées ailleurs, en passant par un processus qui implique souvent des investissements matériels et immatériels. Cette capacité à bénéficier des innovations venues de l'extérieur et à les convertir en des savoir-faire utiles à l'entreprise transite par de très nombreux canaux, comme le confirment les enquêtes internationales ». Boyer et Didier, (1998, p 22)³¹.

Les relations entre les trois phases du cycle économique (invention-innovation-diffusion) sont très complexes, car chaque étape influence les autres par de multiples canaux ; les nouveaux produits commercialisés sur le marché, grâce aux nouvelles idées, vont à leur tour susciter de nouvelles idées. La diffusion encourage la mise au point de produits nouveaux.

Plusieurs recherches économiques ont démontré que la diffusion des nouvelles technologies suit un processus d'évolution progressive. Ceci est clairement observé sur la courbe sous forme de S³², démarrant lentement lors de l'adoption de la nouvelle technologie, puis passant par une période de très forte progression suivie à la fin par une stagnation reflétant le degré de maturité de l'innovation, Jaffe et al, (2002)³³. À ce stade, ces innovations seront la base d'appui pour en développer de nouvelles.

Plusieurs raisons justifient le rythme de progression de cette courbe. De prime abord, la diversité de la capacité d'absorption des firmes qui adoptent ces nouvelles technologies. Pour

³⁰ Ibid.Op. Cit.p10.

³¹ Ibid.Op. Cit.p13.

³² Développée par Everett Rogers en 1962 et considérée à ce jour comme référence pour toutes les études sur la diffusion de l'innovation.

³³ Jaffe A.B., Newell R.G., Stavins R.N. (2002), "Environment Policy and Technological Change", *Environmental and Resource Economics*, Vol. 22, n°1-2, pp. 41-69.

certaines, elles doivent adopter des mesures radicales pour absorber cette nouvelle technologie, contrairement à d'autres où c'est plus accessible au vu de leur potentiel technologique mais également organisationnel.

Compte tenu du risque (au vu du coût de revient initial) que l'adoption d'une nouvelle technologie peut présenter, l'information est considérée comme un élément fondamental pour expliquer le rythme d'adoption des nouvelles technologies. En effet, le mécanisme de diffusion des nouvelles technologies est fortement lié au système d'information. Ce dernier a la particularité de prendre du temps pour que les nouvelles technologies soient diffusées pour tous les acteurs de manière optimale, et ce, quel que soit le niveau de l'avancement technologique du nouveau produit ou du nouveau procédé.

Un autre élément expliquant ce rythme, est la diversité du comportement des consommateurs, qui se présentent sous plusieurs profils, et ce, par rapport à leur rythme d'adoption du nouveau produit. Ceci est clairement démontré sur la courbe de la diffusion de l'innovation de Rogers, (1983)³⁴ où il explique le cycle de vie d'un nouveau produit ou nouveau procédé sur le marché.

À travers cette courbe, il présente le comportement, dans le temps, des différentes firmes et les consommateurs potentiels pour ces nouvelles technologies.

Sur la base de cette analyse, les firmes disposent d'une base de données (théorique) pouvant les aider à prendre des décisions quant à l'adoption de la nouvelle technologie ou non, et ce, en comparant le coût initial avec la valeur ajoutée qui peut être tirée dans le temps.

1-3-3-Modèles du processus d'innovation technologique :

1-3-3-1-Le modèle « linéaire » :

Dans le modèle classique, et jusqu'à la fin des années soixante-dix, le processus d'innovation était considéré comme linéaire, reliant avec effet de chaîne dans l'entreprise, la recherche, le développement, la conception technique puis la commercialisation.

La succession des éléments de ce système ne pouvait pas connaître un retour ni rétroaction. De prime abord, la recherche de base a une fonction d'éclaireur, de poisson pilote. Dressant la carte des connaissances, elle détecte les voies possibles d'avancée et identifie les impasses. Guellec, (2009, p100)³⁵. Cette recherche fondamentale fait naître

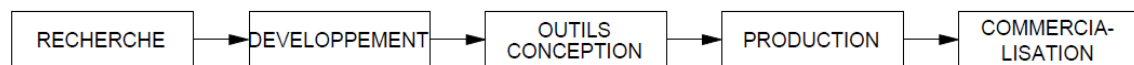
³⁴ Rogers.E.M, 1983, « Diffusion of innovations », 3^{ème} édition, Macmillan publisher, London.

³⁵ Guellec.D, 2009, Economie de l'innovation, Paris, La Découverte.

l'invention qui par son implantation sur le marché engendre l'innovation. L'étape finale reste la diffusion des nouveaux produits et procédés.

Les politiques industrielles qui s'appuyaient sur ce modèle, centraient leurs efforts seulement sur le renforcement en recherche. C'est d'ailleurs à partir de cette conception, que la recherche a retrouvé toute son importance dans la mesure du niveau d'innovation des industries mais également des pays.

Figure n°01 : Modèle linéaire de liaison entre la recherche et la production



Source : OCDE, (1994, p14)³⁶

1-3-3-2-Le modèle « interactif » :

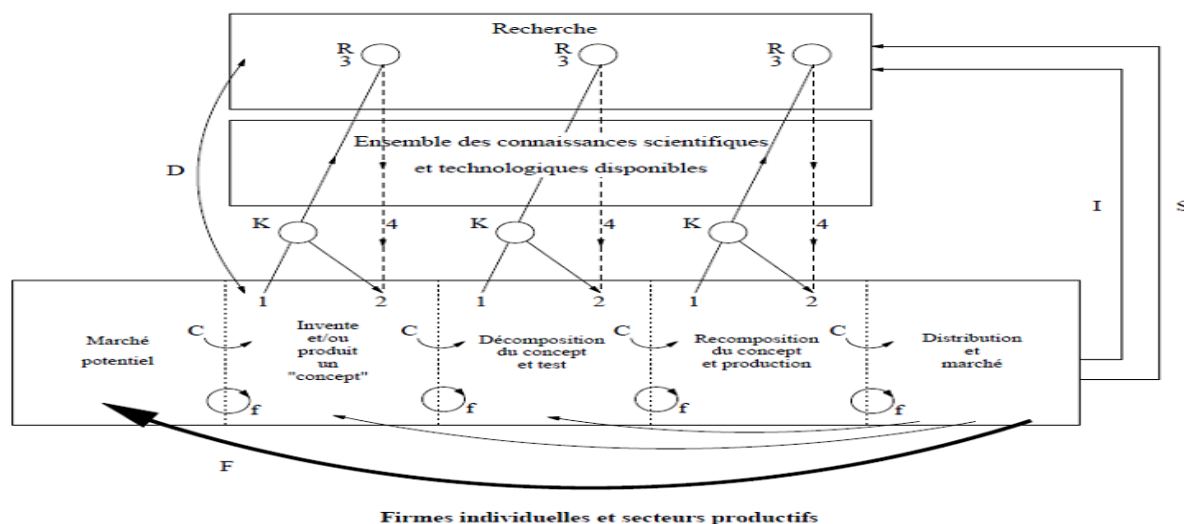
Pour le modèle « *interactif* », qui est apparu en remplacement du modèle classique, il n'existe pas d'enchaînement simple entre les différentes phases du processus mais des allers-retours permanents. Dans ces conditions, l'innovation est engendrée par deux côtés : d'un côté, par la demande sur le marché « *demand pull* » qui peut offrir à la firme innovante l'occasion d'élargir ses parts de marché et de l'autre côté par les opportunités technologiques « *technology push* » qui représentent le stock de connaissances de base disponibles qui lui sera comme appui pour développer de nouvelles techniques ou de nouveaux procédés.

L'accent est ainsi mis sur toutes les interactions qui peuvent surgir dans le processus qu'elles soient en amont ou en aval. C'est dans ce sens que l'analyse de l'environnement des firmes est cruciale car le processus d'innovation change avec le changement des réactions des firmes aux changements de leur environnement. Pour assurer la continuité de ce processus, les firmes doivent reconnaître les opportunités et bien réagir à travers la modification de leurs stratégies de produit.

Pour ce modèle, les interactions sont engendrées au départ par la production des connaissances techniques des chercheurs ou techniciens de l'entreprise, et qui sont ensuite développées selon les changements des besoins sur le marché.

³⁶ OCDE, 1994. La mesure des activités scientifiques et technologiques : Les données sur les brevets d'invention et leurs utilisations comme indicateurs de la science et de la technologie -Manuel brevet-, Paris.

Figure n°02 : Modèle interactif du processus d'innovation : modèle de liaison en chaîne



Source : OCDE, (1994, p 14³⁷).

Symboles des flèches du bas de la figure :

- C = Chaîne centrale de l'innovation.
- F = Boucles de rétro-action.
- F = Rétro-action particulièrement importante.

Liaisons verticales :

K-R : liaisons entre la connaissance et la recherche. Si le problème est résolu au noeud K, la liaison 3 avec R n'est pas activée.
 La liaison de retour, en provenance de la recherche (liaison 4) est problématique et figure en pointillé.
 D : liaison directe (aller-retour) entre la recherche et les problèmes qui découlent de l'invention et du concept.
 I : soutien apporté à la recherche scientifique par les instruments, les machines, les outils et les procédures technologiques.
 S : soutien de la recherche dans des domaines scientifiques sous-jacents à ceux des produits étudiés, afin d'obtenir directement des informations et de diriger des travaux faits à l'extérieur. L'information obtenue peut être appliquée partout le long de la chaîne.

1-3-3-3-Le modèle « en réseau » :

Après le modèle interactif, un troisième modèle est proposé, appelé « modèle en réseau » ou « modèle interactif d'apprentissage », basé sur une analyse de la nature de la

³⁷ Ibid.Op. Cit.p17.

connaissance dans un système d'innovation. En effet, le modèle met en avant la diversité des acteurs qui interviennent dans le processus d'innovation par le biais de l'apprentissage, influençant ainsi les résultats de l'innovation.

À la différence du modèle interactif, ce modèle stipule que la science n'est qu'une catégorie des sources de connaissances et ne se place pas nécessairement à l'étape initiale. Dans ce cas-là, les différentes formes d'apprentissage, favorisées par un cadre institutionnel plus large, se situent comme un complément à la science. Les apprentissages sont cumulés par les interactions des entreprises avec le reste des acteurs du processus, notamment les universités, qui sont considérées comme des entreprises commerciales vendant des connaissances sous forme de brevets. Havas, (2016)³⁸

Le nombre d'interactions dans ce modèle affectent l'efficacité du processus d'innovation, car cela permet d'offrir davantage de possibilités d'apprentissage, de connaissances et donc de retombées technologiques. Toutefois, le succès de certaines technologies n'est pas conditionné par l'ensemble des étapes du processus. Grubler, (1998).³⁹

1-3-4-Les activités d'innovation :

« Les activités d'innovation correspondent à toutes les opérations scientifiques, technologiques, organisationnelles, financières et commerciales qui conduisent effectivement ou ont pour but de conduire à la mise en œuvre des innovations. Certaines de ces activités sont-elles même innovantes, d'autres ne sont pas nouvelles mais nécessaires à la mise en œuvre d'innovations. Les activités d'innovation incluent également la R&D qui n'est pas directement liée à la mise au point d'une innovation particulière ». OCDE, (2005, p 55)⁴⁰.

Les activités d'innovation sont le résultat de l'exploitation de différentes sources de connaissances. À travers une enquête sur des firmes danoises, Havas, (2016)⁴¹, il a été mis en avant la distinction entre deux modes de connaissances : le premier fondé sur la production et l'utilisation des informations scientifiques et techniques, et le deuxième basé sur des processus informels pour l'apprentissage et le savoir-faire appelé *« the learning by doing »*.

Cet apprentissage concerne l'introduction des modes innovants d'organisation, de gestion et de marketing qui peuvent intervenir seuls ou en adaptation aux changements induits par les caractéristiques particulières des innovations technologiques.

³⁸ Ibid.Op. Cit.p13.

³⁹ In GEA, 2012: Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future. International Institute for Applied Systems Analysis, Vienna, Austria and Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

⁴⁰ Ibid.Op. Cit.p10.

⁴¹ Ibid.Op. Cit.p13.

D'un autre côté, d'autres travaux ont démontré que dans leurs recherches de la performance, les firmes doivent combiner les deux modes de connaissances. Ces études statistiques ont révélé qu'il est difficile d'introduire des innovations technologiques sans innovation organisationnelle, managériales et de commercialisation (marketing), qui ont été considérées comme vitales pour assurer le succès de l'innovation technologique. Havas, (2016)⁴²

1-3-5-Les sources de l'innovation technologique :

1-3-5-1-La recherche et développement expérimentale (R&D) :

La R&D représente la source principale de l'innovation technologique même si elle est remise en question par plusieurs auteurs car estimée insuffisante comme unique indicateur. Les données sur la recherche développement étaient, et restent d'ailleurs largement les principaux, indicateurs du niveau technologique d'une industrie ou d'un pays.

Sur le manuel de Frascati OCDE, (2015, p47)⁴³ elle est définie ainsi :

« *La recherche et le développement expérimental (R&D) englobent les activités créatives et systématiques entreprises en vue d'accroître la somme des connaissances – y compris la connaissance de l'humanité, de la culture et de la société – et de concevoir de nouvelles applications à partir des connaissances disponibles* ».

Le même manuel présente les critères (au nombre de cinq) permettant d'identifier les activités de R&D :

- *la nouveauté* : l'objectif premier de la R&D doit être l'obtention des nouveaux résultats.
- *la créativité* : les résultats obtenus doivent présenter un caractère original.
- *l'incertitude* : le temps ainsi que le volume de ressources nécessaires à son aboutissement doivent être incertains.
- *systématique* : son exécution ainsi que les modalités de son financement doivent être établies.
- *transférable et/ou reproductible* : les résultats obtenus doivent être librement transférés ou négociés sur le marché.

D'un autre côté, la notion de la R&D expérimentale englobe plusieurs composantes :

⁴² Ibid.Op. Cit.p13.

⁴³ OCDE, 2015, « Mesurer les activités scientifiques, technologiques et de l'innovation : Lignes directrices pour le recueil et la communication des données sur la recherche et le développement expérimental » -Manuel de Frascati- 7ème édition.

a- La recherche « interne » vs « externe » :

La recherche interne arrive en premier par ordre d'importance. Sa part de contribution comme origine de l'innovation est même bien plus importante que les sources publiques (externes) comme les universités ou les laboratoires de recherche. À travers l'analyse de leurs enquêtes, Boyer et Didier, (1998)⁴⁴ démontrent également le lien direct entre le degré de recours à la recherche interne et la taille de l'entreprise. En effet, les grandes entreprises recourent à la recherche interne bien plus que les petites ou moyennes entreprises. Ceci ne réduit pas pour autant la part de la recherche interne comparée aux autres sources pour toutes les entreprises quel que soit leurs tailles. Néanmoins, ils retrouvent un accès plus large aux bases de données publiques pour les grandes entreprises que pour les moyennes ou petites, et inversement un accès aux foires et expositions pour les petites et moyennes entreprises comparées aux grandes.

b- La recherche « fondamentale » vs « appliquée » vs « le développement expérimental » :

La recherche fondamentale et la recherche appliquée ont été définies dans le manuel de Frascati, OCDE, (2015, p53)⁴⁵ comme telles :

« La recherche fondamentale consiste en des travaux de recherche expérimentaux ou théoriques entrepris en vue d'acquérir de nouvelles connaissances sur les fondements des phénomènes et des faits observables, sans envisager une application ou une utilisation particulière ».

« La recherche appliquée consiste en des travaux de recherche originaux entrepris en vue d'acquérir de nouvelles connaissances et dirigés principalement vers un but ou un objectif pratique déterminé ».

Il est nécessaire de faire la distinction entre la notion de recherche fondamentale (science) et la notion de la recherche appliquée (technologie), même si différentes l'une de l'autre, elles sont souvent confondues, et ce, en raison de l'étendue de leurs découvertes. La recherche fondamentale est la base de la recherche appliquée. C'est à travers cette dernière, que des produits très rentables voient le jour. Mais sur certains créneaux tels que la génétique, ou les mathématiques, des recherches fondamentales ont permis la mise sur le marché de nouveaux concepts (comme pour les vaccins ou les logiciels) ou inversement, des recherches appliquées

⁴⁴ Ibid.Op. Cit.p13.

⁴⁵Ibid.Op. Cit.p20.

peuvent aboutir à des découvertes fondamentales (comme pour les supraconducteurs découverts par les chercheurs de IBM). Guellec, (2009)⁴⁶.

Le développement expérimental quant à lui, est défini par le même manuel comme :

« *Le développement expérimental consiste en des travaux systématiques – fondés sur les connaissances tirées de la recherche et l'expérience pratique et produisant de nouvelles connaissances techniques – visant à déboucher sur de nouveaux produits ou procédés ou à améliorer les produits ou procédés existants* ». OCDE, (2015, p54)⁴⁷

De son côté, la notion de « *développement expérimental* » ne doit pas être confondue avec celle de « *développement de produits* ». En effet, ce dernier englobe l'ensemble du processus de développement des nouveaux produits partant de l'invention à la commercialisation, en passant par la conception technique. Contrairement au « *développement expérimental* » qui ne constitue qu'une étape de l'ensemble du processus du produit, consistant à soumettre les connaissances aux tests validant ou pas l'aboutissement des nouvelles applications.

1-3-5-2-Le marché :

D'après les résultats de l'enquête de Boyer et Didier, (1998)⁴⁸, la première motivation de l'effort d'innovation par la firme est tout ce qui est lié aux produits ainsi qu'aux parts de marché : élargissement de la gamme, amélioration de la qualité, ouverture de nouveaux marchés. Ceci arrive même avant l'objectif de marge ou de la réduction des coûts de salariés.

1-3-5-3-L'acquisition de technologies développées à l'extérieur :

Pour Valenduc et Warrant (2001, p 4)⁴⁹, ceci comprend :

- l'acquisition de biens d'équipement technologiquement avancés, pour autant qu'ils ne relèvent pas de technologies standards.
- l'acquisition de brevets, de licences, de marques et de services technologiques.
- l'acquisition de logiciels avancés (pour autant qu'il ne s'agisse pas d'ensembles standards) ou de logiciels faits sur mesure.

⁴⁶ Ibid.Op. Cit.p16.

⁴⁷ Ibid.Op. Cit.p20.

⁴⁸ Ibid.Op. Cit.p13.

⁴⁹ Valenduc.G, Warrant, F, 2001, « L'innovation technologique au service du développement durable », working paper n°1, « Aspects conceptuels », Programme « levier du développement durable », Contrat de recherche n° HL/DD/020, Fondation travail université, Belgique.

1-3-5-4-La coopération en R&D :

Une forme de partenariat avec les firmes dans le même secteur et/ou les centres de recherches publics et privés permettant un enrichissement du stock général de connaissances.

2-L'innovation technologique vue par les théories économiques :

Le programme de recherche principal de la théorie économique de l'innovation est de croiser les différents concepts directement liés à l'innovation avec les grandeurs économiques en essayant d'identifier les multiples relations qui peuvent exister.

Plusieurs courants économiques se sont focalisés sur l'innovation et les différents concepts y afférents :

2-1-Les théories néo-classiques :

Les théories néoclassiques demeurent les plus dominantes avec leurs apports sur la question. Néanmoins, les apports de l'économie industrielle (la micro-économie) ne seront pas négligés car présentant les fondements microéconomiques de la théorie néoclassique, moderne plus précisément.

L'approche néoclassique consiste à considérer les agents économiques comme rationnels, cherchant en permanence à maximiser leurs utilités ainsi que leurs revenus. Pour y arriver, ils innovent dans le but d'en tirer un certain bénéfice.

L'équilibre qui apparaît en opposant « *ces producteurs du nouveau* » en concurrence, d'un côté, et les consommateurs de l'autre côté, implique des changements sur la structure du marché, des prix, des revenus, mais également sur la quantité des ressources investies. Ce volume d'allocations détermine le rythme du changement technique dans l'économie.

Depuis les années trente, l'économie industrielle tente de présenter l'organisation des marchés et des entreprises, et l'impact de leur comportement sur la performance de ces marchés, et ce, à travers un schéma d'analyse Structure-Comportement-Performance (SCP). Ces apports théoriques, longuement critiqués, ont été soutenus au cours des années quatre-vingt et quatre-vingt-dix par l'exploitation des nouvelles données provenant de la théorie des jeux et les techniques statistiques et économétriques qui arrivaient à faire des analyses plus concrètes avec le développement de la modélisation qui permettait de quantifier les comportements des entreprises avec le marché. Ceci a permis l'analyse de l'évolution des structures de marché ainsi que la nature de la concurrence, qui, devait être imparfaite⁵⁰ car présentant une description plus réaliste des marchés.

⁵⁰ Contrairement à la première vision endogène de Solow 1957 avançant une hypothèse de concurrence pure et parfaite.

Pour l'économie industrielle, le processus d'innovation a été intégré en supposant que les conditions de la concurrence pure et parfaite ne peuvent pas être respectées totalement par les firmes, et que les rendements marginaux avancés par la théorie endogène, sont générés par la proposition des produits différents.⁵¹

Cette nouvelle conception, s'appuie sur les difficultés rencontrées par la théorie néoclassique traditionnelle pour analyser correctement les retombées du progrès technique sur la croissance économique du fait de sa considération comme facteur externe à cette croissance.

L'intégration des paramètres de l'innovation dans le processus, a été longuement soutenue également par les modèles de la théorie endogène seconde génération⁵², conduisant ainsi à fournir une analyse plus poussée des conséquences du progrès technique sur la croissance économique.

Romer, (1990)⁵³, a été le premier à intégrer le changement technologique comme facteur interne à la croissance. À travers ces études, il démontra que des subventions publiques favorisant l'accumulation de capital physique ne peuvent pas conduire forcément à une incitation pour les firmes à entreprendre la recherche. En revanche, des subventions visant l'accumulation du capital humain seront primordiales pour assurer l'orientation de ces firmes vers la recherche. Il expliqua que cette augmentation du stock de capital humain aura une influence positive sur une croissance rapide de l'économie. C'est ce qui fait pour lui d'ailleurs la différence entre les pays développés et les pays en voie de développement.

Cette théorie suggère que, le commerce international peut agir ici comme un véritable accélérateur de croissance, et ce, en permettant aux économies d'atteindre le niveau de capital humain nécessaire. Ainsi, l'ouverture de ces économies avec le reste du monde, leur offre l'assurance de bénéficier d'une forte intégration économique.

L'approche de Aghion et Howitt, (1992)⁵⁴ quant à elle, présente un modèle de croissance endogène et intègre le changement technologique en s'appuyant sur la logique de « *la destruction créatrice* » de Schumpeter (1937) qui stipule que par leurs efforts en recherche, les firmes recherchent le monopole sur le marché qui est assuré suite à la mise sur le marché d'une nouvelle innovation. Néanmoins, cette sécurité se voit détruite par de nouvelles innovations qui

⁵¹ Initialisation du concept de différenciation (horizontale et verticale) par Hotelling (1929) et Chamberlin (1933), traitant l'impact de la différenciation des produits sur le comportement des agents économiques et ainsi sur la croissance.

⁵² Notamment par (Romer, 1990), Grossman et Helpman (1990), (Aghion et Howitt, 1992).

⁵³ Romer.P.M, 1990, « Endogenous technological change », Journal of Political Economy, vol 98, N°5, part2.

⁵⁴ Ibid. Op. Cit.p11.

la rendront totalement obsolète. Cet enchaînement d'étapes permet un renouvellement permanent et efficace du stock de connaissance dans une économie.

Pour eux, la concurrence entre les firmes implique des nouvelles recherches qui généreront des innovations qui à leurs tours assureront la croissance. Ils avancent d'ailleurs que cette croissance est le résultat exclusif du progrès technologique.

Le capital humain pour ce modèle a également toute son importance. Il le présente comme l'élément qui affecte le taux d'arrivée des innovations, et ce, par le biais des efforts en R&D des firmes.

À partir du facteur humain, ce modèle de base peut offrir des extensions d'analyse qui toucheront d'autres paramètres du cycle économique comme le marché du travail qui sera directement affecté par la concurrence et les changements technologiques qui y résultent.

Les travaux de Grossman et Helpman, (1990)⁵⁵ de leur côté, s'appuient sur une présentation de la progression du processus de l'innovation dans le temps.

Ainsi, le processus d'amélioration continue des produits développés dans cette approche se fonde sur une progression hasardeuse de chaque produit séparément sur l'échelle de qualité. Toutefois, l'équilibre est représenté par le taux global de l'innovation déterminé et constant. Ainsi, il n'est pas question d'analyser l'émergence de nouveaux produits ou concepts sur le marché, mais d'une nouvelle génération ou d'un ensemble de biens.

Cette vision plus généraliste et non individualiste du processus permet de capturer des aspects plus réalistes liés à la non uniformité des technologies et des rythmes d'innovation dans l'ensemble des secteurs dans une économie.

La vision de l'innovation pour l'ensemble de ces auteurs diffère. En effet, pour Romer, (1990)⁵⁶, l'innovation consiste à produire et « *ajouter* »⁵⁷ des biens d'équipement aux anciens, alors que pour Aghion et Howitt, (1992)⁵⁸, l'innovation permettrait de « *remplacer* »⁵⁹ les anciens biens. Néanmoins, ces théories ont abouti à la même conclusion ; un troisième secteur lié à la recherche pour produire la technologie est à inclure au secteur de la production des biens

⁵⁵ Grossman.M, Helpman.E, 1990, « Trade, innovation, and growth », The American Economic Review, vol.80, N° 2, papers and proceedings of the Hundred and second Annual Meeting of the American Economic Association (may, 1990), pp 86-91.

⁵⁶ Ibid.Op. Cit.p24.

⁵⁷ Différenciation horizontale

⁵⁸ Ibid. Op. Cit.p11.

⁵⁹ Différenciation verticale

d'équipement. Pour Grossman et Helpman, (1990)⁶⁰ la recherche pour produire la technologie est à intégrer au secteur de la production des biens de consommation.

2-2-Les théories évolutionnistes :

L'approche évolutionniste est une approche alternative à la théorie néoclassique. Elle est apparue à la fin des années 70, les auteurs pionniers de cette théorie⁶¹, se sont beaucoup inspirés des travaux de Joseph Schumpeter. Cette approche est une proposition de théorie de changement en économie. Ses auteurs s'intéressent à l'analyse des comportements des firmes pour s'adapter aux changements permanents du marché. Ainsi, le cadre d'analyse de cette théorie propose une nouvelle conceptualisation du processus de l'innovation ainsi que sa relation avec la croissance. Arena et Lazaric, (2003)⁶²

La notion de l'équilibre sur le marché est la première différence entre l'approche néoclassique et l'approche évolutionniste. En effet, Schumpeter estime que le déséquilibre sur le marché est une situation « normale » et le définit comme une situation où les agents subissent leurs positions en conséquence des choix des autres agents, et donc l'innovation est considérée comme source de déséquilibres sur le marché mais en même temps réponse à ces déséquilibres. La firme sera ainsi face à un autre objectif plus crucial que la maximisation des profits, l'objectif de survivre. Les firmes réagissent aux déséquilibres existants en innovant, ajoutant à leurs tours de nouveaux déséquilibres.

La rationalité illimitée des agents économiques est également remise en question. Les firmes sont considérées comme dotées de rationalité limitée, car ne pouvant explorer l'ensemble de choix d'opportunités présents dans l'espace, mais doivent se limiter aux choix leur procurant les résultats prédéterminés pour survivre.

Afin d'atteindre leurs objectifs pour survivre, les firmes mettent en place des processus d'exploration ou de recherche. Cette théorie présente ces comportements en recherche comme des « routines organisationnelles » les comparant ainsi à des « gènes » en biologie. Ces routines assurent aux firmes les capacités d'apprentissage permanentes et évolutives, et ce, étant donné que la firme ne se limite pas uniquement à un seul acteur ou entrepreneur mais à un ensemble d'individus, ces routines qui lieront leurs comportements entre eux vont permettre à la firme

⁶⁰ Ibid. Op.Cit.

⁶¹ Notamment Richard R.Nelson et Sidney G.Winter à travers leur ouvrage de référence "An evolutionary theory of Economic Change.

⁶² Arena.R, Lazaric.N, 2003, « La théorie évolutionniste du changement économique de Nelson et Winter : une analyse économique rétrospective », Revue Economique, Presses de Science Po, pp 329-354.

d'atteindre un certain degré de cohérence. Ainsi, les firmes en concurrence se différencient entre elles par le cumul des compétences.

Pour la théorie évolutionniste, la dynamique concurrentielle créée par l'initiative individuelle et la capacité d'innovation des firmes est soutenue par un processus de sélection ne laissant survivre que les plus adaptées à la demande ce qui peut refléter l'efficacité d'un tel système au niveau social.

2-3-Les théories néo-schumpétériennes :

Dans la lignée des théories évolutionnistes, les recherches néo-schumpétériennes s'intéressent au champ d'analyse de l'innovation technologique et sa relation avec la croissance économique. Ces nouvelles approches même si elles sont similaires dans leurs formalismes avec les théories néoclassiques, elles présentent des objectifs très distincts. Arena et Lazaric, (2003)⁶³.

En plus de la notion de sélection technologique des firmes sur le marché, initiée par l'approche évolutionniste, une autre dimension est illustrée dans l'approche néo-schumpétérienne qui est le concept de système national d'innovation (SNI), qui s'appuie sur l'insertion des firmes dans un tissu institutionnel contribuant à soutenir la nouveauté. Arena et Lazaric, (2003)⁶⁴. Ainsi, les études empiriques de ce courant analysent les conditions institutionnelles et sociales propices à l'émergence de l'innovation technologique.

Cette approche est née en réponse des observations de la politique technologique japonaise. Pour Freeman (1982-1987), la performance de ces firmes réside dans le poids des institutions pour la production et la diffusion de la technologie. Cette nouvelle réflexion s'appuie sur les apports de Joseph Schumpeter qui exigent une adaptation sociale et culturelle du système capitaliste face à un choc technologique. Face à de tels changements, une nouvelle dynamique doit lier l'ensemble des interactions qui doivent initier, importer, modifier et diffuser les nouvelles technologies. Cette nouvelle dynamique est assurée par la capacité d'absorption des firmes d'un côté, mais aussi par la qualité du système de l'éducation et de formation pour assurer la diffusion des nouvelles technologies. Arena et Lazaric, (2003)⁶⁵.

Une nouvelle reformulation de la concurrence a été abordée également par cette nouvelle approche qui, en présentant la même caractéristique imprévisible de la concurrence sur le marché, avait ajouté l'importance des petits événements institutionnels et sociaux qui

⁶³ Ibid.Op. Cit.p26.

⁶⁴ Idem

⁶⁵ Idem

peuvent affecter le processus d'adoption. Ainsi, le processus de sélection du marché ne favorisera pas les meilleures innovations technologiques mais celles adoptées en premier.

Alors que pour Nelson et Winter, la position des firmes sur le marché était soutenue par les effets d'apprentissages assurés par le cumul des connaissances. Pour ce courant, ce sont les adoptions précoces par le système qui leur assurent la survie.

3-Introduction au concept de « durabilité » en économie :

Dans un premier temps, il est nécessaire de faire le point sur les différentes conceptions du développement durable à travers le temps.

L'ONU⁶⁶ demeure la première organisation à s'être interrogée sur les conditions du développement durable à l'échelle internationale en rassemblant ainsi tous les pays vers une problématique commune.

À travers le rapport de Brundtland, la Commission mondiale de l'environnement et du développement a présenté le développement soutenable, appelé par la suite « durable » comme « un développement qui répond aux besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs ». Brundtland, (1987, p 40)⁶⁷.

Nous nous pencherons dans ce point, sur les conceptions des économistes qui se sont formées autour de la question de la durabilité. Nous retracerons ainsi, les différentes approches et typologies de la durabilité. Cette diversité de conception prend appui sur la divergence d'application du capital naturel renouvelable et non renouvelable.

3-1-Le développement durable vu par la théorie économique néoclassique (le modèle de soutenabilité faible) :

Cette théorie est un prolongement de la vision endogène de croissance⁶⁸, qui maintient la substitution entre les différents facteurs de production (entre le capital technique et capital naturel), On parle ici alors d'une « *soutenabilité faible* ».

Nous avons là l'expression d'un modèle de « soutenabilité faible », au sens où les contraintes qui pèsent sur la dynamique économique pour se mettre sur la trajectoire d'un développement soutenable ne sont pas très fortes. Vivien, (2009, P 76)⁶⁹.

Avec un objectif final de garder une non-décroissance du bien être individuel dans le temps, les facteurs de production (techniques et naturels) sont rassemblés dans un seul facteur

⁶⁶ ONU : Organisation des Nations Unies

⁶⁷ Ibid.Op.Cit. p 01.

⁶⁸ Initiée par Solow en 1956.

⁶⁹ Vivien.F.D, « les modèles économiques de soutenabilité et le changement climatique », Regards croisés sur l'économie, n°06, édition la découverte, 02/2009.

global qui doit rester constant, « dans le temps », lors d'une trajectoire de croissance dite « optimale ». Dès à présent, on parle de « *croissance durable* »⁷⁰

Il est alors question de maintenir le même niveau de bien être entre les générations présentes et futures, pour cela, il est nécessaire d'intégrer le facteur de progrès technique sur le schéma optimal de Hotelling de 1931⁷¹. Ce qui peut conduire à la réalisation de substituts⁷², qui permettront à la croissance d'être « *durable* ». L'épuisement progressif des ressources naturelles non renouvelables est compensé par l'augmentation de leurs prix.

Selon Robert Solow en 1992 : la génération présente consomme du « *capital naturel* » et, en contrepartie, lègue aux générations futures davantage de capacités de production sous forme de stocks d'équipements, de connaissances et de compétences. Vivien, (2009, P 76)⁷³.

La loi de Hartwick vient renforcer cela, en soulignant la nécessité du réinvestissement des rentes provenant des ressources, et avance l'importance de l'État pour assurer cela, avec la mise en place des systèmes de taxations spécifiques. Avec cette vision, cette loi rejoint celle de Solow, sur l'intervention de l'État sur la formation, ou sur la gestion des dépenses en R&D⁷⁴.

Par ailleurs, avec un alignement du modèle de croissance de Solow, une modélisation macroéconomique a été établie en tenant compte de l'interaction du climat avec l'activité économique.⁷⁵ Ceci a permis de suggérer qu'avec l'accumulation du capital technique et de la croissance, les générations futures auront plus de facilités à gérer le changement climatique que les générations présentes et seront ainsi plus riches. Ce futur acquis permettrait aux générations futures une compensation de la raréfaction des ressources.

3-2-Le développement durable vu par l'économie écologique (le modèle de soutenabilité forte) :

Contrairement à l'approche des économistes néoclassiques, les économistes écologiques avancent que le capital technique et le capital naturel, ne peuvent pas être parfaitement substituables. Avec cette approche, l'accent est mis sur le maintien du capital naturel et la conservation des ressources pour les générations futures, car l'économie humaine est entièrement dépendante des écosystèmes naturels.

⁷⁰ La notion a été initiée en 1994 par Beckerman.

⁷¹ Théorie qui s'appuie sur la raréfaction des ressources épuisables qui influence l'augmentation des prix.

⁷² L'hypothèse « ADHOC » des néoclassiques stipule que la raréfaction des ressources pousse à une augmentation des prix qui mène à la mise au point des technologies de rechange (ou techniques de secours).

⁷³ Ibid.Op. Cit.p28.

⁷⁴ Idem.

⁷⁵ Le modèle DICE établie en 1977 pour *Dynamic integrated climate-economy*.

Pour cette approche, la limitation de l'utilisation du capital naturel impliquerait un arrêt de la croissance ainsi qu'une décroissance des inputs. Cette « dématérialisation » de l'économie conduira à une forte contribution du changement technique. Faucheux et Nicolai, (1998)⁷⁶.

Cette nouvelle approche dite de « soutenabilité forte » comprend trois écoles :

3-2-1-L'Ecole de Londres :

Ce courant prend appui sur une certaine réconciliation entre les deux approches de soutenabilité faible et de soutenabilité forte. En effet, l'école tente de préserver à la fois l'environnement mais en assurant également une croissance économique.

Parmi ces principales hypothèses, la distinction entre deux sortes de capitaux naturels : les premiers avec une dégradation réversible et les autres appelés « critiques » et dont les dommages potentiels sont irréversibles et pour lesquels aucun substitut n'existe.

Pour cette école, les modèles présentés définissent « Les normes minimales de sauvegarde » qui représentent les seuils de soutenabilité à atteindre pour une croissance optimale Hotling (1991). Cette approche justifie l'intervention publique pour la fixation de ces seuils.

3-2-2-L'Ecole de l'écologie industrielle :

L'intervention de l'État n'a pas son importance pour ce courant mais un changement institutionnel « spontané » est nécessaire pour atteindre une croissance durable Porter (1995) et Erckman (1998). En effet, cette approche rejoint celle de Coase (1960) et identifie qu'avec des coûts de transaction négligeables et une information suffisante, les choix privés des acteurs agissant d'une manière spontanée, avec une perspective « gagnant- gagnant » permettra une auto régulation et la réalisation de l'écosystème visé. Jordan et Vivien, (2005)⁷⁷.

Ainsi, le rôle de l'État doit se limiter aux défaillances du marché. Cette vision ne s'éloigne pas beaucoup de celle des néoclassiques à la différence de la relation entre l'économie et l'écologie.

3-2-3-L'Ecole américaine :

Cette troisième approche est la plus radicale. Son hypothèse principale, développée initialement par Daly (1992), repose sur l'impossible substitution entre le capital naturel et le capital technique. La condition pour un développement durable, réside dans le maintien d'un

⁷⁶ Faucheux S., Nicolai. I, 1998, « Les firmes face au développement soutenable : changement technologique et gouvernance au sein de la dynamique industrielle, dans la Revue d'économie industrielle », n°83.

⁷⁷ In Destais.G, « Les théorisations économiques du développement durable ; proposition de décryptage critique », colloque international francophone, « le développement durable : débats et controverses », 15 et 16 décembre 2011, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.

niveau constant, dans le temps, du stock de capital naturel. Ce développement est le maximum à atteindre sans diminuer l'actif naturel qui est considéré comme une ressource de base qui doit égaliser les droits et les intérêts des générations présentes et futures.

3-3-L'approche « écosystémique » du développement durable :

Le défi majeur de cette approche est d'assurer la survie de l'écosystème humain et naturel à l'échelle planétaire. Pour faire face à ces défis, l'analyse systémique se penche, de prime abord, sur la définition des limites du système. Ensuite à une identification de ses composants les plus importants afin d'en tirer les différentes interactions entre eux.

Trois variantes découlent de cette approche :

3-3-1-Naturaliste :

Cette vision met l'accent sur l'environnement et la nécessité de le préserver pour les générations futures. Aucune interaction entre l'homme et l'environnement n'est présentée, car l'approche présente l'homme comme élément de cet environnement.

3-3-2-Progressiste :

Il s'agit ici d'une notion dynamique qui présente l'environnement comme résultat des différentes interactions entre l'homme et la biosphère. L'évolution de l'environnement implique l'évolution du progrès technique et le progrès social.

3-3-3-Techniciste :

Cette vision quant à elle s'intéresse au concept de gaspillage causant la dégradation de l'énergie et la matière dans la biosphère, et propose l'innovation technologique comme solution à ses problèmes. Elle introduit, contrairement aux deux autres approches, les concepts tels que : le transfert de technologie, la notion de cycle de vie, ainsi que le concept de filière technologique ou de produits.

4-L'innovation technologique environnementale :

4-1-Définition et typologie :

« Une innovation environnementale peut être définie comme une solution ou un ensemble de solutions alternative(s) permettant (plus efficacement que les solutions existantes) de mesurer, de surveiller, de limiter, de corriger, voire de prévenir les atteintes à l'environnement et au climat ou, plus largement, de respecter les objectifs du développement durable. Ces solutions peuvent être tout autant de nature technologique, organisationnelle, managériale ou encore institutionnelle ». Depret et Hamdouch, (2009, p130)⁷⁸

⁷⁸ Depret M.H, Hamdouch.A, 2009, « Quelles politiques de l'innovation et de l'environnement pour quelle dynamique d'innovation environnementale ? », De Boeck Supérieur, Innovation n° 29, 1/2009, pages 127 à 147.

Les innovations environnementales qu'elles soient appliquées sur un large secteur ou uniquement au niveau local de la firme, permettent de limiter les externalités négatives, et ce, en apportant des solutions soit pour faire face à la raréfaction des ressources (eau, matériaux, énergie ...) limitant ainsi les inputs dans les processus de production ou de gestion, ou sinon en apportant des solutions pour la réduction des déchets et rejets dans l'écosystème.

Les innovations environnementales peuvent être :

a- Technologiques (techniques) :

Pour les innovations technologiques environnementales, leur application à grande échelle permet d'améliorer d'une manière significative le processus industriel et élargir le champ de connaissances pour les futures innovations. Elles peuvent être Incrémentales⁷⁹, radicales, additives ou intégrées.

b- Non technologiques :

Il s'agit de l'innovation apportée aux modes d'organisation, ou aux pratiques et routines au sein des firmes. Ces améliorations sont opérées pour permettre à la firme d'intégrer la dimension environnementale. Ces démarches peuvent être poussées par une réglementation en vigueur, cela peut concerner par exemple des démarches de sensibilisation pour les salariés, ou même les clients ou les fournisseurs.

c- Mixtes (systémiques) :

Comme son nom l'indique, il s'agit d'un mix entre les deux premières catégories. Elles impliquent à la fois les innovations technologiques et organisationnelles.

Il est à préciser que d'autres expressions liées à la technologie environnementale peuvent être utilisées. Nous pouvons citer à ce titre les technologies vertes, les technologies propres, les technologies soutenables.

4-2-Caractéristiques de l'innovation technologique environnementale :

4-2-1-Les technologies additives versus les technologies intégrées :

Les technologies additives (add-on technology) ou (end of pipe) ou (end of process) ou « *curatives* » sont les mécanismes que les firmes ajoutent à leurs produits ou procédés déjà existants, leur permettant de fonctionner tout en diminuant les dommages environnementaux. Cela peut concerner les dispositifs ajoutés pour mesurer ou contrôler les consommations des produits en ressources naturelles (contrôle des pertes d'énergie, par exemple) ou les mécanismes de recyclage des déchets.

⁷⁹ Terme généralement utilisé par les informaticiens pour décrire un ajout par palier, petit à petit, afin d'être certain que chaque valeur ajoutée apporte une amélioration sans créer de dysfonctionnement.

Les technologies intégrées ou « *préventives* » quant à elles, sont incluses au produit ou procédé lors de leur conception. Elles présentent un coût plus important que les technologies additives, car nécessitant un effort plus important en R&D. Nous pouvons citer notamment :

- les procédés installés permettant aux produits d'être plus performants tout en réduisant la consommation en énergie et en matières premières,

- les procédés qui permettent aux produits d'être recyclables, ou de prolonger leurs durées de vie sont aussi considérés comme étant des technologies intégrées. Les exemples concernent : « les éco-produits sans phosphate ou consommant peu d'énergie, processus chimiques sans chlore, peintures sans solvant, réutilisation des rejets thermiques, système de cogénération, biocarburants, énergies renouvelables, nouveaux matériaux, agro biotechnologies, technologies ou énergies ne rejetant pas ou peu de CO₂, etc. » Depret et Hamdouch, (2009, p131)⁸⁰.

Le tableau suivant présente une comparaison des deux types de technologies :

Tableau n°01 : Comparaison entre les technologies additives et les technologies intégrées

	Technologies additives	Technologies intégrées
Productivité globale	Réduction de la productivité	Potentiel d'accroissement de la productivité
Coût de production	Plus élevés	Potentiel de diminution des coûts
Charge d'investissement	Faible	Élevée
Augmentation des coûts fixes	Généralement non	Possible
Coûts d'accès et coûts d'information	Faibles	Élevés
Coût d'adaptation ou de reconversion	Faibles	Élevés
Comptabilité dans l'entreprise	Élevée	Faible
Risque économique	Faible	Élevé
Position sur le marché des technologies environnementales	Très bonne	Potentiellement très bonne
Compétitivité internationale	Tendance à l'affaiblissement	Avantages compétitifs potentiels dans le futur

Source : Valenduc.G, Warrant.F, (2001, p19)⁸¹.

⁸⁰ Ibid.Op. Cit.p31.

⁸¹ Ibid.Op. Cit.p22.

Contrairement aux innovations additives, les innovations intégrées permettent un accroissement de la productivité et peuvent présenter, sur le long terme, des avantages compétitifs sur les marchés internationaux. De tels effets poussent les gouvernements à apporter des modifications importantes sur les réglementations environnementales, en réponse à une structuration différente du marché.

Néanmoins, les technologies intégrées supposent un poids important de l'investissement, d'importants coûts fixes ainsi qu'un risque économique associé qui dissuade les petites et moyennes entreprises de s'engager dans un tel créneau.

Des études menées en Allemagne montrent que les investissements en technologies additives ne modifient pas sensiblement la position compétitive sur les marchés internationaux, car ils pèsent peu dans l'ensemble des facteurs qui affectent la compétitivité, notamment les facteurs financiers (taux d'intérêt et taux de change) et le coût de travail. Valenduc et Warrant, (2001, p 18)⁸².

Avec des coûts d'investissement, d'adaptation et de reconversion réduits, les technologies additives restent accessibles aux petites et moyennes entreprises. Toutefois, la diffusion à grande échelle des technologies intégrées les rend totalement inutiles.

4-2-2-Les innovations incrémentales versus les innovations radicales :

Les innovations incrémentales ou « *progressives* » n'introduisent pas de ruptures majeures aux produits ou aux procédés, il s'agit uniquement de perfectionnements visant à l'amélioration de la performance, de la productivité, ou bien de la diversité. Ainsi, la modification apportée sur un sous-système faisant partie d'un système complexe comme par exemple l'introduction du freinage ABS est considérée comme une innovation incrémentale.

À l'opposé, les innovations radicales *appelées* aussi « *de rupture* » ou « *de percées nouvelles* » apportent des bouleversements importants permettant de créer un nouveau système technique soit en faisant intervenir des technologies radicalement nouvelles ou bien reposant sur des nouvelles combinaisons de technologies déjà existantes qui permettent une fonctionnalité complètement nouvelle. Le cumul des technologies radicales conduit à une réinvention du marché, le micro-ordinateur ou le magnétoscope par exemple.

Par rapport aux technologies de l'environnement, la plupart des technologies additives et des technologies intégrées appartiennent à la catégorie des innovations incrémentales.

⁸² Ibid.Op. Cit.p22.

Faucheux et Nicolai ; (1998) ; Huesemann, (2003) ; del Rio González, (2005) ; Hellström, 2007 ; Montalvo, (2008)⁸³

Même s'il existe des innovations radicales telles que le solaire photovoltaïque, le biocarburant ou bien la chimie sans chlore, elles découleraient, selon Faucheux et Nicolai, (1998)⁸⁴, des progrès réalisés dans d'autres systèmes de recherche et non pas des recherches pour l'environnement tels que la chimie de synthèse, les nouveaux matériaux, les biotechnologies, la microélectronique, etc., en raison, notamment de l'insuffisance des efforts de R&D dans le champ des technologies environnementales. Or ce sont les ruptures technologiques radicales qui autorisent une transformation du système productif, une modification des modes de consommation et des modes de vie en amorçant une nouvelle trajectoire technologique qui finit par coïncider avec une trajectoire de développement durable.

4-3-Les déterminants des innovations environnementales :

La littérature économique place l'innovation technologique comme résultat de deux mécanismes : les mécanismes de demande et les mécanismes de l'offre.

4-3-1-Le mécanisme de demande (Market Pull) :

Ce mécanisme, appelé également « *la demande induite* » a été traité pour la première fois par Sir John Hicks en 1932 :

« *a change in the relative prices of the factors of production is itself a spur to innovation and to invention of a particular kind directed for economizing the use of a factor which has become relatively expensive* ». Pillu et Koleda, (2011, p 108)⁸⁵.

Cette hypothèse suggère que l'augmentation du prix du facteur de production (énergie par exemple), implique une modification des comportements des agents, les obligeant à réduire leurs consommations. Les entreprises interviennent à ce moment pour proposer des nouveaux produits innovants qui arrangent leur demande.

Plusieurs études viennent confirmer cette approche à travers des analyses micro-économiques soulignant la forte liaison entre l'augmentation des prix et l'adoption de nouvelles technologies. Tel que démontré par Ohta et Griliches, (1986)⁸⁶, à travers leurs études sur le

⁸³ In Depret M.H, Hamdouch.A, 2009, « Quelles politiques de l'innovation et de l'environnement pour quelle dynamique d'innovation environnementale ? », De Boeck Supérieur, Innovation n° 29, 1/2009, pages 127 à 147.

⁸⁴ Ibid.Op.Cit. p30.

⁸⁵ Pillu.H, Koleda.G, « Déterminants de l'innovation dans les technologies énergétiques efficaces et renouvelables », La Documentation Française, n° 197-198, 01/2011.

⁸⁶ In Pillu.H, Koleda.G, « Déterminants de l'innovation dans les technologies énergétiques efficaces et renouvelables », La Documentation Française, n° 197-198, 01/2011.

changement d'évaluation de la qualité des voitures par les consommateurs face à l'augmentation du prix du carburant aux États Unis sur une période allant de 1970 à 1981.

4-3-2-Le mécanisme de l'offre (Technology Push) :

Le concept « *technology push* » a été traité par Nordhaus en 1973. Il intervient en contradiction du concept précédent « *Market pull* » quant à l'ignorance de l'origine des connaissances.

Cette vision, suggère que l'innovation est le résultat des opportunités technologiques, elles-mêmes résultat des efforts d'inventeurs qui puisent dans un stock de connaissances déjà existant. Cette conception estime que, même avec de fortes incitations de marché, les entreprises ne prendront pas le risque d'investir dans les activités d'innovation lorsque le niveau des connaissances est bas.

Cette même littérature, suppose que l'innovation doit être stimulée simultanément d'un côté, par la demande du marché et de l'autre côté par les opportunités technologiques. Popp, (2002)⁸⁷ a démontré à travers l'analyse d'une base de données allant de 1970 à 1994, que les prix de l'énergie ainsi que la qualité du savoir technologique existant, impliquent fortement et positivement l'innovation.

« *L'innovation est donc conçue comme une interaction entre, d'une part les possibilités offertes par le marché et, d'autre part, la base des connaissances technologiques et les moyens dont dispose l'entreprise* ». Boyer et Didier, (1998, p18)⁸⁸.

Ces déterminants influencent chacune de leur côté les instruments publics visant la technologie. De ce fait, les dépenses ainsi que les subventions publiques destinées à inciter la R&D se réfèrent aux politiques d'offre. Tandis que, les allègements fiscaux sur les équipements moins énergivores ou les politiques de tarifs d'achat se réfèrent aux politiques de demande.

Cette identification est particulièrement importante dans la détermination de l'intervention publique appropriée. Comme par exemple : une politique fiscale inappropriée peut causer des dérèglements majeurs, lorsque celle-ci ne prend pas en considération le niveau de l'avancement technologique du produit. Elle impliquera des tarifs d'achat trop élevés sans que la technologie soit au point.

⁸⁷ In Thaillan.P, 2005, « L'analyse évolutionniste des innovations technologiques : L'exemple des énergies solaire photovoltaïque et éolienne », thèse de doctorat, Université Montpellier I, France.

⁸⁸ Ibid.Op. Cit.p13.

Section 2 : politiques publiques pour l'innovation environnementale

Depuis la fin des années quatre-vingt plusieurs groupes internationaux actent pour sensibiliser la communauté internationale quant aux possibilités d'agir contre le réchauffement climatique sans pour autant mettre en péril la croissance économique.

Ces mêmes rapports, mettent en avant le poids des implications économiques des mesures qu'elles soient institutionnelles ou de marché qui doivent être mises en œuvre rapidement, et ce, dans une perspective à moyen et long terme.

Il est constaté, néanmoins, une divergence de positions quant aux actions à engager pour faire face à ce phénomène. Et ce même s'il existe des manifestations et rapports qui mettent tout le monde d'accord sur l'urgence de la situation, avec des solutions intéressantes formulées par l'analyse économique. En effet, les programmes gouvernementaux ont tendance à placer les mécanismes et les technologies à caractère écologique dans un second rang. Depret et Hamdouch (2009)⁸⁹.

Aujourd'hui, les technologies environnementales appartiennent à la catégorie des innovations incrémentales. Or, c'est avec une adaptation à long terme des technologies radicales, que les économies parviendront à suivre une trajectoire de croissance économique durable, Depret et Hamdouch, (2009)⁹⁰. Ceci est conditionné par une prise de mesures adaptées ainsi que des allocations financières importantes.

À travers cette section, nous mettons, dans un premier temps, en lumière le poids de l'implication des acteurs économiques pour assurer une transition à la fois économique et environnementale. Cette analyse nous mène à identifier les limites du marché et la nécessité du rôle de l'État pour l'amélioration des conditions d'incitation aux innovations technologiques.

Dans un second temps, nous passerons en revue les différents mécanismes et politiques évoqués par la littérature économique et qui visent la promotion des innovations technologiques environnementales.

En dernier lieu, nous examinerons les retombées de ces politiques sur la nature des innovations technologiques environnementales. À travers ce point, nous pointons du doigt les raisons qui orientent les acteurs vers les innovations environnementales incrémentales au détriment des innovations environnementales radicales.

⁸⁹ Ibid.Op. Cit.p31.

⁹⁰ Idem

L'intérêt porté sur ce sujet est justifié par la forte influence de l'innovation technologique sur l'environnement, mais aussi parce que les politiques économiques telles qu'elles sont mises en place offrent des incitations mais également des contraintes qui affectent le processus du développement technologique. Jaffe et al, (2002)⁹¹.

1-Innovations technologiques environnementales et limites du marché :

Dans le domaine de la technologie, le marché ne peut à lui seul induire à l'innovation technologique environnementale. Plusieurs éléments peuvent justifier cela :

a- La dépendance des firmes et des individus au passé : comportement justifié par la théorie « *path dependence* », qui stipule que les acteurs continuent d'innover seulement dans les domaines où ils excellent. Ainsi face à un choix entre les technologies propres ou sales, les firmes choisissent la plus rentable d'entre les deux. Sans une véritable intervention publique la technologie propre ne peut jamais décoller. Aghion et al (2009)⁹².

b- La différence entre le rendement privé et le rendement social : les agents privés ne peuvent pas récupérer tous les bénéfices liés à leurs inventions. D'autres inventeurs utiliseront leurs inventions pour réaliser de nouvelles, sans rémunérer l'inventeur initial. Cette situation pousse les agents privés à sous investir en recherche, préférant des projets avec un rendement privé plus important que le rendement social.

Ce même argument éloigne les firmes de la recherche de base, structure fondamentale qui assure un rendement social très élevé mais d'un autre côté des résultats privés très limités car assurant une diffusion du savoir uniquement sur le long terme. Ce concept de la recherche de base est couvert par la notion du « *bien public* » impliquant une nécessité de l'intervention publique. Newell, (2010)⁹³

De leur côté, Dasgupta et Stiglitz (1980)⁹⁴, ont soutenu le risque inverse au sous-investissement en R&D de par les firmes, qui est non pas l'insuffisance mais l'excès de R&D comparé à l'optimum social. Cette hypothèse est défendue par l'analyse du comportement non pas d'une firme mais un ensemble de firmes en interaction, mais aussi par un degré important d'inélasticité de la demande.

⁹¹ Ibid.Op. Cit.p15.

⁹² Aghion.P, Hemous.D, Veugelers.R, « No green growth without Innovation», bruegel Policy Brief, n° 07/2009, Novembre 2009.

⁹³ Newell.R.G, 2010, «The role of markets and policies in delivering innovation for climate change mitigation », Oxford Review of Economic Policy, Volume 26, Number 2, pp. 253–269

⁹⁴ In Patris. C, Warrant, F, 2001, « L'innovation technologique au service du développement durable », working paper n°4, « Stimulation de l'innovation technologique en faveur du développement durable », Programme « levier du développement durable », Contrat de recherche n° HL/DD/020, Fondation travail université, Belgique.

c- L'activité inventive est souvent associée au facteur risque financier : ainsi, les petites firmes qui sont confrontées en permanence à des contraintes de liquidités, sont également confrontées à des choix limités qui les empêchent d'engager des projets coûteux à long terme et à risques.

Selon l'approche néoclassique, ces limites du marché donnent place à l'intervention de l'État où l'intérêt collectif est mis en valeur limitant ainsi les dépassements purs des intérêts individuels qui ont été intégrés par le marché. Guellec, (2009)⁹⁵.

2-Les mesures publiques pour l'incitation à l'innovation technologique environnementale :

Le rapport de l'OCDE, publié en 1998, présente un large éventail d'outils, Guellec, (2009, p 96)⁹⁶ :

- l'État peut investir lui-même dans un système de recherche publique, comblant directement le déficit en recherche,
- il peut encourager les firmes à investir en augmentant le rendement privé, à travers des subventions, des avantages fiscaux ou autres,
- il peut tenter de limiter les imperfections des marchés en modifiant le contexte institutionnel dans lequel les agents opèrent (politiques de concurrence, législation de brevets, régulation des marchés financiers).

Les pouvoirs publics peuvent recourir à plusieurs instruments incitatifs aux innovations technologiques environnementales, ils peuvent être incitatifs (les subventions, les réglementations, les permis négociables, les campagnes d'information, les programmes volontaires, comme ils peuvent être restrictifs incluant des mesures fiscales (comme par exemple la taxe carbone).

Pour ce qui est du choix des mesures, tenant compte de la complémentarité entre ces instruments, il est difficile de les mettre en place séparément.

Aussi, plusieurs études ont démontré qu'il est difficile, voire impossible de présenter un classement des instruments politiques en fonction de leur impact sur la nature de l'innovation. En effet, l'impact des mesures est fonction de plusieurs paramètres : les coûts des différents types d'innovation, le degré de compétition des firmes sur le marché, la diversité de leurs

⁹⁵ Ibid.Op.cit.p16.

⁹⁶ Idem

performances et de leurs capacités d'absorption de la nouvelle technologie, sans parler du changement constant des politiques en réponse aux changements de comportement des firmes. Jaffe et al, (2002)⁹⁷.

2-1-Le système public de recherche fondamentale :

La recherche fondamentale, dont les résultats économiques ne sont pas immédiats et donc pas rentables pour les acteurs privés car nécessitant des fonds d'investissement trop importants, doit être exécutée par l'État dans le but d'élargir les champs de connaissances de base en identifiant les voies possibles d'avancées technologiques. Une telle infrastructure sera un guide par la suite pour les acteurs privés qui ne peuvent pas investir dans des recherches à long terme, et dont les retombées sociales seront plus importantes que les rendements privés. Le programme de recherche national algérien, que nous détaillerons au sein du quatrième chapitre, est un exemple de ce type de mécanisme.

La mise en place d'une structure de recherche fondamentale peut être établie de différentes manières. Elle peut concerner la formation des étudiants ou chercheurs dans les centres de formation, les universités ou les écoles, qui par leurs savoirs acquis pourront faire profiter leurs futurs employeurs (les firmes) assurant ainsi la diffusion de la connaissance de base, comme elle peut prendre la forme de centres de recherches qui autrefois étaient présents sous forme de mécénats autofinancés par des dons personnels et volontaires. Même si ces pratiques ne sont plus aussi répandues qu'au XIXème siècle, car présentant un risque de favoriser le financement de certains domaines au détriment d'autres domaines qui sont encore plus adaptés aux besoins collectifs, elles peuvent, tout de même, soulever un poids très lourd en faveur des budgets gouvernementaux dédiés à la recherche fondamentale.

D'une manière générale, le financement de ces centres de recherche peut prendre deux formes qui sont complémentaires et non substituables :

- premièrement à travers des dotations budgétaires octroyées d'une manière directe. Cette forme de financement est plus adaptée aux instituts spécialisés qui détiennent l'avantage de choisir eux-mêmes leurs thèmes de recherche ce qui peut leur offrir une simplification quant à l'orientation de leurs efforts de recherche,

- et deuxièmement à travers une évaluation des équipes de recherche qui répondent à des appels d'offre avec des thèmes sélectionnés au préalable. Cette deuxième forme de financement est la plus répandue. Néanmoins, elle présente quelques limites notamment liées à

⁹⁷ Ibid.Op. Cit.p15.

la procédure adoptée pour l'évaluation de ces projets. Guellec, (2009)⁹⁸ Car en pratique, ces projets sont évalués par des jurys qui décident ou non de leurs accorder le financement nécessaire, et ce, à travers la répartition des crédits à la recherche. Cette évaluation reste limitée car elle ne prend pas en considération la véritable évaluation des recherches qui est le marché.

Malgré cette limite liée à l'évaluation, le système public de recherche fondamentale présente néanmoins des avantages quant à l'incitation des chercheurs. En effet, le modèle d'évaluation par les jurys « *rapporteurs* » récompense les chercheurs par la publication de leurs travaux ou leurs citations dans des articles de référence. Sans parler de la récompense ultime du chercheur qui est la divulgation de ses résultats pour des fins ultérieures. D'une manière générale, malgré les risques de manipulation stratégique, des réseaux d'influence, tendance au conservatisme, ce système donne globalement de bons résultats. Guellec, (2009)⁹⁹

2-2-Les commandes publiques :

Contrairement au système public de recherche fondamentale où l'État est considéré comme producteur de la technologie par le biais des laboratoires publics, dans cette démarche de fonctionnement, l'État est considéré comme utilisateur des nouvelles recherches et technologies, et ce, pour tout ce qui concerne ses secteurs stratégiques comme la défense ou l'énergie. Ainsi, en présence des firmes très avancées dans le domaine de la recherche technologique, il leur confie ses commandes. Nous pouvons citer comme exemple : le secteur aéronautique aux États Unis, où l'État recourt aux compagnies telles que Boeing pour la recherche dans ce domaine, profitant des compétences spécifiques de ses firmes.

Ce mode de fonctionnement touche peu à peu le secteur environnemental, où depuis le milieu des années 2000, des commandes publiques liées aux énergies renouvelables voient le jour, mettant ainsi l'État au titre du gardien de l'environnement. Guellec, (2009)¹⁰⁰

Cette démarche ne peut à elle seule combler tous les besoins en recherche pour l'économie. Ainsi, ceci peut être complémentaire au système public de recherche fondamentale. En effet, l'État préfère recourir à ce type de démarche plutôt qu'au premier lorsqu'il s'agit d'un besoin ponctuel, où il est moins laborieux de recourir aux firmes ayant un certain degré de permanence dans un domaine précis. Ceci offre à ces firmes un avantage concurrentiel important. Le jeu de concurrence permettra d'ailleurs d'offrir un coût moindre par rapport à ce

⁹⁸ Ibid.Op. Cit.p16.

⁹⁹ Idem

¹⁰⁰ Ibid.Op. Cit.p16.

que l'État pourra supporter s'il agissait en situation de monopole par son système de recherche fondamental.

Cet appel aux firmes leur est très bénéfique car il leur permet de réduire le risque vu que la mise sur le marché est assurée par l'État qui est considéré ici comme le premier client d'une nouvelle technologie. D'un autre côté, ceci peut présenter quelques lacunes sur le fonctionnement du marché, en mettant les intérêts des grandes firmes en avant au détriment des plus petites, les grandes firmes se trouvant favorisées comparées aux autres.

Pour limiter ces défaillances du marché, quelques instruments ont été mis en place pour inciter les petites firmes à contribuer à ce genre de projets. Nous pouvons citer par exemple le *small business act* adopté par l'Union Européenne (UE) en 2008. Guellec, (2009)¹⁰¹

Cet ajustement du fonctionnement du marché évitera également de voir infléchir les comportements des grandes firmes « *abonnées* » et assurant ainsi un marché dynamique orienté vers une croissance durable.

2-3-Les subventions et incitations financières :

En exigeant des bénéfices sociaux d'une innovation technologique, l'État peut fournir des financements aux firmes soit sous forme de subventions, soit sous forme de crédits sans intérêts. Le but d'une telle démarche est d'inciter les firmes (particulièrement les plus petites) à orienter leurs efforts en R&D tout en leur permettant de réduire leurs coûts et par conséquent augmenter leurs rendements privés.

La limitation du risque pour les firmes est aussi couverte par ce type de mécanisme. En effet, les crédits de recherche octroyés aux firmes ne seront remboursables qu'en cas de réussite de l'invention sur le marché.

Compte tenu de l'étendue de ces démarches, l'État préfère orienter les subventions davantage pour les projets de recherche en amont, où les rendements sociaux sont plus importants que les rendements privés. Et vice et versa pour les crédits à taux zéro (ou à taux bonifié) pour les projets en aval dont les résultats sur le marché ont tendance à apparaître plus tôt.

Il existe plusieurs programmes de ce type à travers le monde. Nous pouvons citer à ce titre le programme *Technologies clés* en France, le programme *Eurêka* mis en place par la

¹⁰¹ Idem

Commissions Européenne, ainsi que le programme ATP Advanced Technology Program aux États Unis. Guellec, (2009)¹⁰². De telles démarches présentent deux limites.

La première est liée au risque de manipulation par les firmes qui se retrouvent responsables de la sélection des technologies à la place du marché. Une telle substitution peut engendrer des défaillances du marché, et ce, en encourageant certaines firmes au détriment d'autres.

La deuxième limite est appelée « *l'effet d'aubaine* » qui stipule que lors d'octroi de financement pour toutes les firmes innovantes, certaines firmes qui étaient sur le point de lancer des recherches sans l'aide de l'État bénéficieront tout de même de cette occasion. Résultat : aucun effet de levier n'est engendré pour les montants investis par l'État car le résultat aurait été obtenu avec ou sans cette aide financière.

Il existe d'autres formules de financement qui sont destinées aux firmes souhaitant se lancer dans la production de l'électricité d'origine renouvelable. Nous détaillerons les processus ci-dessous :

2-3-1-Les Feed-in tariffs (FIT) :

En ayant recours à cet instrument, les pouvoirs publics incitent les firmes à contribuer à la production de l'électricité d'origine renouvelable en les poussant à partager l'effort avec l'État. De ce fait, l'orientation de ces firmes impliquera une restructuration du marché mais aussi, un enrichissement de la base de connaissance surtout avec l'ouverture du marché à de nombreux concurrents.

L'incitation est représentée dans ce cas-là par la garantie d'achat dans le cadre d'un contrat d'achat à long terme. L'avantage pour les firmes réside ici dans la valeur du tarif sélectionné par les pouvoirs publics qui reste sensiblement supérieur au prix du marché spot de l'électricité. Ainsi, les fluctuations des prix n'affecteront pas la décision de la firme à investir davantage.

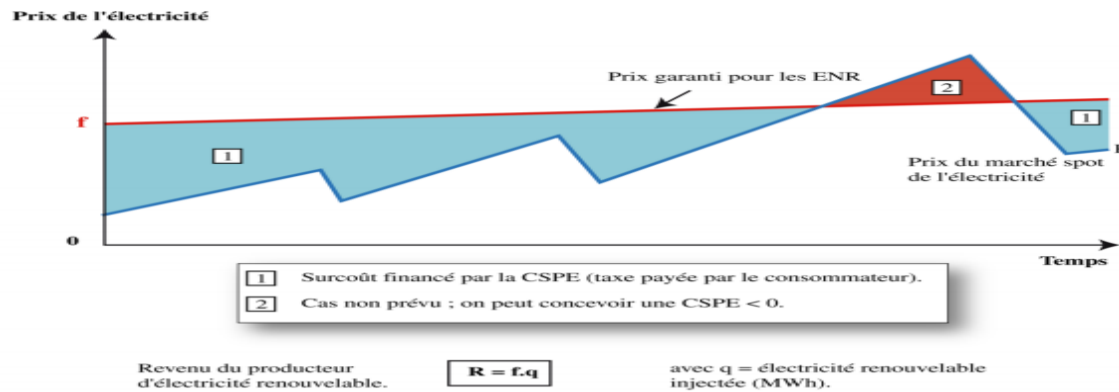
Cet instrument a été adopté au début des années 2000 par la plupart des pays de l'Union Européenne. Il a contribué sensiblement à l'émergence des énergies renouvelables dans de nombreux pays comme l'Allemagne et l'Espagne. Néanmoins, il peut présenter certains inconvénients, Percebois, (2014)¹⁰³.

¹⁰² Ibid.Op. Cit.p16.

¹⁰³ Percebois.J, « Les mécanismes de soutien aux énergies renouvelables, leurs forces et leurs faiblesses respectives », Cahier de recherche n° 14-03-107 du CREDEN, 05Mars 2014.

La figure n° 03 ci-dessous, décrit schématiquement le fonctionnement de ce mécanisme et les lacunes pouvant être rencontrées :

Figure n°03 : Système des « feed-in tariffs » pour les énergies renouvelables



Source : Percebois, (2014, p06)¹⁰⁴.

Le point « f » représente le prix d'achat de l'électricité d'origine renouvelable produite par les firmes. Il est démontré sur le graphique que ce niveau est toujours supérieur au prix de l'électricité spot.

Il est à préciser que la différence du prix du marché et celui garanti aux firmes est souvent supportée par les consommateurs via une taxe au consommateur final¹⁰⁵. Ainsi, la zone bleue représente la perte qui sera compensée via cette taxe.

La contrainte de ce mécanisme intervient lors d'une baisse de la demande sur l'électricité causée par un ralentissement de l'économie. La production ininterrompue en électricité renouvelable des firmes mènera naturellement à une surproduction de l'électricité sur le marché, causant une chute du prix sur le marché spot.

À ce stade, la garantie de l'État à acheter de l'électricité à un prix élevé d'un côté, et le coût important qui sera engendré suite à l'interruption des turbines à gaz d'un autre côté, conduiront à une perte considérable qui sera supportée par le consommateur final. C'est ce qui est démontré à travers la zone rouge sur la figure.

La non prise en compte des risques de fluctuation des prix sur le marché de l'électricité a poussé d'autres pays, comme le Royaume Uni, à une autre alternative à savoir ; les contrats pour différences.

¹⁰⁴ Ibid.

¹⁰⁵ En France, cette taxe est appelée C.S.P.E (Contribution au Service Public de l'Electricité) (Percebois, 2014).

2-3-2-Les contrats pour différences (CFD) :

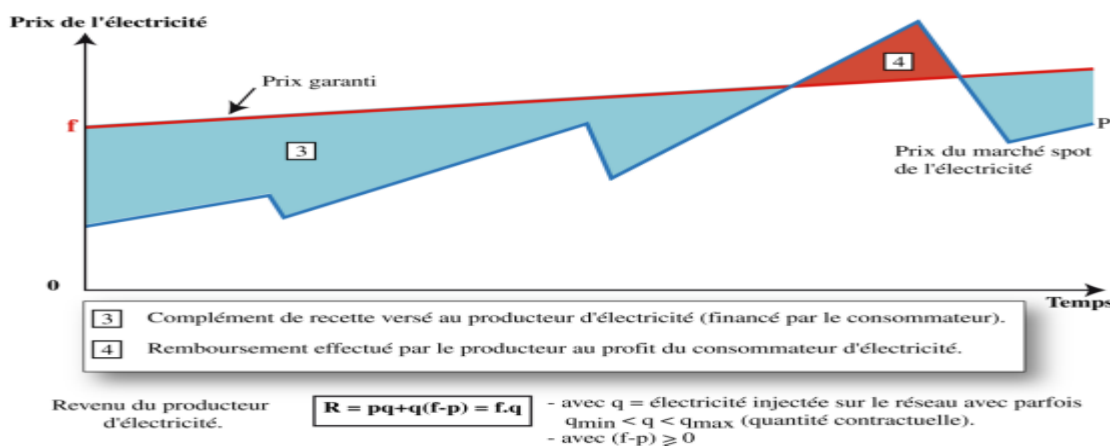
À travers cet instrument, les pouvoirs publics garantissent aux firmes productrices d'électricité (renouvelable et non renouvelable) de rentabiliser l'investissement initial en leur proposant la vente de l'électricité produite au prix du marché d'un côté, mais en leur offrant, d'un autre côté, la possibilité de recevoir des recettes. La valeur de ce complément de recette représente la différence entre le prix de référence garanti (qui tient compte de la valeur de l'investissement et la durée de l'amortissement), et le prix du marché spot.

Les autorités publiques de régulation chargées de fixer le prix de référence garanti, doivent s'assurer qu'il sera sensiblement supérieur au prix du marché spot car s'agissant des contrats à long terme, des anticipations à la hausse doivent être prises en compte. De plus, ceci renforcera cet instrument sur le long terme et offrira une stabilité dans les décisions d'investissements des firmes, notamment dans la R&D.

À la différence des feed-in tariffs, ce deuxième mécanisme augmente la sensibilité des firmes à la fluctuation des prix de l'électricité sur le marché spot en leur assurant en parallèle au prix du marché, un complément de recette destiné à rentabiliser l'investissement initial.

Conséquence à cette offre, la baisse du prix sur le marché augmentera la différence et donc augmentera les recettes. A l'inverse, la hausse des prix sur le marché spot poussera les firmes et/ou les consommateurs à verser la différence. À travers cet instrument, les pouvoirs publics cherchent à partager le risque avec les firmes productrices et à minimiser la charge sur les consommateurs finaux. À cet effet, cette mesure doit être prise dans la politique sociale du pays. À travers la figure n° 04 ci-dessous, le détail du mécanisme :

Figure n°04 : Système des contrats pour différences pour les énergies renouvelables



Source : Percebois, (2014, p09)¹⁰⁶.

¹⁰⁶ Ibid.Op. Cit.p44.

Aussi, et contrairement au feed-in tariffs, la quantité produite par les firmes influence le prix du marché spot de l'électricité d'une manière directe, et influence d'une manière indirecte la part des recettes à générer. La position des firmes sur le marché leur donne le pouvoir pour manipuler le prix du marché. Ceci peut représenter une contrainte pour les autorités régulatrices qui seront amenées à revoir les clauses du contrat. Ces mesures de régulation éviteront des subventions financières pour combler le déficit de production de l'électricité fossile. Ceci est d'autant critique pour les économies importatrices de gaz.

2-3-3-Les Feed-In tariffs avec Premium (FIP) :

Comme pour le précédent instrument, les firmes productrices d'électricité vendent au prix du marché qui reste de nature changeant. Néanmoins, la différence réside dans le volume des recettes destinées à couvrir les dépenses des firmes productrices. Ces recettes sont fonction de la quantité d'électricité injectée ou de la capacité totale installée, elles sont versées sous forme de primes qui peuvent être fixes ou variables.

Elles sont fixes lorsque le montant de la prime concerne la puissance installée et peut de ce fait être négocié avec les autorités de régulation au début et peut être ajusté chaque année en prenant en considération les changements opérés sur les puissances installées. Elles sont variables lorsque leur montant est relatif au volume injecté dans le réseau, la valeur est dans ce cas-là décidée par les autorités de régulation en fur et à mesure. Comme elles peuvent être variables mais plafonnées.

L'objectif d'une telle mesure est d'inciter les firmes productrices à augmenter leurs niveaux de production qui mènera naturellement à réduire le prix sur le marché.

Ceci posera tout de même un problème aux firmes. Puisque la baisse des prix sur le marché affectera son rendement. Le gain dégagé au niveau des recettes sera perdu avec la baisse du prix. Mais ce scénario dépend de la part de la production d'électricité d'origine renouvelable dans la production globale. Ainsi, le bon choix de la valeur de la prime influence significativement la réussite d'un tel mécanisme. Pour cette raison, il doit être pris avec beaucoup de prudence, en tenant à adapter les clauses du contrat aux évolutions du marché.

2-3-4-Les appels d'offre avec enchères (bidding) :

Un système classique qui s'est vu adapté au marché des énergies renouvelables. Il concerne les modalités fixées par les pouvoirs publics pour faire appel aux firmes pour la production et l'injection (vente) de l'électricité renouvelable.

Le lieu et la puissance de l'électricité renouvelable désirée sont indiqués dès le départ dans l'appel d'offre. Les firmes estiment à partir de cette information le prix du KWH¹⁰⁷ d'électricité qui sera injecté (vendu) dans le réseau, et ce, en prenant en considération leurs coûts et donc la rentabilité à dégager par leurs installations. Par la suite, la sélection des offres s'appuie sur la logique de l'ordre du mérite. Un seul ou plusieurs offreurs peuvent être retenus.

Comparé au système de feed-in tariffs, ce système de mécanisme offre un avantage par rapport à la maîtrise du volume de l'électricité qui sera générée, et donc l'État est dans la capacité de garder le contrôle sur le volume d'électricité qui sera mis sur le marché. Par contre, par méconnaissance des coûts réels des firmes, il sera incapable d'estimer le prix du MWH¹⁰⁸ qui sera proposé.

Cet instrument peut se présenter sous deux formes différentes. La première appelée « enchères à prix limite », où les autorités chargées d'autoriser ou de refuser les offres alignent le prix d'achat garanti sur l'ensemble des firmes retenues. Ce prix d'achat garanti correspond à la dernière offre retenue ou à la première offre rejetée.

La deuxième forme des appels d'offre est appelée « discriminante ». À travers ce mécanisme, les firmes obtiennent le prix de vente demandé et non le prix de vente limite.

2-4-Les pôles de compétitivité « Clusters » :

Il s'agit ici d'une politique incitative qui s'appuie sur l'installation des pôles de compétitivité entre les firmes innovantes appelée « clusters ». Cette mesure implique une implantation des firmes sur des lieux précis, travaillant sur la même technologie, et regroupant les universités, les centres de recherche, mais également les grandes firmes et les *start-ups*. Le meilleur exemple pour ce type de mécanisme est la *Silicon Valley* qui regroupe une des plus grandes industries des technologies de pointe au monde.

En leur orientant des aides spécifiques, l'objectif principal visé d'un tel regroupement est de stimuler l'effet d'entraînement mutuel, Guellec, (2009)¹⁰⁹. Des études ont d'ailleurs bien démontré le fort impact des efforts en R&D des firmes concurrentes sur le degré d'implication technologique de la firme, Jaffe, (1986)¹¹⁰. Ainsi, le degré de production de connaissances des firmes sur un environnement donné, est directement lié au degré des externalités engendrées.

¹⁰⁷ Kwh : Kilo Watt Heure

¹⁰⁸ Mwh : Méga watt heure

¹⁰⁹ Ibid.Op. Cit.p16.

¹¹⁰ Jaffe A.B, « Technological opportunity and spillovers of R&D: Evidence from firm's patents, profits and market value », national bureau of economic research, january 1986.

Ces externalités seront par la suite les éléments d'input dans le processus d'innovation assurant la survie du cycle de l'innovation.

Une telle structure affecte sensiblement la concurrence. Porter, (1998)¹¹¹ en présente trois voies possibles :

- premièrement, en augmentant la productivité des firmes installées, et ce, en renforçant leurs accès aux inputs profitant d'une base d'offre spécialisée, à proximité et à moindre coût, également en simplifiant l'accès à l'information, aux aides spécifiques des institutions présentes dans ces pôles, mais aussi un accès à un véritable gisement de personnels compétents et qualifiés,

- deuxièmement, en orientant la direction et le rythme de l'innovation des firmes. En effet, l'effort en R&D des firmes se voit stimulé grâce à la présence des acheteurs dans ces mêmes regroupements ce qui offre aux firmes la possibilité de détecter et anticiper les besoins futurs de ces clients. Ceci présente un avantage non négligeable à ces firmes en comparaison aux firmes non installées aux pôles. Ces efforts en R&D permettront une croissance de la productivité future,

- troisièmement, en stimulant la création de nouvelles activités. En effet, une telle dynamique attire forcément de nouvelles activités à s'installer : il peut s'agir des firmes concurrentes qui n'étaient pas installées, ou des firmes offrant de meilleurs inputs (fournisseurs) ou encore des firmes recherchant les meilleurs produits ou services pour leurs activités (clients). Ceci conduit directement à un élargissement et renforce la structure elle-même. Mais, sans pour autant fragiliser la flexibilité de chaque firme.

Les petites entreprises ou les « *start-up* » bénéficient davantage des mesures publiques incitatives de par leur rôle important pour dynamiser le cycle de l'innovation technologique, mais aussi et surtout par rapport à leurs degrés de fragilité sur le marché du fait qu'elles sont confrontées souvent à des difficultés pour obtenir les financements privés et publics nécessaires.

2-5-Les instruments fiscaux :

L'allègement de l'impôt sur les activités de R&D est la forme la plus courante des subventions de l'État pour les firmes innovantes. Il leur permet de déduire les dépenses courantes de recherche de l'assiette imposable ce qui leur permettra d'accroître leurs bénéfices.

Les investissements en R&D sont également favorisés par les instruments fiscaux. La réglementation fiscale peut offrir la possibilité de deux modes d'amortissement (ou plutôt deux

¹¹¹ In Guelléc.D, 2009, « Economie de l'innovation », Paris, La Découverte.

options fiscales) aux firmes innovantes. Le premier mode est appelé l'amortissement dérogatoire ; il consiste à constater les dotations de l'amortissement comme charges exceptionnelles. Ceci n'impliquera pas une baisse de l'impôt sur le résultat vu que la somme totale des charges reste la même, mais il évite à la firme de devoir déprécier la valeur de ces biens investis. Ceci aide les firmes qui souhaitent demander des crédits ou d'autres types de financement. La valeur de ces charges sera reprise en dotations en fin de vie du bien, c'est pour cette raison que ce type de mécanisme est considéré comme une « *subvention déguisée remboursable* ».

Même si le calcul de ce type d'amortissement peut présenter certaines complexités, il présente néanmoins un avantage non négligeable pour les firmes innovantes dans les premières années qui suivent l'investissement. Dans sa forme générale, ce mode d'amortissement ressemble à l'amortissement progressif.

Un autre mode d'amortissement appelé « *exceptionnel* » ou « *accélééré* » est proposé aux firmes innovantes ; il propose de doubler le taux de l'amortissement et réduire ainsi le nombre d'années d'amortissement. Une telle mesure implique un accroissement important des charges et donc une réduction du résultat ce qui peut être bénéfique pour les firmes qui souhaitent diminuer la valeur de l'impôt sur le bénéfice sur les premières années de l'investissement. Dans sa forme générale, ce mode d'amortissement ressemble à l'amortissement dégressif.

Une autre formule largement utilisée dans les pays industrialisés est le crédit d'impôt-recherche. Même s'il diffère d'un pays à un autre, son principe de base reste le même. Il consiste à soustraire la valeur des dépenses en R&D directement de la valeur de l'impôt et non pas de l'assiette imposable comme c'est le cas pour les subventions d'impôt décrites plus haut. Ce type de crédit d'impôt recherche est appelé « *en niveau* ».

Il existe un autre type de crédit d'impôt appelé « *en accroissement* » ou « *incrémental* » qui consiste à soustraire uniquement l'augmentation des dépenses de recherche et non pas toutes les dépenses en recherche comme pour le crédit « *en niveau* ». En pratique, la valeur de la déduction est calculée sur la base d'une année de référence ce qui donne les dépenses en recherche de l'année en cours moins les dépenses en recherche de l'année de référence. C'est la différence retrouvée qui sera soustraite de la valeur de l'impôt.

Ainsi le crédit dit « *incrémental* » peut présenter un poids plus important pour le budget comparé au premier « *en niveau* ». Néanmoins, il offre une incitation plus importante pour les firmes innovantes.

D'une manière générale, le crédit d'impôt-recherche permet d'engendrer des innovations privées. En effet, des estimations suggèrent que le montant de recherche privée engendrée par 1 euro¹¹² de dépense publique, est compris entre 1 (1 euro de crédit d'impôt engendre 2 euros de recherche privée) et 0 (la firme accroît ses dépenses du montant du financement public, sans rien ajouter de ses propres fonds). Guellec, (2009, p108)¹¹³.

La taxe carbone est aussi un instrument utilisé pour soutenir les projets d'énergie propre, et ce, en orientant les consommateurs vers les produits innovants moins énergivores.

2-6-Coopération des firmes en recherche et développement :

C'est un mécanisme établi et régi afin d'encourager les firmes en concurrence à se regrouper et partager leurs compétences et découvertes. Ce regroupement concerne un projet rapportant un intérêt commun à toutes les firmes et surtout un rendement social, tout en réduisant le coût d'accès à la technologie mais aussi le risque financier que chaque firme supporterait si elle agissait seule. Cette pratique nécessite toutefois un encadrement particulier afin de limiter le regroupement uniquement sur la phase R&D « *la recherche précompétitive* », car une fusion en aval pourra mettre le consommateur face à une situation de monopole collectif « *cartel* » où les prix imposés seront plus importants.

L'impact sur la réduction du degré de concurrence représente ainsi le problème majeur qui peut être souligné avec ce type de démarche. En effet, une telle coopération implique une infraction à la lettre des politiques de concurrence telles qu'édictées dans les traités de Rome pour l'Europe ou le *Sherman act* aux États Unis. Ceci peut impliquer un appauvrissement du « *patrimoine technologique* » en réduisant le nombre de concurrents sur le marché. Guellec, (2009)¹¹⁴

En réponse toutefois à ce problème, les États ont pris des mesures adaptatives en mettant en place des cadres législatifs particuliers comme c'est le cas par exemple de la NCRA, *National Cooperative Research Act*, aux États-Unis en 1984, qui sont présentés pour autoriser une telle union mais qui régissent également les comportements et stratégies des firmes risquant d'aller contre les principes d'une complète coopération. Guellec, (2009)¹¹⁵

¹¹² Monnaie unique de l'Union Européenne

¹¹³ Ibid.Op. Cit.p16.

¹¹⁴ Ibid.Op. Cit.p16.

¹¹⁵ Idem

Pour inciter les firmes à coopérer entre elles, les États peuvent recourir à d'autres instruments d'aides financières dont l'accès sera conditionné d'une coopération avec les firmes en concurrence.

2-7-Le brevet :

Le brevet est un outil permettant la protection des inventeurs en leur offrant un titre de propriété pour leurs inventions pendant une période précise (le plus souvent vingt ans). Durant cette période, l'inventeur dispose du monopole de l'exploitation de son invention. Cette invention peut être exploitée pour les besoins d'activité de l'inventeur comme elle peut être accordée sous forme de licence d'exploitation pour d'autres firmes. À la fin de cette période l'invention sera divulguée et tombera dans le domaine public.

Un tel outil est considéré comme un système de récompense qui valorise l'appropriation privée de la connaissance, Guellec, (2009)¹¹⁶. Néanmoins, derrière une telle simplicité ce mécanisme peut présenter quelques limites majeures que les décideurs publics doivent prendre en considération afin d'alléger les conséquences.

De prime abord, l'octroi des brevets ne doit pas être fait d'une manière aléatoire : il faut qu'il respecte un certain nombre de conditions. Ainsi, la demande pour un brevet ne doit pas être toujours accordée, elle doit être validée au préalable par une commission qui juge de la future utilité de l'invention sur le marché mais aussi de son degré de nouveauté.

D'une manière générale, les brevets sont accordés aux premiers inventeurs qui détiennent l'invention ce qui est appelé « *first to file* » c'est-à-dire au premier qui se présente avec l'invention, sauf aux États Unis, où c'est « *first to invent* » : c'est-à-dire qu'ils acceptent de délivrer des inventions même pour des inventeurs présentant les mêmes découvertes ultérieurement à condition de présenter des preuves à l'appui que l'invention a été faite antérieurement. Ces cas sont justifiés par le fait qu'il existe un certain délai entre la présentation de la demande de brevet et la publication de l'invention (qui a été fixé à 18 mois par les accords de GATT). Pour qu'elles soient efficaces, ces différentes modalités d'octroi de brevets exigent un encadrement juridique spécifique.

Détenir un brevet d'invention ne signifie pas forcément son utilisation : beaucoup d'inventions existent sans pour autant que des innovations aient vu le jour comme il se peut que les firmes déclarent leurs inventions dans le seul but d'empêcher les concurrents d'accéder à cette technologie couverte par ce titre. Cela peut être aussi pour les pousser à prendre d'autres

¹¹⁶ Idem

voies totalement différentes des leurs. C'est ce qui est appelé communément « les brevets dormants », comme elles peuvent préférer de ne rien inscrire et garder leurs inventions secrètes. C'est le cas des innovations de procédés, Guellec, (2009)¹¹⁷. Cette protection reste assez simple pour les firmes vu qu'aucun accès direct n'est possible de la part des concurrents. Par contre, le cas inverse est difficile, la mise sur le marché d'un nouveau produit issu d'une nouvelle technologie attirera forcément la concurrence à adopter cette même nouvelle technologie. Ce phénomène justifie bien la part plus importante des brevets pour les produits comparés aux brevets pour les procédés. Levin et al, (1987)¹¹⁸. C'est principalement pour cette raison que le brevet ne peut pas être le seul indicateur de référence pour mesurer le degré de l'innovation dans une économie.

Du point de vue performance, Guellec, (2009, p 110)¹¹⁹ avance que le brevet est une solution forcément imparfaite, de second rang, à une équation contradictoire. Il vise en effet à favoriser simultanément l'innovation et la diffusion de la connaissance. L'innovation est valorisée grâce au monopole, lequel est contraire à la diffusion.

Ainsi, la limitation de la durée d'exploitation à vingt ans peut être une solution à cette contradiction. Toutefois, les bénéfices tirés de cette fonctionnalité ne seront pas du même poids pour toutes les activités. Dans le cas notamment du secteur de l'informatique, secteur en rapide croissance et une technologie trop changeante, la durée de vingt ans ici peut présenter un obstacle à la diffusion de la connaissance.

D'un point de vue social, la diffusion de l'information est cruciale pour la survie du cycle de l'innovation, elle permet la divulgation des nouvelles connaissances, les précédentes inventions seront le point de départ des nouvelles. Ainsi, les décideurs se retrouvent face à un dilemme ; d'un côté, ils doivent assurer la protection des inventeurs mais d'un autre côté : chercher la bonne diffusion de la connaissance car garder les nouvelles inventions secrètes peut être très nuisible pour la chaîne de l'innovation car réduisant l'accès des nouveaux chercheurs aux connaissances déjà existantes.

C'est pour cette raison que le gouvernement doit fixer la bonne durée qui protège d'un côté, l'inventeur mais d'un autre côté, il ne faut pas qu'elle soit assez longue pour ne pas bloquer la diffusion de la connaissance.

¹¹⁷ Ibid.Op. Cit.p16.

¹¹⁸ In Guellec.D, 2009, « Économie de l'innovation », Paris, La Découverte.

¹¹⁹ Ibid.Op. Cit.p16.

Un autre paramètre important à prendre en considération lors de l'octroi des brevets d'invention, est le nombre de composants de l'invention. Certaines inventions, contrairement à d'autres, peuvent affecter plusieurs changements significatifs sur un seul nouveau produit. Ainsi, le nouveau produit ne sera pas couvert par un seul brevet mais par plusieurs. Ceci est une solution efficace contre l'appropriation des inventions proches ou dérivées des concurrents.

3-Retombées des politiques publiques sur la nature des innovations technologiques environnementales :

À travers ce point, nous essayerons de présenter les retombées possibles des différentes politiques environnementales, qu'elles soient incitatives ou restrictives, sur la nature de l'innovation technologique.

De prime abord, il est important de préciser qu'en présentant les instruments publics environnementaux, la littérature économique ne présente pas d'impact sur l'invention et l'innovation d'une manière séparée, Jaffe et al, (2002)¹²⁰. Ainsi, le succès économique de l'invention sur le marché est un paramètre non inclus lors de la mise en place des politiques environnementales.

À travers la mise en place des politiques publiques, les gouvernements cherchent principalement à inciter les entreprises à investir en R&D afin d'accroître le stock de connaissances techniques et par conséquent promouvoir l'émergence sur le marché des nouveaux produits et procédés plus respectueux de l'environnement et/ou en les obligeant à s'orienter vers des matières, des produits ou des méthodes de production plus propres.

D'une manière directe ou indirecte, la plupart de ces politiques ont la particularité de dégager des externalités positives sur l'innovation technologique et environnementale. Néanmoins, les faits démontrent des politiques qui favorisent les innovations incrémentales au détriment des innovations intégrées plus radicales. Depret et Hamdouch, (2009)¹²¹. Or, c'est avec ces dernières que les économies peuvent assurer une trajectoire durable, et ce, en transformant « *radicalement* » les modes de production et de consommation.

Nous essayerons dans ce point, de présenter les causes avancées par la littérature économique à ce sujet.

¹²⁰ Ibid.Op. Cit.p15.

¹²¹ Ibid.Op. Cit.p31.

3-1-Des politiques environnementales entre conséquences économiques et conséquences sociales :

L'analyse des différents choix des politiques entreprises par les gouvernements pousse à tirer des conclusions quant aux raisons qui justifient l'orientation des politiques publiques vers les innovations incrémentales.

Les raisons peuvent être économiques. En effet, le choix des mesures est souvent pris en fonction des coûts et des avantages qui peuvent être tirés de chaque nouvelle mesure qu'elle soit incitative ou restrictive. Ainsi, les pouvoirs publics procèdent à un arbitrage en fonction des coûts de mise en place avec les bénéfices qui peuvent être tirés. En essayant d'arriver à cet arbitrage, les décideurs cherchent à aboutir à un optimum économique.

Mais en adoptant ces mesures, les gouvernements cherchent en même temps à renforcer la compétitivité de leurs économies comparées aux autres. Néanmoins, dans un contexte de mondialisation, favoriser des instruments environnementaux peut agir contre ce niveau de compétitivité.

Par exemple l'instauration des mesures restrictives comme des taxes peut augmenter les coûts des firmes et réduire leurs chances sur le marché international, sans parler de l'impact sur l'emploi qui peut être généré par le choix de délocalisation des firmes internationales à cause de ces mesures restrictives.

Le volet social prend également toute son importance lors du choix des décideurs, qui sont susceptibles de favoriser les instruments qui procurent des résultats concrets sur le court terme plutôt que des résultats discrets qui s'étalent sur le moyen et le long terme, et ce, afin de proposer des solutions rapides qui répondent aux exigences des acteurs sociaux.

Ces raisons reflètent la taille de l'enjeu lié aux choix des gouvernements et justifient leur nature « *conservatrice* », « *courttermiste* » et « *minimaliste* ». Depret et Hamdouch, (2009)¹²².

3-2-Comportement des firmes entre intérêt privé et intérêt social :

Le comportement des firmes représente également une autre raison qui favorise l'orientation vers les innovations incrémentales au lieu des innovations radicales.

Comme pour les gouvernements, les firmes en recherchant la maximisation de leurs profits, procèdent à une analyse coûts-avantages. Et donc face à une réglementation environnementale imposée, elles font des efforts pour respecter et s'adapter aux nouvelles

¹²² Ibid.Op. Cit.p31.

contraintes environnementales comme par exemple mettre en place des programmes de R&D, s'orienter vers des inputs plus respectueux de l'environnement ou proposer de nouveaux produits ou procédés plus propres.

Néanmoins, il apparaît que les firmes cherchent seulement à s'adapter aux nouvelles réglementations et limitent leurs nouvelles dépenses uniquement pour atteindre une égalité entre leurs coûts marginaux et les frais qu'elles supporteraient en cas de non-respect de la réglementation (taxes, pénalités, amendes, dommages et intérêts, peines de prison, achat de nouveaux droits négociables, etc.) Depret et Hamdouch, (2009)¹²³.

Naturellement, ces efforts à « *minima* », donneront naissance seulement à des ajustements adaptatifs et correctifs et donc incrémentaux. Faucheux et Nicolai, (1998)¹²⁴, Depret et Hamdouch, (2009)¹²⁵.

Il est toutefois, important de comprendre le pourquoi de ces comportements à *minima*. De prime abord, les paramètres « *coût* » et « *risque* » liés à l'acquisition des nouveaux équipements plus respectueux de l'environnement surtout pour les industries lourdes telles que la sidérurgie ou les matériaux de construction. Ce qui implique des comportements d'ajustement « *légers* » qui leurs évitent d'acquérir de nouveaux équipements. Ceci est différent dans les industries légères telles que l'informatique, télécommunication, électronique qui doivent changer d'équipements pour s'adapter à la mutation trop rapide du secteur où il est plus évident de renouveler son stock d'équipement. Et comme la caractéristique importante des innovations technologiques radicales réside dans le coût important associé souvent à un risque (dû à l'incertitude), les firmes ainsi, préfèrent recourir à des solutions « *low-cost* », Depret et Hamdouch (2009)¹²⁶, et ne recourir aux technologies très coûteuses qu'en dernier ressort.

La durée est aussi un paramètre à prendre en considération. En effet, les gains à générer des nouvelles technologies radicales s'étalant sur le long terme, n'arrangent pas les firmes surtout les plus petites confrontées au risque de disparition.

La position ainsi que le comportement des firmes est donc crucial lors de l'élaboration des nouvelles mesures environnementales par les gouvernements. Selon Faucheux et Nicolai, (1998)¹²⁷, les firmes adoptent principalement deux types de stratégies face aux régulations environnementales :

¹²³ Idem

¹²⁴ Ibid.Op. Cit.p30.

¹²⁵ Ibid.Op. Cit.p31.

¹²⁶ Ibid.Op. Cit.p31.

¹²⁷ Ibid.Op.Cit. P30.

a- La stratégie « défensive » et « suiveuse » :

Ici, les firmes adoptent le profil 'pollueur-payeur' et subissent le coût engendré par les problèmes de l'environnement. Les initiatives de développement des innovations technologiques environnementales sont très limitées. C'est une stratégie souvent adoptée par les petites firmes, pour qui le coût important des investissements en R&D est difficile à supporter.

b- La stratégie « proactive » :

Les firmes ici, anticipent les changements environnementaux et consacrent des efforts en R&D pour adopter de nouvelles innovations technologiques environnementales afin de percevoir l'évolution de la demande des consommateurs. Les défis environnementaux sont perçus comme des opportunités commerciales. Ce type de stratégie est développé plus par les firmes multinationales dont l'activité est fortement menacée par les réglementations environnementales, comme par exemple la chimie, le raffinage ou l'électricité.

Bien comprendre ces stratégies, permettra de bien aligner les intérêts publics aux intérêts des firmes. L'importance donnée à l'implication des firmes à travers une stratégie « gagnant-gagnant », permettra une « endogénéisation » du changement technologique. Faucheux et Nicolai, (1998)¹²⁸.

Sur la base de la littérature économique traitant la question de l'innovation environnementale, Tourabi, (2016)¹²⁹ a présenté une synthèse de l'ensemble des motivations ou stimulateurs qui peuvent influencer le choix des firmes face aux différentes mesures publiques mises en place.

Deux types de stimulateurs internes (optimisation des ressources, minimisation des coûts, dynamique du marché) et externes (sociaux culturels, historiques et géo politiques) sont présentés dans le tableau n° 02 suivant :

¹²⁸ Idem

¹²⁹ Tourabi.A, 2016, « Contribution à l'analyse de l'innovation incrémentale en tant que stimulateur à l'amélioration de la performance environnementale », Réseau International de Recherche sur les Organisations et le Développement Durable, RIODD, 2016

Tableau n°02 : Synthèse des stimulateurs à l'innovation environnementale

Stimulateur	Type	Explication	Mécanisme	Auteurs
Compétitivité et image de marque (S1)	Interne	Recherche d'avantage concurrentiel Faire des économies Optimisation des ressources Minimiser les coûts de transaction Moyen de différenciation	La recherche continue de la compétitivité et de la pérennité pousse les entreprises à acquérir et à sauvegarder des avantages en termes d'innovation environnementale	Yonkeu 2011 (Ouedraogo 2007). Green <i>et al.</i> 1994).
Innovation à moindres coûts (S2)	Interne	L'environnement constitue un support à l'innovation environnementale et autre Approche Coût efficacité	Fixer un seuil de dépollution et chercher la politique la moins couteuse à atteindre et la plus génératrice de bénéfices.	Depert & Hamdoun 2008 OCDE 2010
Recherche de la performance environnementale (S3)	Interne	Recherche la sécurité des installations, sécurité du produit, l'épuisement des ressources, production ou émission de la pollution.	Ces quatre piliers constituent des champs larges de développement des innovations environnementales.	Whitehouse Tim 2005 Raynaud 2003
Implantation d'un système de management environnemental SME (S4)	Interne	Norme ISO 14001 (Certification)	La norme pousse l'entreprise à innover pour mieux gérer les déchets, les matières résiduelles, dangereuses, les substances polluantes, en parallèle de l'hygiène industrielle, la sécurité au travail, transport, énergie et eau...	ISO 14001 ISO 14035 ISO14031 CCE 2000 CCE 2005 Renaud 2009
Responsabilité sociétale RSE (S5)	Interne	Renvoie à l'intégration de manière volontaire, des préoccupations sociales et environnementales dans les affaires courantes de l'entreprise et dans son interaction avec les parties prenantes.	La RSE encourage l'entreprise à prendre des initiatives en faveur de pratiques environnementales plus responsables. A travers la mise au point et la diffusion de technologies respectueuses de l'environnement.	(Mzoughi, Grolleau 2005) Commission Européenne 2002 Benabou & Benabdilah 2008
Culture générale de l'entreprise (S6)	Interne	Aspects socioculturels, Géopolitiques, Profil du dirigeant de l'entreprise. L'innovation durable est une affaire de culture, comprise comme un ensemble implicite ou explicite de valeurs, de rites, de pratiques et de méthodes communes à tous les membres d'une entreprise et qui explique les bases du fonctionnement d'une organisation.	Inspirée et empruntée de la culture générale de l'entreprise, la stratégie peut préconiser l'engagement de cette dernière dans des actions innovantes en faveur le l'environnement en se basant sur le Développement durable comme facteur clé de succès de l'innovation.	Mzoughi Grolleau, 2005 Jaruzelski B., J. Loehr, R. Holman. (2011)

Source : Tourabi, (2016, p9)¹³⁰

¹³⁰ Ibid.Op. Cit.56.

Tableau n°02 : Synthèse des stimulateurs à l'innovation environnementale (suite)

Stimulateur	Type	Explication	Mécanisme	Auteurs
Perception de l'innovation environnementale (S7)	Interne	Approche cognitive qui décrit la perception positive de l'entreprise des innovations environnementales et leurs valeurs ajoutées.	La perception positive de la rentabilité de l'investissement écologique, est un principal mobilisateur au développement et à l'émergence des innovations environnementales.	Benabou & Benabdilah 2008. Porter 1995
Stimulation fiscale ou fiscalité environnementale (S8)	Externe	Restrictive : tarification de la pollution, écotaxes, amendes ou pénalités fiscales et environnementales.	En principe, elle doit réduire la compétitivité des entreprises polluantes et favorisent celles des entreprises innovantes en faveur de l'environnement.	OCDE 2010 Rennings 2000, Oltra & Saint-Jean 2011
Protection des droits des innovants. Propriété intellectuelle (S9)	Externe	Droits aux « first movers », avantages fiscaux, subventions et autres.	La récompense des « firsts movers » les stimule encore à dynamiser l'innovation verte.	OCDE 2010 Depret & Hamdouche 2009
Subventions de l'État (S10)	Externe	Aides des pouvoirs publics dans le cadre des programmes de développement durable Fiscalité incitative : permis de négociation, avantages fiscaux, privilèges aux marchés publics, accès aux emprunts bancaires	Les moyens financiers mettent à la disposition des entreprises les moyens nécessaires pour développer leurs innovations environnementales suivis par un contrôle de réalisation.	OCDE 2010
Nature concurrentielle des marchés (S11)	Externe	Recherche continue de garder sa part sur son marché réel et d'obtenir d'autre part sur les marchés potentiels.	La nature concurrentielle du marché (exige l'engagement des entreprises dans des activités innovantes en faveur de l'environnement. Surtout si nos concurrents directs et indirects adoptent ces innovations.	Claire Lelarge 2009 Jean-luc gaffard
Respect des réglementations (S12)	Externe	Obtenir un écolabel, obtenir un taux de dépollution, un niveau de taux de recyclage des déchets, taux d'utilisation des énergies renouvelables exigés par les pouvoirs publics.	La recherche de la performance réglementaire, pousse l'entreprise à améliorer sa performance environnementale à travers l'engagement dans des innovations vertes.	YONKEU 2011 OCDE 2010
Amélioration des relations avec les riverains et les parties prenantes. (S13)	Externe	Exigences des donneurs d'ordre, banques, compagnies d'assurances, associations, ONG de défense de l'environnement, presse/ Médias, institutions scientifiques.	D'une manière directe ou indirecte l'environnement proche ou les parties prenantes influence la décision de l'entreprise à investir en faveur de l'environnement.	Henri Martre AFNOR 1994

Source : Tourabi, (2016, p9)¹³¹

¹³¹ Ibid.Op. Cit.56.

3-3-Politiques environnementales entre « incitatives » et « restrictives » :

En termes de mesures de promotion des innovations technologiques environnementales, la littérature accorde plus d'importance à l'offre de l'innovation plutôt qu'à la demande, Jaffe et al, (2002)¹³². Ainsi, les politiques publiques visent dans leurs démarches les firmes en les engageant à adopter des efforts en R&D plus que les consommateurs, que ce soit en leur offrant des avantages (mesures incitatives) ou en les affrontant à des limitations lors de leurs choix orientés contre l'environnement (mesures restrictives). Le cumul de ces mesures, associé à une politique industrielle appropriée, a pour principal but d'atteindre un optimum économique mais aussi environnemental.

Selon Depret et Hamdouch, (2009)¹³³, pour qu'il y ait émergence d'innovations environnementales radicales, les politiques publiques environnementales doivent être à la fois plus restrictives envers les produits et procédés polluants pour faire en sorte que le coût relatif au non-respect de la réglementation dépasse le coût d'adoption de cette même réglementation. Et en même temps, plus stimulante en recherche et développement afin d'augmenter les avantages de l'adoption des technologies radicales comparés aux avantages que les firmes pourraient tirer si elles adoptaient des technologies incrémentales. Tout cela, avec une exigence de coordination entre la politique environnementale et la politique d'innovation. Ce manque de coordination est constaté davantage dans les pays émergents. Tourabi, (2016)¹³⁴.

D'un autre côté, d'autres études viennent appuyer le rôle des innovations technologiques incrémentales. En effet, pour Tourabi, (2016)¹³⁵ les innovations incrémentales peuvent aussi présenter un levier pour l'amélioration (significative) de la performance environnementale et assurer à son tour un développement durable, car estimant que la nature « contraignante » des mesures restrictives est temporaire. En effet, le poids de ces mesures s'atténue avec l'évolution de la performance technologique de la firme. Jaffe et al, (2002)¹³⁶ Ainsi, les gains de productivité générés par les firmes lors de l'adoption des innovations incrémentales augmenteront avec la croissance de l'expérience de la firme. Tourabi, (2016)¹³⁷. Aussi, les innovations environnementales de nature incrémentales ont la particularité d'offrir aux firmes

¹³² Ibid.Op. Cit.p15.

¹³³ Ibid.Op. Cit.p 31.

¹³⁴ Ibid.Op. Cit.p56.

¹³⁵ Idem

¹³⁶ Ibid.Op. Cit.p15.

¹³⁷ Ibid.Op. Cit.p56.

des avantages compétitifs durables sans leur imposer des changements radicaux ni de performances technologiques très avancées.

De leur côté, Porter et Van Der Linde, (1995)¹³⁸ à travers leur hypothèse, mettent en avant l'importance des mesures restrictives et flexibles à la fois pour assurer un développement économique mais également environnemental arrangeant ainsi les firmes et les décideurs. Cette stratégie « gagnant-gagnant », offre aux firmes des bénéfices qui dépassent les coûts dus à la réglementation en les poussant à améliorer leur mode de production par l'innovation. Ces mesures peu sévères visent principalement à favoriser le développement environnemental sans mettre en difficulté la position des firmes sur le marché international.

Par ailleurs, la nature des mesures prises implique à son tour la nature des innovations qui en résultent. En effet, plusieurs recherches démontrent l'impact bien plus important des mesures incitatives sur le développement des innovations environnementales radicales que de celui des mesures restrictives. Jaff et al, (2002)¹³⁹.

Ils estiment qu'à travers des subventions, des droits négociables ou des programmes d'information, une mesure incitative a la particularité de renforcer les efforts des firmes et les décideurs pour atteindre des intérêts communs. Alors qu'à l'opposé, les mesures restrictives forcent les firmes, quel que soit leurs tailles ou leurs niveaux de performance économique ou technologique, de supporter, souvent, les mêmes coûts supplémentaires ce qui peut être contreproductif.

Les travaux d'Aghion et al, (2009)¹⁴⁰ viennent appuyer le fait que les mesures incitatives et restrictives doivent être prises en compte simultanément mais avec une part plus importante des mesures incitatives. Ils justifient cela par le fait que si une politique restrictive était appliquée seule, alors le coût devrait être bien plus important, ce qui serait un coût difficile à supporter par les firmes. Ainsi les mesures incitatives viennent ici alléger les conséquences des mesures restrictives.

D'un autre côté, ils mettent en garde contre les mesures incitatives malavisées comme les subventions pour les technologies relativement inefficaces dont les conséquences peuvent être lourdes à supporter car nécessitant d'importants efforts de réorientations.

¹³⁸ In Tourabi.A, 2016, « Contribution à l'analyse de l'innovation incrémentale en tant que stimulateur à l'amélioration de la performance environnementale », Réseau International de Recherche sur les Organisations et le Développement Durable, RIODD, 2016

¹³⁹ Ibid.Op. Cit.p15.

¹⁴⁰ Ibid.Op. Cit.p38.

CONCLUSION

Le premier chapitre s'est articulé autour des concepts de l'innovation technologique et de l'environnement tels qu'ils ont été traités par la pensée économique.

Nous nous sommes ainsi penchée à travers la première section sur le concept de "l'innovation technologique" en présentant en premier lieu ses caractéristiques spécifiques. A été soulignée l'importance des liens pouvant exister entre ses principales phases de développement mais celle tout autant de la nature des enchaînements entre ces dernières. Les différents courants théoriques sont ainsi passés d'un modèle linéaire à un modèle interactif et enfin à un modèle en réseaux. Ces courants de pensée ont en effet opéré le croisement du contenu des différents concepts liés à l'innovation avec celui des grandeurs économiques en tentant d'en identifier les interrelations potentielles. Des théories néoclassiques jusqu'aux théories néo-schumpétériennes en passant par les théories évolutionnistes, il apparaît que le processus d'innovation a été intégré au processus de sélection par un marché intégrant plusieurs acteurs de la dynamique concurrentielle.

Le concept de la durabilité incorporé à l'économie à partir de la fin des années quatre-vingt présente pour de nombreux courants économiques une diversité de conceptions. Cette divergence prend appui sur la divergence d'application du capital naturel renouvelable et non renouvelable (soutenabilité faible et soutenabilité forte).

L'innovation technologique environnementale de son côté, est proposée comme solution permettant de prévenir et corriger les atteintes à l'environnement. En se présentant sous différentes formes (additives, intégrées, incrémentales et radicales), ces innovations sont le résultat de deux mécanismes : les mécanismes de demande (*Market Pull*) et les mécanismes de l'offre (*Technology Push*). Notre inclination va dans le sens de l'idée que l'innovation devrait être stimulée de manière simultanée tant par la demande du marché que par les opportunités technologiques à devoir nécessairement saisir.

Ces déterminants, associés à une vision globale, permettront à notre sens, de renforcer les instruments publics visant à promouvoir les technologies environnementales.

La seconde section du chapitre a clairement mis en avant les limites du marché ainsi que celles des mesures publiques décidées qu'elles soient d'ordre incitatif ou restrictif, et ceci en soulignant les retombées possibles sur les innovations technologiques. Nous pensons aussi avoir mis en lumière l'ensemble des paramètres qui devraient être pris en compte lors de toute élaboration d'une stratégie nationale visant à promouvoir une croissance durable.

CHAPITRE 2

LE SYSTEME D'INNOVATION AU SERVICE DU DEVELOPPEMENT DES TECHNOLOGIES DURABLES

INTRODUCTION

Il est largement reconnu que l'innovation technologique est un facteur essentiel pour une croissance économique durable. Le processus de changement technologique quant à lui est résultat de nombreuses interactions organisationnelles et institutionnelles appelé aussi « *système d'innovation* ».

Cette approche systémique est particulièrement privilégiée de par la pertinence de son analyse permettant d'assurer une meilleure compréhension du processus de changement technologique passant dans une économie de la création à la diffusion de la connaissance.

Les systèmes d'innovation sont devenus ainsi des déterminants cruciaux pour la compréhension des mécanismes pouvant assurer le changement technologique dans une économie. Ainsi comprendre leur fonctionnement assure sans conteste une pertinence des prises de décisions dans le choix des politiques publiques à adopter.

De ce fait, afin d'assurer l'émergence d'un nouveau système d'innovation ou opérer des changements dans les systèmes d'innovation existants, il est primordial d'analyser tous les paramètres existants dans le processus de changement technologique. Hekkert et alii (2007)¹⁴¹.

C'est ainsi que les conditions d'évolution du changement technologique dans un système d'innovation donné, sont devenues le centre d'analyse des économistes et décideurs politiques. Leurs analyses permettent d'un côté, la construction de nouvelles politiques ou une combinaison de plusieurs politiques, ou d'identifier et expliquer les interventions publiques d'ajustement sur des anciennes politiques.

L'objectif central de ces analyses est de déterminer les éléments et/ou les activités dans le processus de changement technologique sur lesquels accentuer l'effort pour atteindre les résultats souhaitables.

Le présent chapitre s'inscrit dans le cadre d'une analyse des conditions d'évolution du changement technologique d'un système d'innovation basé sur l'apport et l'évolution de la théorie économique ayant porté sur le sujet.

L'objectif principal de cette étape de notre recherche est de pouvoir positionner la problématique de la transition énergétique dans un système d'innovation afin d'en tirer les conditions de son évolution.

¹⁴¹ Hekkert.M.P, Suurs.R.A.A, Negro S.O, Kuhlmann.S, Smits.R.E.H.M, 2007.Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change, *Technological Forecasting & Social Change* 74 (2007) 413–432

Section 1 : Analyse du changement technologique dans un système d'innovation

L'analyse du changement technologique dans un système d'innovation, objet de la présente section, a fait l'objet de nombreux travaux académiques. Cet intérêt est le résultat de l'intérêt croissant porté sur les besoins d'amélioration des politiques publiques afin d'assurer une transition énergétique sans compromettre la croissance économique des pays.

Un nombre important de ces travaux se concentre toutefois sur l'analyse des différences entre les systèmes d'innovation de par leurs structures. Et ce, en analysant les interactions entre les différents acteurs mais en négligeant l'analyse de la dynamique pouvant exister au sein de ces systèmes. Une dynamique intrinsèque au changement technologique qu'il est difficile d'ignorer. Hekkert et alii (2007)¹⁴²

C'est dans ce sens, que nous mettrons l'accent à travers la section suivante sur l'approche dynamique pour analyser le changement technologique au sein d'un système. L'objectif étant de faire ressortir les moteurs de changements possibles ainsi que les contraintes pouvant y être liées.

Pour ce faire il est nécessaire d'introduire dans un premier temps, les origines du concept du système d'innovation, ses principes fondamentaux, sa structure mais aussi les principales fonctions qui régissent sa dynamique, et ce, dans le but de mettre en avant la pertinence des différentes politiques publiques, et pouvoir en tirer des observations sur les différentes lacunes possibles.

1-Le Système d'innovation : origines, structure et principes fondamentaux :

1-1-Origines de l'approche :

De prime abord il est important de souligner que le concept de « système d'innovation » retrouve ses origines dans la définition largement utilisée d'un système de manière générale et proposée par Joël de Rosnay¹⁴³ à savoir : « *un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but* ». Ainsi, quel que soit les éléments qui composent le système, l'analyse du fonctionnement de cet ensemble doit passer par l'étude de la nature des liens entre ses composants.

¹⁴² Ibid.Op. Cit.p65.

¹⁴³ In Donnadiou.G, Durand.D, Neel.D, Nunez.E, Saint-Paul.L, 2003« L'Approche systémique : de quoi s'agit-il ? Synthèse des travaux du Groupe AFSCET " Diffusion de la pensée systémique, page 03.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

L'approche systémique pour l'analyse du processus d'innovation est apparue depuis plusieurs décennies sous différents niveaux d'analyse. Même s'il est difficile d'attribuer cette approche à une personne en particulier, il est largement reconnu que les études les plus pertinentes ayant traité l'approche systémique de l'innovation remontent aux années quatre-vingt à travers les travaux de Freeman en 1987. Ces derniers ont contribué aux discussions de l'OCDE sur la science, la technologie et la compétitivité internationale. Havas, (2016)¹⁴⁴.

Ces discussions ont traité les raisons qui permettent à certains pays d'être plus compétitifs que d'autres. Ainsi, la vision systémique du processus de l'innovation a permis d'apporter quelques éléments de réponse.

Par ailleurs, la compréhension de ce concept est perçue par plusieurs auteurs Lundvall et al, (2009)¹⁴⁵ comme un outil nécessaire à l'élaboration des politiques et stratégies basées sur l'émergence des nouvelles technologies dans une économie.

Depuis, le concept de Système d'Innovation est largement utilisé. Il n'existe pas de définition universellement acceptée. Toutefois, Edquist, (1997, p14)¹⁴⁶ propose dans son ouvrage, une définition du système d'innovation, qui a été largement reconnue dans les différents travaux de recherche. Pour lui le système d'innovation représente : « *tous les facteurs économiques, sociaux, politiques, organisationnels ainsi que d'autres qui influencent le développement, la diffusion et l'utilisation des innovations* »¹⁴⁷.

L'approche d'analyse par les systèmes d'innovation tire ses origines également des théories d'innovation comme : les théories d'apprentissage interactives et les théories d'évolution. Edquist, (1997)¹⁴⁸

1-2-Structure d'un système d'innovation :

Il est largement reconnu dans l'ensemble des travaux de recherche portant innovation et dynamique du changement technologique, que l'innovation est une activité collective. Hekkert et al, (2011)¹⁴⁹. Ainsi, l'interdépendance dans le système d'innovation est très importante voir cruciale. Les changements dans un élément influencent nécessairement au minimum un autre élément. La solidité d'un système se retrouve ainsi fonction de ses éléments et la force de liens

¹⁴⁴ Ibid.Op. Cit.p13.

¹⁴⁵ Lundvall.B.A, Joseph.k.J ,Chaminade.C ,Vang.J, 2009, « Handbook of innovation systems and developing countries : building domestic capabilities in a global setting », Edward Elgar, UK.

¹⁴⁶ In Edquist.C, 2001, « The systems of innovation approach and innovation policy: An account of the state of the art », DRUID conference, Aalborg, June 12-15, 2001, under theme F: 'National Systems of Innovation, Institutions and Public Policies'.

¹⁴⁷ Traduite à partir de la version originale.

¹⁴⁸ Edquist.C, 1997, « Systems of innovation: technologies, institutions and organizations », Science, technology and the international political economy, John de la Mothe (Series editor).

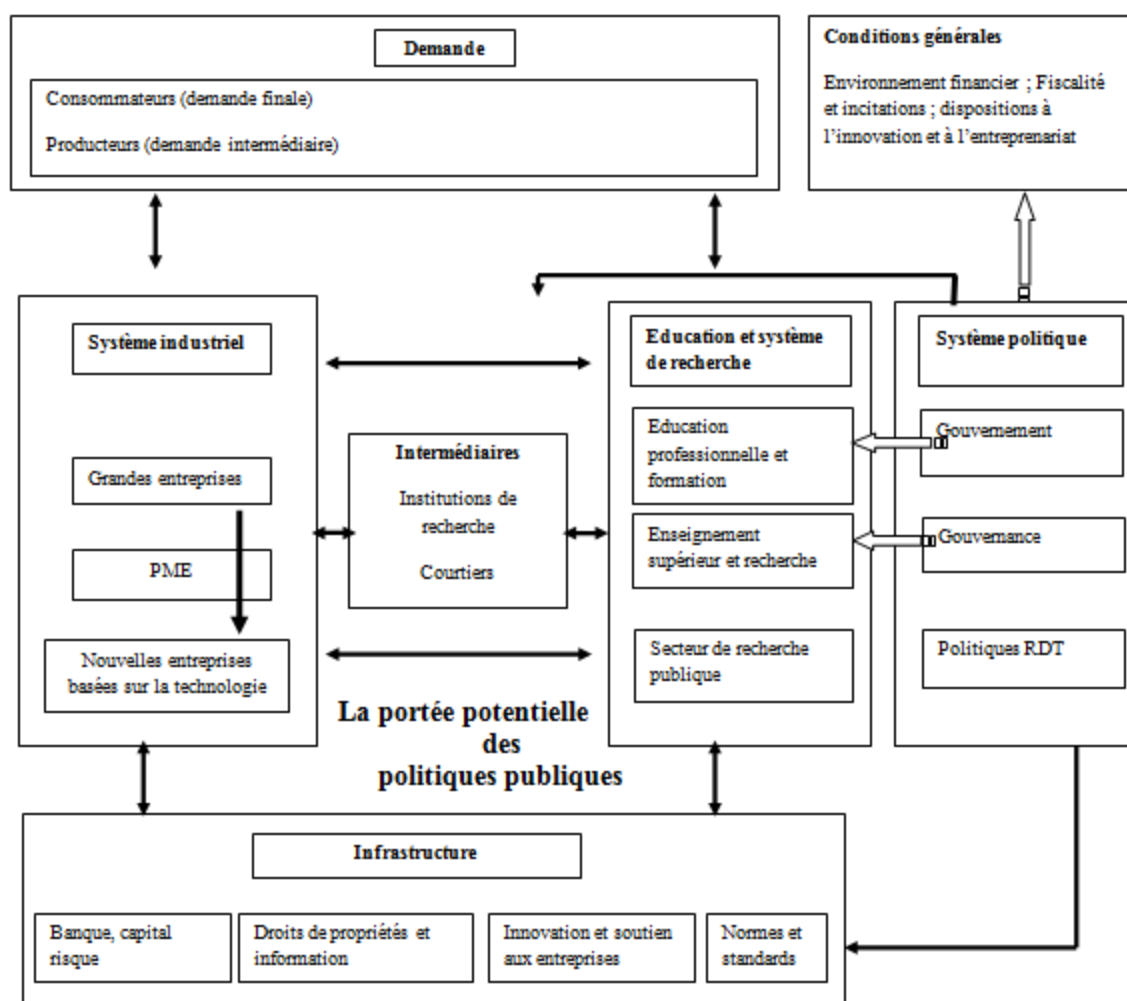
¹⁴⁹ Hekkert.M, Negro.S, Heimeriks.G, Harmsen.R, 2011, « Technological innovation sysem analysis: A manual for analysts », Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation, Universiteit Utrecht, November 2011.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

entre eux. Ces interactions, représentées par des flux d'informations et de connaissances entre personnes, entreprises et institutions, sont considérées donc, comme la clé d'un processus innovant qui affecte la vitesse et la direction du changement permettant de ce fait la transformation des idées en produits ou services sur le marché, permettant à leurs tours l'enrichissement de la base de connaissances pour l'expansion de nouvelles technologies, créant ainsi un cercle vertueux.

À travers la présentation schématique de la figure n°05 ci-dessous, nous exposons la structure générale d'un système d'innovation.

Figure n° 05 : Représentation schématique de la structure d'un système d'innovation



Source : Hekkert, et al, (2011, p 3)¹⁵⁰.

En plus de la technologie, pour Hekkert et alii, (2011), la structure d'un système d'innovation repose sur trois (03) piliers :

¹⁵⁰ Ibid.Op. Cit.p67.

1-2-1-Les acteurs :

Les acteurs sont les organisations qui contribuent au développement et l'adoption de la technologie. Nous proposons de regrouper les acteurs activant dans un système d'innovation en trois (03) catégories :

- a- Les institutions des connaissances :** regroupant les établissements d'enseignement supérieur et les centres de recherche publics, les organisations d'éducation et les centres de formation professionnelle.
- b- Les acteurs de marché :** regroupant les producteurs (de produits et de services) et les consommateurs
- c- Les infrastructures publiques de soutien :** regroupant les établissements financiers, mais aussi, les établissements de soutiens aux entreprises innovantes.

1-2-2-Les institutions :

Ceci peut concerner les institutions officielles et non officielles. Ces dernières peuvent affecter les interactions entre firmes. Nous distinguons dans cette composante, l'ensemble des politiques en place destinées à accompagner les acteurs, comme : l'environnement financier, les mesures fiscales et incitatives, les droits de propriété et de l'information, les normes et standards, etc.

Ces deux premières composantes (les acteurs et les institutions) sont représentées sur la figure n° 05 (*Représentation schématique de la structure d'un système d'innovation*), et représentent le maillon fort du développement de la technologie dans un système. Néanmoins, la bonne diffusion de la technologie est conditionnée par des réseaux d'interactions ainsi que par des facteurs technologiques.

1-2-3-Les réseaux :

Le rôle qu'un réseau peut avoir sur la trajectoire d'une technologie particulière dans un système d'innovation est d'une importance cruciale. Il est ainsi question d'assurer l'existence d'une interrelation entre d'un côté, les acteurs avec le réseau et d'un autre côté entre les acteurs eux-mêmes. L'objectif de telles interconnexions est l'amélioration des conditions au travers desquelles les problèmes liés au développement d'une technologie sont résolus.

Même si les apports de nombreux auteurs différents dans l'étendue des interactions, il ressort toutefois clairement que l'ensemble de ces auteurs met l'accent en premier lieu sur la nature interactive du système d'innovation tout en ressortant le rôle prédominant des institutions, la gouvernance des interactions, mais aussi de la gouvernance des flux financiers et les flux de connaissances entre les différents acteurs, particulièrement les firmes.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

En effet, dans un climat institutionnel favorable, les firmes représentent le noyau du système. Elles permettent de déclencher les différentes interactions à travers leurs activités d'innovation dans leurs recherches pour des marchés potentiels leurs assurant la survie.

À l'opposé, un manque de clarté dans les politiques juridiques, fiscales et financières, conduit systématiquement à des blocages empêchant la production des connaissances mais aussi leur diffusion dans le système.

Ainsi, le réseau institutionnel (juridique et financier) permet aux firmes de croître tout en s'appuyant sur leurs capacités organisationnelles, et de leurs connaissances. En retour, à travers ces pratiques, chaque firme contribue à renforcer le stock de connaissances générales sur le marché, et ce, en augmentant le niveau de concurrence.

De ce fait, les systèmes d'innovation de différentes économies se différencient entre eux par le poids du tissu institutionnel. Les différences peuvent en effet concerner la gestion des activités de R&D, la politique de diffusion de l'information entre les acteurs, ainsi que l'appui juridique et financier.

1-3-Principes fondamentaux :

L'objectif principal recherché par l'analyse d'un système d'une manière générale, est d'observer les différentes actions entre les différents éléments du système. Toutefois, et à la différence de l'approche statique (linéaire), l'intérêt pour l'approche dynamique est de mettre l'accent sur les schémas circulaires de causalité entre les différents éléments, c'est-à-dire analyser chaque action comme « *cause* » et « *conséquence* » à la fois. Ainsi, la nature de ces interactions donne le caractère complexe de l'analyse du système.

Pour Hummelbrunner et Regionalberatung, (2000)¹⁵¹, plusieurs caractéristiques découlent de cette nature complexe du système

1-3-1-La relation entre interaction, information et communication :

La source principale d'interaction entre les différents éléments du système est la communication qui est faite via l'information. C'est pour cette raison que l'information est considérée comme étant le facteur jouant un rôle crucial dans le processus de diffusion de la technologie. L'information transmise dans le système ne porte toutefois pas le même résultat pour l'ensemble des acteurs. En effet, la structure interne de l'élément influe sur la différence qui sera produite par cette même information.

D'un autre côté, les réactions sur les informations reçues ainsi que les adoptions des nouvelles technologies sont-elles mêmes considérées comme de nouvelles informations et

¹⁵¹ Hummelbrunner.R, Regionalberatung.O, 2000, « A system approach to evaluation: Application of system theory and system thinking in evaluations », 4th EES conférence, 12-14 October 2000, Lousanne.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

permettent la création d'externalités positives, conduisant à un optimum social, et ce, du fait de la nature « bien public » de l'information. Jaffe et al, (2002)¹⁵².

Il existe, néanmoins, d'autres situations de marché pouvant bloquer le mécanisme de diffusion des nouvelles technologies. Ces situations du marché, associées aux imperfections et l'asymétrie de l'information, sont à l'origine de la conception de la firme comme processeur d'information. Cohendet et Llerena, (1999)¹⁵³.

1-3-2-Les problèmes et les solutions :

Dans un système, les situations nouvelles jugées indésirables sont nommés problèmes. A partir de cette petite définition et tenant en compte la nature complexe d'un système, les problèmes de certains éléments peuvent être considérés comme des solutions pour d'autres, mais cela dépend une fois de plus, de la manière dont les éléments interagissent avec les différentes situations surgissant dans le système.

D'un autre côté, la solution d'un problème du système doit passer par une définition des éléments et relations responsables du problème, une analyse des mauvaises corrections précédemment appliquées et n'ayant pas abouti et enfin par une définition des nouvelles solutions.

1-3-3-La relation entre la technologie, l'apprentissage, la connaissance et les compétences :

« *La technologie est le savoir technique relatif à la production des biens et des services. Elle peut être codifiée dans des manuels, dans le design, dans les rapports de recherche... ; elle est aussi physiquement reconnaissable dans la technique et la machinerie. Mais elle peut aussi être tacite, savoir-faire non codifié que l'on trouve dans l'expérience des travailleurs et des ingénieurs.* ». Niosi et al, (1992, page 218)¹⁵⁴

Les capacités d'apprentissage des firmes « *learning by doing* » ont longtemps enrichi les travaux de plusieurs auteurs tout particulièrement ceux de l'approche évolutionniste.

En effet, pour cette approche, l'apprentissage est attribué par les compétences ou les capacités organisationnelles de ces firmes. Ces compétences, Guilhon, (1994)¹⁵⁵ les définit

¹⁵² Ibid.Op. Cit.p15.

¹⁵³ Cohendet.P, Llerena.P. 1999 « La conception de la firme comme processeur de connaissances », Revue d'économie industrielle, vol. 88, 2e trimestre. Économie de la connaissance. pp. 211-235.

¹⁵⁴ Niosi.J, Bellon.B,Saviotti.P, Crow.M, 1992, « Les systèmes nationaux d'innovation : à la recherche d'un concept utilisable. In : Revue française d'économie, volume 7, n°1, 1992. pp. 215-250

¹⁵⁵ In Cohendet.P, Llerena.P. 1999 « La conception de la firme comme processeur de connaissances », Revue d'économie industrielle, vol. 88, 2e trimestre. Économie de la connaissance (page 213).

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

comme « *Un ensemble de routines, de savoir-faire différenciés et d'actifs complémentaires qui traduisent l'efficacité des procédures de résolution des problèmes que la firme se pose* ».

La connaissance quant à elle, est le résultat du cumul de l'apprentissage des acteurs notamment les firmes. Ce cumul leur offre une meilleure faculté à traiter la connaissance. Ainsi, cette connaissance tout comme l'information, est considérée comme le résultat de réaction et de sélection des différents éléments du système. De ce fait, les retombées de la connaissance diffèrent d'une firme à l'autre et d'un pays à l'autre. Elles sont fonction des capacités d'apprentissages de l'entité.

La connaissance peut être de base « *Learning why* » ou appliquée « *learning how* », sa génération ne se limite pas à la phase première du processus de changement technologique mais à de multiples niveaux.

Dans un premier temps, la connaissance, souvent spécialisée¹⁵⁶, est la source première et fondamentale du changement technologique dans un système d'innovation technologique. Elle s'appuie principalement sur les disciplines d'ingénierie. Cette connaissance se retrouve ensuite déclenchée lors des phases de production et de développement. Ce point a fait l'objet de nombreuses études, Von Hippel, (1988), Lundvall, (1990), (1992), Friblund (2000)¹⁵⁷ où, à travers des études de cas, ces auteurs ont démontré que la collaboration entre utilisateurs finaux et producteurs permettait un échange de connaissances qui étaient nécessaires au développement des processus technologiques. Ces expériences, renforcent davantage le rôle du marché pour la bonne diffusion de l'information entre les différents acteurs.

Evoquer la création de connaissances d'un côté, nous oblige à évoquer la possibilité/risque de dépréciation de la connaissance, c'est-à-dire le risque de la perdre. Cette situation intervient au niveau des entreprises suite au mouvement de personnel, mais aussi suite au changement trop rapide des innovations technologiques sur le marché, ce qui rend les connaissances cumulées obsolètes. Ces cas sont plus fréquents dans les activités de services. Grubler et Nemet, (2012)¹⁵⁸

1-3-4-Du poids des institutions dans un système d'innovation :

Avant d'évoquer le rôle important des institutions dans un système d'innovation, nous jugeons nécessaire de mettre la lumière sur la différence entre les organisations et les

¹⁵⁶ Notamment dans le secteur énergétique

¹⁵⁷ In GEA, 2012 : Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future. International Institute for Applied Systems Analysis, Vienna, Austria and Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

¹⁵⁸ Grubler, A, Nemet,G, 2012, « Sources and Consequences of Knowledge Depreciation. Historical Case Studies of Energy Technology Innovation » in: Chapter 24, The Global Energy Assessment. Grubler A., Aguayo, F., Gallagher, K.S., Hekkert, M., Jiang, K., Mytelka, L., Neij, L., Nemet, G. & C. Wilson. Cambridge University Press: Cambridge, UK.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

institutions qui représentent les éléments clé dans un système d'innovation, et ce tel que l'explicitent Edquist et Johnson (1997, P46 et P47)¹⁵⁹.

« Organizations are formal structures with an explicit purpose and they are consciously created »

Ainsi pour ces scientifiques, les organisations peuvent être : les firmes (offreurs et demandeurs), les universités, les centres de recherche, les agences publiques, les établissements bancaires et financiers.

« Institutions are sets of common habits, routines, established practices, rules, or laws that regulate the relations and interactions between individuals, groups and organisations ».

Quant aux institutions, elles peuvent être représentées par le système juridique et réglementaire protégeant les brevets et les droits de propriété intellectuelle en gérant ainsi les relations entre les acteurs, notamment les firmes, les centres de recherche et les universités.

L'intérêt que porte la recherche économique sur le rôle des institutions pour le fonctionnement du changement technologique dans un système d'innovation est de plus en plus accru. En effet, l'innovation est considérée comme le résultat d'un processus d'apprentissage interactif et cumulatif. Edquist et Johnson, (1994)¹⁶⁰. Ainsi, la nature des interactions reliant les activités de R&D avec l'ensemble des activités de l'économie est cruciale pour l'orientation de la trajectoire technologique.

De plus, la nature risquée des activités d'innovation nécessite un support institutionnel solide. Nous constatons d'ailleurs que le poids des institutions est relevé dans la plupart des définitions données sur l'innovation et le système d'innovation.

Pour les théories néoclassiques, les institutions étaient limitées au concept de marché qui guidait les besoins et utilités des agents économiques à travers certains paramètres permettant la fixation des prix. Or, pour les institutionnalistes, le marché ainsi que les firmes sont considérés comme des organisations et sont exclus donc de la conception de l'institution. En effet, plusieurs auteurs qui défendent cette approche suggèrent que les institutions doivent fonctionner en parallèle du marché tout en cherchant à limiter son autodestruction. Edquist et Johnson, (1994)¹⁶¹. Ces derniers déclinent l'idée que le marché puisse fonctionner correctement

¹⁵⁹ Edquist.C, Johnson, B, 1997, « Systems of innovation: Overview and basics concepts », Chapter two «Institutions and Organizations in System of Innovation », Taylor and Francis Group, 2006, London.

¹⁶⁰ Cité dans; Edquist.C, Johnson, B, 1997, « Systems of innovation: Overview and basics concepts », Chapter two «Institutions and Organizations in System of Innovation », Taylor and Francis Group, 2006, London.

¹⁶¹ Idem.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

sans le rôle structurant et organisant des institutions. Ils appuient ce positionnement par l'exigence d'une communication qualitative pour la production de l'innovation.

Edquist et Johnson, (1994, p49)¹⁶², proposent une définition des institutions : « *un ensemble d'habitudes communes, de routines, de pratiques établies, de règles ou de lois régissant les relations entre individus et groupes* »¹⁶³.

Cette définition présente les fonctions des institutions comme nécessaire pour réguler les relations entre individus et groupes. Elles affectent par ailleurs l'innovation en agissant sur les processus d'apprentissage. Ces fonctions concernent d'une manière générale :

- la réduction des incertitudes en fournissant les informations nécessaires (par exemple : droits de la propriété intellectuelle),
- la gestion des conflits et les coopérations entre individus et groupes (par exemple : les tribunaux d'arbitrage),
- fournir des incitations aux individus et aux firmes pour les pousser à la participation aux processus d'innovation (par exemple : les incitations professionnelles pour la promotion de carrières, impôts sur les revenus, etc.).

Scott, (1995, p33)¹⁶⁴ de son côté, définit les institutions par la nature des activités qui les constituent :

« Les institutions sont constituées de structures et d'activités cognitives, normatives et régulatrices qui assurent la stabilité et sens au comportement social. Les institutions sont transportées par divers transporteurs - cultures, structures et routines - et ils opèrent à plusieurs niveaux de juridiction »

Par cette définition, l'auteur définit trois éléments considérés comme les piliers qui constituent les institutions ; cognitives, normatives (comprenant les normes assorties de sanctions mais aussi de récompenses), régulatrices (axés sur les aspects juridiques).

Parallèlement à ceci, les institutions peuvent dans certains cas présenter des obstacles pour accélérer le processus d'innovation. Ainsi, certaines défaillances risquent d'inverser les fonctions premières des institutions. Comme c'est le cas pour la rigidité et la lenteur de certaines institutions face à un changement technologique rapide qui risque d'empêcher l'atteinte du plein potentiel des innovations technologiques mais aussi empêcher le retour des fonds financiers

¹⁶² Idem

¹⁶³ Traduction faite à partir de la version originale en Anglais.

¹⁶⁴ In Gronning.T, 2008, « Institutions and innovation systems: the meaning and roles of the institution concept within systems of innovation approaches », « Entrepreneurship and innovation-organizations, institutions, systems and regions », Copenhagen, CBS, Denmark, June 17 - 20, 2008, P4.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

alloués. L'expression « *paralysie institutionnelle* » a été utilisée par l'OCDE pour définir un tel phénomène. Edquist et Johnson, (1994)¹⁶⁵

Par ailleurs, il est aussi important d'évoquer l'interrelation qui existe entre les firmes et les institutions dans un système d'innovation. En effet, la pratique des firmes au sein d'un système n'opère pas d'une manière isolée, Edquist, (2001)¹⁶⁶ et donc impacte les changements des règles des institutions. En même temps, ces changements de règles sont considérés eux aussi comme des éléments influençant le processus d'innovation. Cooke, (1998)¹⁶⁷

Le poids des institutions est primordial dans toutes les économies quels que soient leurs niveaux de développement économique. En effet, pour les pays en voie de développement, l'absence des efforts en R&D explique leur dépendance vis-à-vis de l'extérieur mais aussi accentue leur retard technologique, ce qui agit négativement sur leur croissance économique et sociale. Ainsi, le défi de ces pays est de mettre en œuvre des politiques incitant au développement technologique. Néanmoins, la capacité de ces politiques à dégager des externalités de R&D positives repose, nécessairement, sur la présence d'un tissu institutionnel ainsi qu'une bonne gouvernance permettant de garantir au marché une neutralité à conduire les affaires économiques. Gabsi, (2011)¹⁶⁸. Le transfert technologique de son côté, est considéré comme facteur clé pour assurer le changement technologique au sein de ces pays. De ce fait, l'ouverture commerciale assure la spécialisation dans les secteurs clés comme celui des énergies renouvelables.

2-Caractéristiques du processus de changement technologique :

Dans leurs rapports sur la stimulation de l'innovation technologique pour assurer le développement durable, Patris et Warrant, (2001)¹⁶⁹ mettent en avant cinq (05) éléments pouvant caractériser le processus de changement technologique :

2-1-L'importance des liens multidirectionnels :

Ces liens reliant l'ensemble des acteurs dans un système d'innovation, sont conditionnés par une infrastructure de communication et la circulation de l'information et de la connaissance.

¹⁶⁵ In Edquist.C, Johnson, B, 1997, « Systems of innovation: Overview and basics concepts », Chapter two «Institutions and Organizations in System of Innovation », Taylor and Francis Group, 2006, London.

¹⁶⁶ Edquist.C, 2001, « The systems of innovation approach and innovation policy: An account of the state of the art », DRUID conference, Aalborg, June 12-15, 2001, under theme F: 'National Systems of Innovation, Institutions and Public Policies'.

¹⁶⁷ Cooke.P, 1998, «Regional systems of innovation: an evolutionary perspective », *Environment and Planning A* 1998, volume 30, pages 1563 - 1584

¹⁶⁸ Gabsi.S, 2011, « Externalités de la R&D, institutions et croissance : Validation empirique pour le cas des pays en voie de développement », De Boeck Supérieur « Innovations » 2011/2 n°35, pages 207 à 249

¹⁶⁹ Patris. C, Warrant, F, 2001, « L'innovation technologique au service du développement durable », working paper n°4, « Stimulation de l'innovation technologique en faveur du développement durable », Programme « levier du développement durable », Contrat de recherche n° HL/DD/020, Fondation travail université, Belgique.

2-2-L'existence de processus cumulatifs et d'auto-renforcement :

Pour les auteurs, le processus de changement technologique est conditionné par la présence d'un processus cumulatif et d'auto renforcement qui se met en place dans le temps. Ce processus, si couplé à des mesures d'accompagnement des mesures d'accompagnement de l'innovation appropriées, permet la création d'un phénomène de sélection sur le marché.

2-3-Le rôle central de l'apprentissage et de la connaissance :

Ici, les auteurs soulignent deux formes d'apprentissage : l'apprentissage cumulé avec l'expérience, appelé aussi ; « *learning by doing* » ainsi que l'apprentissage issu des expériences des autres appelé aussi ; « *learning by interacting* ». L'innovation est ainsi le résultat provenant des capacités individuelles et collectives à générer des connaissances et le savoir-faire.

2-4-Le schéma de développement singulier de chaque innovation :

L'émergence de l'innovation liée à certaines technologies implique l'adoption des politiques publiques appropriées destinées à cibler les caractéristiques particulières de ces technologies.

2-5-Le caractère systémique et interdépendant du changement technologique :

L'approche générale du système d'innovation a donné naissance à une multitude de travaux traitant le sujet. Certaines contributions ont traité le niveau national du système d'innovation comme pour ceux de Freeman, Lundvall et Nelson, et d'autres contributions couvrent le système d'innovation au niveau régional ou sectoriel comme pour Cooke, (1998) Asheim, 2005), Malerba, (2002)¹⁷⁰. Pour ce qui est de l'expression « *Système national d'Innovation* », elle a été abordée pour la première fois en 1992 par Bengt-Ake Lundvall qui a lui aussi participé à la discussion de l'OCDE en tant que délégué du gouvernement danois. Havas, (2016)¹⁷¹, Edquist, (1997)¹⁷²

Il existe différentes approches d'analyse du système de l'innovation : national, régional, sectoriel, mais aussi une approche multi-niveau. Les systèmes dans ces multiples approches se ressemblent entre eux dans la manière dont la connaissance est créée, diffusée et utilisée, et diffèrent de par l'étendue de leurs composants ainsi que de la nature des liens pouvant exister entre eux.

Des interactions entre les différents créateurs de connaissances qu'ils soient publics ou privés. L'analyse des conditions de rapprochement entre ces acteurs est primordiale pour assurer la bonne diffusion des connaissances.

¹⁷⁰ Leurs apports seront détaillés dans le point suivant.

¹⁷¹ Ibid.Op. Cit.p13.

¹⁷² Ibid.Op. Cit.p67.

3-Les approches d'analyse du changement technologique dans un système d'innovation :

3-1-L'approche statique (par la structure) :

3-1-1-La dimension géographique du système d'innovation :

La dimension géographique apparaît le plus souvent lors de l'analyse d'un pays. Toutefois, la rapide expansion des technologies de l'information et de la communication conduit naturellement à un redimensionnement à l'échelle internationale de l'ensemble des activités économiques amenant l'analyse à une échelle régionale ou internationale.

Edquist, (2001)¹⁷³ précise que chaque approche ne vient pas exclure la précédente mais plutôt apporter une variante différente mais complémentaire.

3-1-1-1-Le système national d'innovation :

L'approche du système national d'innovation a été introduite par l'économiste danois Lundvall qui a mis en lumière les flux technologiques existant entre les producteurs et les utilisateurs. Niosi et al, (1992)¹⁷⁴ Elle prend appui sur une prise en compte de l'ensemble des acteurs activant dans le domaine de la science et de la technologie au niveau national dépassant en cela, l'analyse de l'innovation au niveau de l'entreprise. Ces acteurs peuvent être des entreprises, (industries ou de service), des organisations publiques ou privées, les universités, les institutions de recherche, mais aussi les agences gouvernementales.

Le rôle des institutions dans le système national d'innovation pour la gestion des activités de recherche a été soutenu par Freeman (1987, 1988)¹⁷⁵. Il définit d'ailleurs le système national d'innovation comme étant : « *les réseaux d'institutions dans les secteurs publics et privés dont les activités et les interactions initient, importent, modifient et diffusent les nouvelles technologies* ».

De son côté Lundvall, (1992)¹⁷⁶ définit un système national d'innovation comme : « *Les éléments et les relations qui interagissent dans la production, la diffusion et l'utilisation de connaissances nouvelles, économiquement utiles Et qui sont situés à l'intérieur ou enracinés à l'intérieur des frontières d'un Etat- nation* ».

De leur côté, Niosi et al, (1993)¹⁷⁷ présentent le rôle des entreprises quel que soit leur taille dans la production de la science, et définissent le système d'innovation comme étant : « *le*

¹⁷³ Ibid.Op. Cit.p75

¹⁷⁴ Ibid.Op. Cit.p71.

¹⁷⁵ Cité à la page 217 dans : Niosi.J, Bellon.B,Saviotti.P, Crow.M, 1992, « Les systèmes nationaux d'innovation : à la recherche d'un concept utilisable. In: Revue française d'économie, volume 7, n°1, 1992. pp. 215-250

¹⁷⁶ Ibid.Op.Cit.p 02.

¹⁷⁷ Cité à la page 04 dans: Lundvall.B.A, Joseph.k.J ,Chaminade.C ,Vang.J, 2009, « Handbook of innovation systems and developing countries : building domestic capabilities in a global setting », Edward Elgar, UK.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

système d'entreprises privées et publiques en interaction (grandes ou petites), d'universités et d'agences gouvernementales visant à produire de la science et de la technologie à l'intérieur des frontières nationales. Les interactions entre ces unités peuvent être techniques, commerciales, juridiques, sociales et financières, dans la mesure où le but de ces interactions est le développement, la protection, le financement ou la régulation de nouvelles sciences et technologies ».

L'analyse du système national d'innovation est la plus complexe. Sa complexité réside dans la difficulté à cerner les multitudes interactions entre les différents acteurs. Ainsi, l'analyse portant cette dimension se limite sur les interrelations statiques, ou sur des études statiques comparatives avec les autres systèmes nationaux. Carlsson et al, (2002)¹⁷⁸

En parallèle à ceci, Niosi et al, (1992)¹⁷⁹ définissent cinq (05) liens existants entre les éléments d'un système national d'innovation : les flux financiers, les liens légaux et politiques, les flux technologiques, les flux sociaux et les flux d'information.

3-1-1-2-Le système régional d'innovation :

La dimension régionale du système d'innovation trouve ses origines dans les apports de la littérature qui traite la notion des coûts de transaction et de l'importance de l'internalisation par des entreprises ou l'externalisation par les marchés pour parvenir à réduire ces coûts.

D'abord, une définition d'une région est essentielle pour la compréhension de l'apport de cette approche. Pour Cooke, (1998, p 1574)¹⁸⁰, « *une région est un territoire inférieur à son souverain, possédant des caractéristiques administratives, culturelles, politiques ou politiques supra locales distinctives. Pouvoir économique et de cohésion, le différenciant de son État et des autres régions* »¹⁸¹

Cette définition présente deux processus clés pour l'évolution des régions : un processus de régionalisation et un processus de régionalisme.

Par processus de régionalisation, l'auteur signifie un territoire délimité par un Etat ou un autre corps supérieur où les pouvoirs administratifs sont conférés aux organisations telles que les parlements ou les bureaux administratifs qui interagissent avec les organisations existantes. Un tel processus peut précéder une union régionale d'ordre socioculturel et donc amener au deuxième processus dit de régionalisme. Dans un processus pareil, la force du capital social est fonction d'une union culturelle, et/ ou économique et identitaire. Ainsi, l'objectif par

¹⁷⁸ Carlsson.B, Jacobsson.S, Holmén.M, Rickne.A, 2002, « Innovation systems: analytical and methodological issues », Research policy, 31, 233-245.

¹⁷⁹ Ibid.Op. Cit.p71.

¹⁸⁰ Ibid.Op. Cit.p75.

¹⁸¹La définition a été traduite à partir de la version originale en anglais.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

cette approche est d'analyser les capacités politiques du capital social d'une région avec des spécificités particulières, et ce, tout en tenant compte des aspects institutionnels.

L'auteur souligne par ailleurs, que la présence d'une base culturelle préexistante « régionalisation » ne signifie pas forcément l'atteinte d'une performance économique. Une telle performance peut parvenir également des régions affichant du « régionalisme » si ces dernières engagent leurs pouvoirs économiques, administratif et politique.

Par ailleurs, de nombreuses études ont été menées mettant en avant la réussite de l'agglomération territoriale dans la performance économique. Une telle stratégie permet une localisation du processus d'apprentissage et du développement des connaissances fondés sur l'interaction sociale. Asheim et Coenen, (2005)¹⁸².

Il est à préciser que le système régional d'innovation présente des caractéristiques similaires à celles des clusters¹⁸³. Toutefois, ces derniers présentent quelques différences, c'est ce qui a été précisé par Isaksen et Hauge, (2002, p. 14)¹⁸⁴. Ces derniers définissent le cluster comme étant « *une concentration d'entreprises « interdépendantes » au sein de secteurs industriels identiques ou adjacents dans un petit territoire* ».

Alors que le système régional d'innovation, est défini comme étant « *un ensemble d'acteurs et d'organisations (entreprises, universités, centres de recherche, etc.) qui sont systématiquement engagés dans l'innovation et l'apprentissage interactif à travers des pratiques institutionnelles communes* ». Doloreux, (2005, p24)¹⁸⁵.

Cette différence n'empêche pas les deux approches de coexister dans le même territoire.

En parallèle, et comme pour le concept général du système d'innovation, l'approche régionale concerne une infrastructure institutionnelle où la connaissance est générée, développée et diffusée entre les différents acteurs. À la différence du système national d'innovation, l'apprentissage dans le système régional est localisé, mais aussi ciblé selon le besoin des industries et le potentiel de la région.

D'ailleurs, ce sont ces besoins qui alimentent les liens multidirectionnels entre les acteurs. De telles conjonctures, si elles sont accompagnées d'un tissu institutionnel favorable au développement et à la diffusion de la connaissance, assureront un développement économique.

¹⁸² Asheim B.T., Coenen.L, 2005, « Knowledge bases and regional innovation systems: Comparing Nordic clusters », Research Policy 34 (2005) 1173–1190

¹⁸³ Le mécanisme des clusters a été détaillé dans le premier chapitre dans la section 2.

¹⁸⁴ In Asheim.B.T, Coenen.L, 2005, « Knowledge bases and regional innovation systems: Comparing Nordic clusters », Research Policy 34 (2005) 1173–1190

¹⁸⁵ Doloreux.D, Bitard.P, 2005, « Les systèmes régionaux d'innovation : discussion critique », Géographie, économie, société, Lavoisier, 01/2005. Vol.7, Pages 21 à 36.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

À la différence du système national d'innovation, le caractère régional dans ce cas-là renforce davantage les coopérations entre acteurs, permettant de dégager « *une culture régionale* ».

De ce fait, le poids des institutions dans cette approche est tout aussi crucial que pour l'approche nationale. Le degré d'intervention de la structure institutionnelle dans le système régional d'innovation a laissé apparaître trois (03) variantes : Asheim et Coenen, (2005)¹⁸⁶

Le premier type est appelé « *territorialement intégré* ». Dans ce type, les activités d'innovation des entreprises trouvent leurs ressources dans les processus d'apprentissage stimulés par la proximité géographique sans recourir aux connaissances générées par les organisations comme les universités ou les centres de recherche. Ainsi, la trajectoire du processus de changement technologique est ascendante.

À l'opposé pour le deuxième type appelé « *en réseau* », les interactions au sein du système sont renforcées davantage, et ce, par un tissu institutionnel spécifique au caractère de la région dont le rôle est le développement des centres de R&D, universités ou organismes de formation professionnelle. Dans un système pareil, les coopérations publics-privés pour l'amélioration des capacités d'innovation des firmes sont favorisées.

Pour le troisième type appelé « *système d'innovation national régionalisé* », il s'agit d'une intégration de l'infrastructure industrielle et institutionnelle d'une région dans le système d'innovation nationale ou internationale. Ainsi, à travers des coopérations avec les acteurs externes à la région, les firmes développent leurs activités d'innovation qui concernent principalement des technologies spécifiques. Il s'agit alors dans ce cas-là des parcs scientifiques ou technopôles dont le réseau interne n'est pas très étendu.

3-1-1-3-Le système sectoriel d'innovation :

Cette approche accentue l'analyse sur les interdépendances au sein d'un secteur, ou groupes d'industries particuliers. Le principe de base d'une telle approche s'appuie sur les technologies et les connaissances mais aussi sur les opportunités possibles pouvant être cumulées avec un tel regroupement. L'exemple du système industriel de la Silicone Valley est le plus approprié pour ce type d'approche.

Malerba, (2002, page 248)¹⁸⁷ propose de définir un système d'innovation sectoriel comme étant :

¹⁸⁶ Ibid.Op. Cit.p79.

¹⁸⁷ Traduction faite à partir de la version anglaise de ; Malerba.F, 2002, « Sectoral systems of innovation and production », Research policy, 31 (2002) 247-264.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

« Un ensemble de produits nouveaux et établis pour des utilisations spécifiques et l'ensemble des agents réalisant des interactions marchandes et non marchandes pour la création, la production et la vente de ces produits. Les systèmes sectoriels ont une base de connaissances, des technologies, des intrants et une demande. Les agents sont des individus et des organisations à différents niveaux d'agrégation, avec des processus d'apprentissage, des compétences, une structure organisationnelle, des convictions, des objectifs et des comportements spécifiques. Ils interagissent à travers des processus de communication, d'échange, de coopération, de compétition et de commandement, et leurs interactions sont façonnées par les institutions. Un système sectoriel est soumis à des processus de changement et de transformation à travers la co-évolution de ses différents éléments ».

La première lecture de cette définition fait ressortir la nature spécifique des technologies (produits), mais aussi de la base de connaissance appropriée.

De plus, trois caractéristiques clés à cette approche ont été présentées par l'auteur Malerba, (2002)¹⁸⁸.

En premier lieu, cette approche prend en considération la nature dynamique du changement et d'évolution au niveau des secteurs. Cette vision est inspirée des apports de la littérature sur la performance des industries.

Pour ce courant, la dynamique concerne également les limites des secteurs. En effet, les limites ne doivent pas rester fixes mais inclure les interdépendances avec les industries connexes et les services qui y sont liés, et ce, afin de bénéficier du potentiel de développement de ces entités qui est renforcé par le poids des fonds d'investissements alloués couvrant différentes technologies et activités à la fois.

La dernière caractéristique de cette approche, demeure similaire aux autres approches (nationale et régionale) à savoir ; la nature collective du processus d'innovation impliquant les firmes mais aussi les universités, les centres de recherche, les agences gouvernementales, ainsi que les institutions financières.

En parallèle à ceci, les niveaux d'analyse dans cette approche peuvent être multiples. Ils varient en fonction du nombre de produits et d'acteurs dans le système. Ainsi, ils peuvent être larges lorsqu'on parle par exemple du système sectoriel du matériel informatique et les logiciels, et ils peuvent être assez restreints lorsqu'on traite d'un système sectoriel limité à l'industrie des logiciels informatiques.

¹⁸⁸ Ibid.Op. Cit.80.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

Tous comme les autres approches du système d'innovation, la connaissance, pour celle-ci, est considérée comme élément crucial dans le système d'innovation car impactant significativement le degré de concentration industrielle des firmes. L'accès à cette connaissance est également fonction de paramètres internes au secteur (pouvoir des imitations des concurrents du même secteur) et externes au secteur (opportunités scientifiques et technologiques par le biais du capital humain provenant des firmes d'autres secteurs, des centres ou des laboratoires de recherche). Toutefois, il est à préciser que les sources d'opportunités diffèrent d'un secteur à l'autre. En effet, ceci est fonction des connaissances de base disponibles par domaine.

Lors de l'analyse sectorielle du système d'innovation, il est primordial d'ailleurs de prendre en considération le paramètre de la connaissance de base (fondamentale). En effet, les firmes activant dans un secteur technologique précis ont la particularité de construire une matrice de produits tournés autour d'une même gamme de technologies de base.

Ces connaissances de base, si couplées avec des conditions de demande favorables, impacteront positivement le positionnement des firmes sur le marché international. Malerba, (2002)¹⁸⁹.

En dernier lieu, les institutions dans un système sectoriel d'innovation peuvent être nationales, mais peuvent être également spécifiques à la nature sectorielle du système d'innovation. Nous pouvons citer par exemple : les organisations (gouvernementales ou non gouvernementales) chargées de régularisation du secteur de l'énergie. L'émergence de telles institutions peut être le résultat des actions politiques ou privées. Ceci n'exclut pas l'intervention des institutions nationales dans les activités d'innovation au sein du secteur. Les institutions de gestion des brevets par exemple, concernent toutes les activités d'innovation quel que soit le secteur d'activité.

3-1-2-La dimension multi-niveaux du système d'innovation :

Dans un système d'innovation, il est primordial de comprendre le processus du changement technologique pour pouvoir analyser ses dimensions et les trajectoires possibles de son évolution.

En effet, pour Hekkert et al (2007)¹⁹⁰, la vitesse de diffusion ainsi que la direction d'un changement technologique ne sont pas déterminées par la concurrence au sein du système d'innovation mais plutôt par la concurrence entre les différents systèmes d'innovation qu'ils soient développés ou émergents

¹⁸⁹ Ibid.Op. Cit.p80.

¹⁹⁰ Ibid.Op. Cit.p65.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

Ainsi, la prise en compte de la dimension géographique d'un système d'innovation ne peut à elle seule analyser correctement les retombées d'un changement technologique. Par conséquent, l'analyse doit porter sur les différents liens entre la nouvelle technologie et les différents systèmes d'innovation existants.

De ce fait, au-delà de la dimension géographique du système d'innovation, il existe une autre approche tenant en considération la réelle dimension du changement technologique à l'échelle internationale qui exige l'existence d'interactions entre l'ensemble des systèmes nationaux de ces pays. Cette approche est dénommée « *le modèle multi-niveaux* ». Geels, (2002)¹⁹¹.

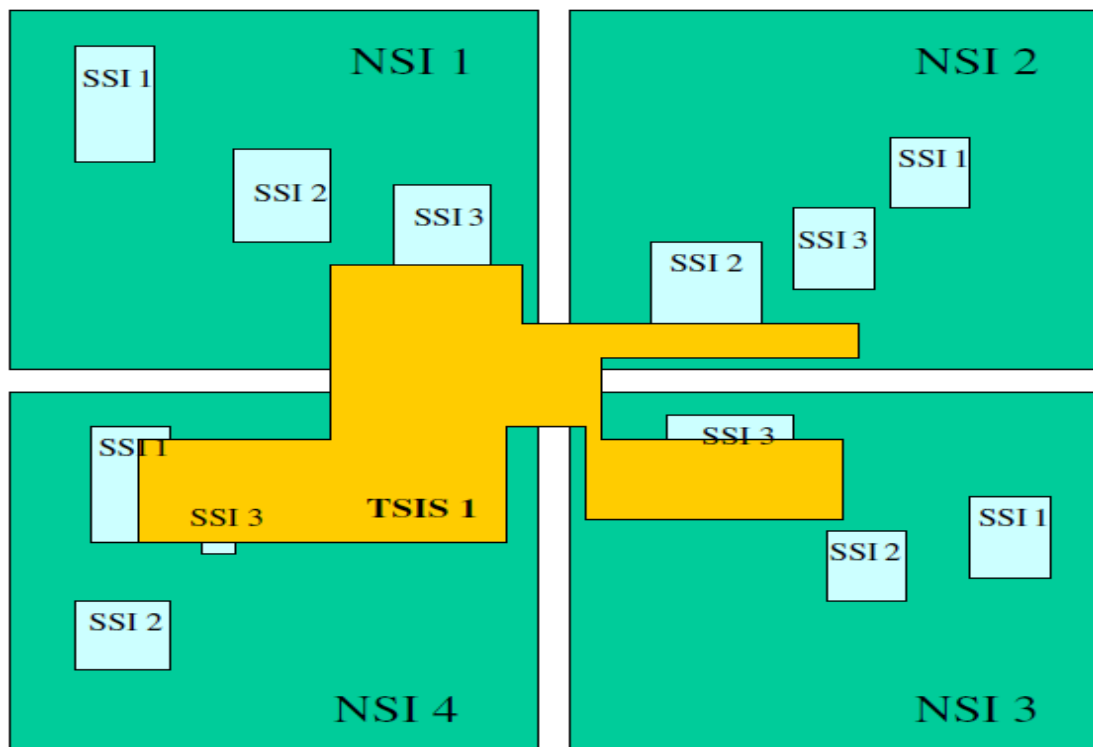
Il est très important de préciser que l'élargissement de la dimension du changement technologique et son adoption dans plusieurs systèmes d'innovation ne garantit pas les mêmes performances. En effet, la réussite d'une technologie dans un système d'innovation donné dépend des caractéristiques de ses composants. Cela peut dépendre du degré d'adaptation de l'environnement socio-économique, du niveau des dépenses en capital, le niveau des connaissances cumulées, ou la réglementation en vigueur. Kemp, (1994)¹⁹²

La figure n°06 ci-dessous, illustre schématiquement les dimensions du changement technologique dans un ensemble de systèmes d'innovation selon l'approche multi-niveaux.

¹⁹¹ In Hekkert.M.P, Suurs.R.A.A, Negro S.O, Kuhlmann.S, Smits.R.E.H.M, 2007.Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change, *Technological Forecasting & Social Change* 74 (2007) 413–432.

¹⁹² Idem

Figure n°06 : L'approche multi-niveaux du changement technologique dans un ensemble de systèmes d'innovation



Source : Hekkert et alii, (2007, p417¹⁹³)

NSI: National System Innovation
SSI: Sectorial System Innovation
TSIS : Technology Specific Innovation System

Quatre systèmes nationaux sont représentés dans ce schéma (NSI), chacun de ses systèmes nationaux comporte plusieurs systèmes sectoriels (SS).

La zone présentée en couleur jaune, définit les réelles dimensions d'un changement technologique qui ne se limitent pas à l'échelle sectorielle ou nationale des différents systèmes d'innovation.

Archibugi et Lundvall, (2001) proposent ici l'utilisation de l'expression « *système technologique* » au lieu de système d'innovation pour pointer davantage l'analyse et essayer de connaître les conditions d'émergence des nouvelles technologies. Ils définissent ainsi le système technologique comme « *une combinaison d'interrelations entre secteurs et firmes, un ensemble d'institutions et de réglementations caractérisant les règles de comportement et les infrastructures de connaissances qui y sont liées. La plupart des politiques d'innovation [. . .] sont bien adaptés est bien adaptée quand il s'agit de soutenir les systèmes technologiques*

¹⁹³ Ibid.Op. Cit.p65.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

existants, mais beaucoup moins lorsqu'il s'agit de stimuler la création de nouveaux. » Hekkert et al. 2007 (p416)¹⁹⁴

Quant à Carlsson et al, (2002, Page 237)¹⁹⁵ « *Un système technologique est défini comme un réseau (x) d'agents interagissant dans un domaine technologique spécifique sous une infrastructure institutionnelle particulière aux fins de générer, diffuser et utiliser la technologie* »¹⁹⁶.

Pour Jacobson et Bergek, (2004)¹⁹⁷, trois principaux éléments constituent le système technologique :

a- Les acteurs : définis par les entreprises ou autres organisations non commerciales. A travers leurs actions techniques, financières ou même politiques, ils interagissent dans le système et influencent d'une manière très puissante le développement du processus de diffusion.

b- Les réseaux : ce sont les canaux de diffusion des connaissances. Ils permettent aux différents acteurs d'identifier les problèmes et de développer les nouvelles solutions techniques. Avec un pouvoir de diffusion générale, les réseaux ont une capacité importante d'augmenter les ressources des acteurs, mais aussi d'influencer la structure institutionnelle.

c- Les institutions : ensemble des normes et lois régissant les interactions entre les différents acteurs.

De leur côté, Carlsson et al, (2002)¹⁹⁸ présentent quatre (04) hypothèses de base à prendre en considération lors de l'analyse du changement technologique par cette approche :

- l'analyse doit prendre en compte le système dans son ensemble sans séparer les éléments qui le composent,
- l'évolution dans le temps d'un tel système est dynamique, puisque chaque élément du système réagit en fonction des actions menées par les autres éléments,
- l'objectif de l'analyse dans cette approche repose sur l'identification par le système des opportunités d'absorption et d'exploitation des nouvelles technologies,

¹⁹⁴ Traduite à partir de la version anglaise de Hekkert.M.P, Suurs.R.A.A, Negro S.O, Kuhlmann.S, Smits.R.E.H.M, 2007.Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change, Technological Forecasting & Social Change 74 (2007) 413–432.

¹⁹⁵ Ibid. Op.Cit.p 78.

¹⁹⁶ Traduite à partir de la version anglaise.

¹⁹⁷ jacobsson.S, bergek.A, 2004, Transforming the Energy Sector: The Evolution of Technological Systems in Renewable Energy Technology, Proceedings of the 2003 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change,Environmental Policy Research Centre: Berlin. pp. 208 - 236.

¹⁹⁸ Ibid. Op.Cit.p 78.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

- face au vaste ensemble d'opportunités technologiques mondiales, les acteurs agissent dans le système avec une rationalité limitée.

En éliminant la délimitation géographique du système d'innovation, il est question dans ce modèle d'analyser les conditions sous lesquelles l'émergence des nouveaux systèmes technologiques est favorisée, et ce, à l'échelle internationale.

Il est à préciser que le concept de « système technologique » tire ses origines de l'expression « *Large Technological Systems* » ou LTS, initiée par Thomas Hughes dans son ouvrage « *Networks of power* » en 1987¹⁹⁹. Cette divergence de concepts s'explique par le besoin de cibler la zone technologique à analyser. Ainsi, le concept de LTS englobe l'expression du « système technologique ».

Toujours dans la même logique, nous retrouvons le concept « *Technology Specific Innovation Systems* » présentée sur la figure n°06 sous (TSIS). Hekkert et aliiiii (2007)²⁰⁰. Cette expression qui est encore plus spécifique dans sa formulation, vise à présenter d'une manière encore plus pointue l'étendue d'une nouvelle technologie particulière à l'échelle internationale.

Sur la même figure, l'étendue de la zone jaune représentant le « TSIS » est fonction de la nature de la connaissance source de la technologie. En effet, nous observons que cette zone n'intègre pas d'une manière particulière un cadre institutionnel d'une nation donnée, mais s'imprègne de l'ensemble des divers systèmes sectoriels dans le monde.

3-2-L'approche dynamique (par les fonctions) :

L'approche dynamique pour analyser le changement technologique au sein d'un système d'innovation se justifie par la complexité rencontrée lors de l'étude du système d'innovation au niveau national. En effet, la dynamique est difficile à modéliser en raison du nombre important d'acteurs, d'interactions et d'institutions. C'est ainsi que les nombreuses études traitant le SNI se concentrent sur sa structure au lieu de sa dynamique. De ce fait, l'évaluation d'un système d'innovation à une échelle nationale doit se limiter par l'utilisation des indicateurs globaux comme : les dépenses R&D, les brevets, la qualité des systèmes éducatifs, la disponibilité du capital risque, ainsi que l'évolution du nombre des collaborations entre les universités et l'industrie. Hekkert et aliiiii (2007)²⁰¹.

Pour l'approche dynamique, le processus de changement technologique est considéré comme résultat d'un nombre assez important d'activités interdépendantes. C'est pour cette raison, que l'analyse s'appuie sur un choix des activités les plus significantes et qui influencent

¹⁹⁹ In Johnson.A, 2001, « Functions in innovation system approaches », DRUID conference, Aalborg, June 12-15, 2001, under theme F: 'National Systems of Innovation, Institutions and Public Policies'.

²⁰⁰ Ibid.Op. Cit.p65.

²⁰¹ Idem

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

le système technologique. Ces activités sont appelées « *des fonctions* ». Il est à préciser que l'expression « *fonction* » dans ce contexte ne signifie pas « *rôle* » comme pour la littérature française. À travers leur analyse, il est possible de tracer la voie portant une combinaison particulière d'acteurs et d'institutions et visant à la génération, diffusion et l'utilisation d'une nouvelle technologie. Ainsi, ces fonctions constituent un niveau intermédiaire entre les composants d'un système technologique et ses performances. Jacobson et Bergek, (2004)²⁰²

À la différence de l'approche par la structure, cette approche offre une meilleure évaluation. En effet, en s'appuyant sur l'analyse des fonctions, cette approche permet d'aborder la notion de performance des différentes interactions dans un système d'innovation à l'opposé de l'approche par la structure qui présente uniquement un aperçu des acteurs actifs dans un système. Hekkert et alii (2001)²⁰³

Le nombre ainsi que la nature de ces fonctions a fait objet de plusieurs recherches notamment celles de Hekkert et alii, (2007)²⁰⁴, qui ont fait ressortir les différentes fonctions principales d'un système d'innovation, à savoir :

- mettre l'accent sur les activités entrepreneuriales qu'elles soient établies par des nouvelles start-ups ou bien par des moyennes ou grandes entreprises qui adoptent des stratégies de diversifications. Les entrepreneurs présentent un rôle crucial pour le bon fonctionnement d'un système d'innovation de par leur potentiel à générer les nouvelles connaissances, mais aussi à agir par leurs actions sur la modification de la structure du marché ainsi que sur les comportements des consommateurs,

- développer les mécanismes d'apprentissage pour le développement des connaissances, soit à travers des centres de recherches (privés ou publics), universités ou autres institutions d'enseignement. Cette fonction doit accentuer l'effort sur « *la connaissance par la recherche* » mais aussi « *la connaissance par la pratique* »,

- assurer la bonne diffusion des connaissances à travers les différents réseaux. Ainsi, la connaissance est conditionnée ici par l'existence d'un réseau assurant les interactions entre les différents acteurs,

- orienter la recherche à travers la mise en place et la communication des programmes et les divers plans d'action portant les objectifs à moyen et long terme, ce qui permettra d'attirer

²⁰² Ibid.Op. Cit.p85.

²⁰³ In Hekkert.M, Negro.S, Heimeriks.G, Harmsen.R, 2011, « Technological innovation sysem analysis: A manual for analysts », Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation, Universiteit Utrecht, November 2011.

²⁰⁴ Ibid.Op. Cit.p65.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

l'attention des acteurs économiques locaux et étrangers sur les visions et les stratégies des décideurs politiques,

- inciter à la recherche à travers des politiques financières, fiscales ou réglementaires, pour appuyer les nouvelles technologies sur le marché en assurant aux nouvelles firmes ou les anciennes souhaitant s'implanter dans un nouveau domaine, un environnement propice à leur expansion. Il peut s'agir par exemple d'une taxation qui offrira un avantage compétitif temporaire,

- mobiliser les ressources financières nécessaires à l'activité de R&D en impliquant les différents acteurs financiers,

- mettre en place des mesures réglementaires visant à minimiser la résistance au changement des acteurs économiques déjà installés sur le marché. En effet, l'orientation d'une économie ou un ensemble d'économies vers un nouveau système technologique impliquera la création des groupes de firmes (lobby) qui en défendant leurs intérêts peuvent bloquer le processus de l'innovation dans un système. Ceci peut concerner particulièrement les secteurs clés de l'économie, comme celui de l'énergie.

Quant à Jacobson et Bergek (2004)²⁰⁵, cinq (05) fonctions doivent être représentées dans un système technologique :

- la création et la diffusion des nouvelles connaissances,
- l'orientation de la recherche,
- l'offre des ressources (en capital et en compétences),
- la création d'économies externes positives,
- la formation des marchés : à travers des actions et des mesures législatives et réglementaires qui limitent les différents obstacles.

Nous constatons que les travaux de Hekkert et aliiiii (2007)²⁰⁶ offrent une présentation assez complète des fonctions les plus significantes dans un système technologique d'innovation.

Il est important de souligner que le choix de ces fonctions n'est pas fait d'une manière aléatoire, mais s'appuie sur la logique de l'approche systémique de l'innovation technologique à savoir la présence d'une multitude d'interactions. Ainsi, chaque fonction présentée ici est liée aux autres.

La création d'un nouveau marché par exemple, incitera les acteurs nouveaux ou existants de mobiliser les ressources financières permettant un enrichissement du stock de connaissances général et ainsi de suite.

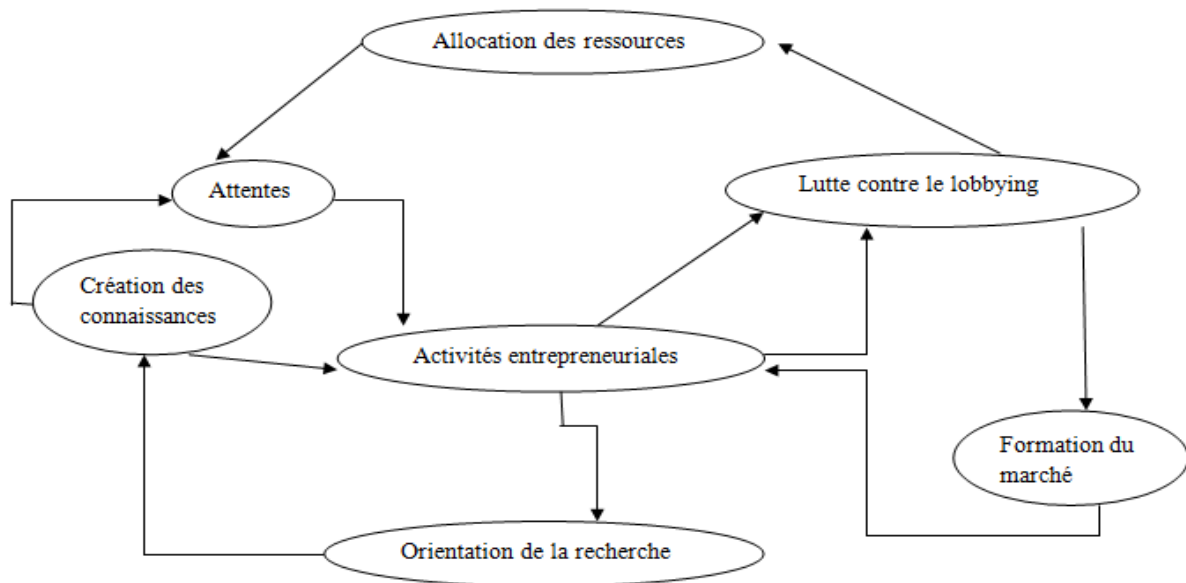
²⁰⁵ Ibid.Op. Cit.p85.

²⁰⁶ Ibid.Op. Cit.p65.

3-2-1-Les moteurs de changement technologique dans un système d'innovation vus par l'analyse fonctionnelle :

Partant de cette liaison et en se basant toujours sur les travaux de Hekkert et alii, (2007)²⁰⁷, un schéma simplifié présente ces différentes interactions justifiant ainsi le choix de ces fonctions²⁰⁸.

Figure n°07 : Trois moteurs de changement technologique dans un système d'innovation



Source : Hekkert et alii, (2007, p426)²⁰⁹.

L'auteur présente les interactions entre les différentes fonctions comme des éléments constituant un cercle vertueux où plusieurs possibilités de démarrage du processus du changement technologique sont possibles.

Sur la figure n°07, l'auteur définit ces déclenchements comme des moteurs de changement et en liste trois (03) : « A », « B » et « C ».

Un premier déclenchement, représenté par la lettre « C », concerne la mise en place des programmes à grande échelle par les décideurs politiques (fonction N°04) et peut être considérée comme l'élément déclencheur du processus notamment dans le secteur des énergies renouvelables où les mutations économiques et les changements environnementaux à l'échelle mondiale affectent l'ensemble des économies en leurs exigeant des transitions sur le moyen et le long terme. Cette première démarche créera un besoin pour les firmes à générer des nouvelles connaissances, et par conséquent renforcera la mise en place d'une infrastructure publique de

²⁰⁷ Ibid.Op. Cit.p65.

²⁰⁸ Traduction faite par l'auteur

²⁰⁹ Ibid.Op. Cit.p65.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

recherche définie par la création des centres de recherche publics et privés, ainsi que l'instauration des mécanismes qui appuient la recherche dans les universités et les établissements de formation professionnelle (fonction N°2). La création de connaissance enclenchera à son tour des efforts de recherche par les firmes (fonction N°1), contribuant ainsi à enrichir davantage le stock de connaissance générale, augmente la concurrence et reformule une nouvelle structuration du marché (à l'échelle nationale et internationale). De tels changements impliqueront un aménagement des ressources financières (fonction N°6), pour assurer la bonne diffusion des nouvelles connaissances (fonction N°3). Les fonctions 5 et 7, seront des mesures d'ajustements nécessaires face aux réactions des différents acteurs économiques.

Les deux autres moteurs de changement « A » et « B » s'appuient sur les activités entrepreneuriales comme point de départ. À travers leurs actions de lobbying, les firmes recherchent à renforcer leurs chances pour bénéficier des fonds qui favoriseront leurs performances en R&D. Ces actions incitent les décideurs politiques à adopter des mesures de régularisation (fonction N°07) pour atteindre une certaine structure du marché favorisant l'ensemble des activités entrepreneuriales dans l'économie (fonction N° 1). Le reste du processus demeure le même que pour le moteur de changement « C ».

Même si les fonctions principales d'un système d'innovation restent les mêmes, la nature des interactions entre les différents éléments du système influence le résultat du processus. Ainsi, la nature de l'organisation, ou de l'information entre les différentes infrastructures peut refléter l'efficacité du système. D'ailleurs, les mêmes fonctions peuvent composer un cercle vicieux, où le degré d'accomplissement d'une fonction influence négativement en ralentissant ou arrêtant complètement le processus général.

Quant à Jacobson et Bergek (2004)²¹⁰, lancer un processus de changement technologique dans un système d'innovation prend ses racines dans l'étude du cycle de vie d'un produit. En effet, la littérature économique traitant le sujet, met en avant deux phases nécessaires au lancement d'un nouveau produit, ou dans notre cas une technologie particulière : premièrement, une période de formation du marché puis une période d'expansion du marché.

Ces deux étapes diffèrent entre elles de par le caractère du changement technologique, la nature de l'entrée et de la sortie des firmes ainsi que le taux de croissance du marché.

La première phase implique un appui important de la part des pouvoirs publics à travers des subventions, et ce, pour explorer les marchés de niche présentant un potentiel de

²¹⁰ Ibid.Op. Cit.p85.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

performance technologique important. De tels marchés servent de passerelles vers les marchés de masse. Cette étape implique des investissements importants permettant le lancement d'un processus d'apprentissage pour l'amélioration du prix et de la performance de la technologie. Par conséquent, l'orientation de la recherche de base incitera les firmes à intégrer la nouvelle chaîne de valeur.

L'entrée des firmes dans le processus d'innovation implique l'enrichissement des connaissances, comblera les lacunes de spécialisations existantes, mais aussi impliquera un alignement du champ institutionnel qui apparaît ici comme une nécessité devant être maintenue tout au long de l'évolution du système. Cela peut concerner une adaptation fiscale ou réglementaire assurant un certain niveau de concurrence sur le marché.

À ce stade, les auteurs soulignent l'importance du tissu institutionnel pour favoriser le tissu économique mais aussi l'influence que peut porter ce même tissu économique, à savoir les firmes, sur les mesures institutionnelles régissant le marché. Une telle force du marché assure l'enchaînement d'actions dans le processus d'innovation sur le moyen et le long terme, ce qui est crucial pour atteindre la deuxième phase du processus.

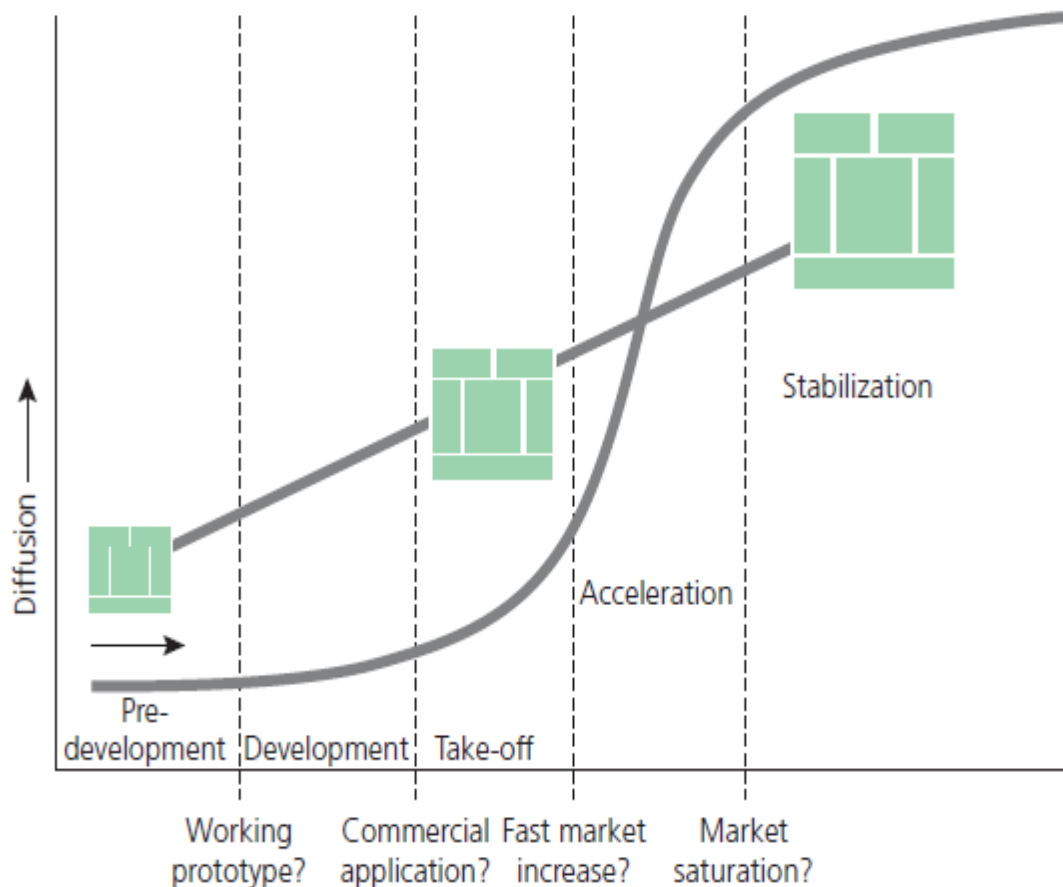
En effet, la formation des grands marchés mènera à la constitution des liens de « *causalité cumulative* » entre les différentes fonctions. C'est-à-dire des cercles vertueux dynamiques dans le temps où chaque changement dans la structure enclenche un ensemble d'actions et de réactions dans le système. Un tel processus de causalité cumulative et positive ne peut pas être atteint sans que le marché ait atteint une certaine période de formation.

De leurs côté, Hekkert et alii, (2011)²¹¹, présentent cinq (05) phases de développement d'une technologie : une phase de pré-développement, une phase de développement, une phase de décollage, une phase d'accélération et enfin, une phase de stabilisation.

Ces phases sont représentées dans la figure n° 08 ci-dessous :

²¹¹ Ibid.Op. Cit.p67.

Figure n° 08 : Phases de développement d'une technologie



Source : Hekkert et al, (2011, p 09)²¹².

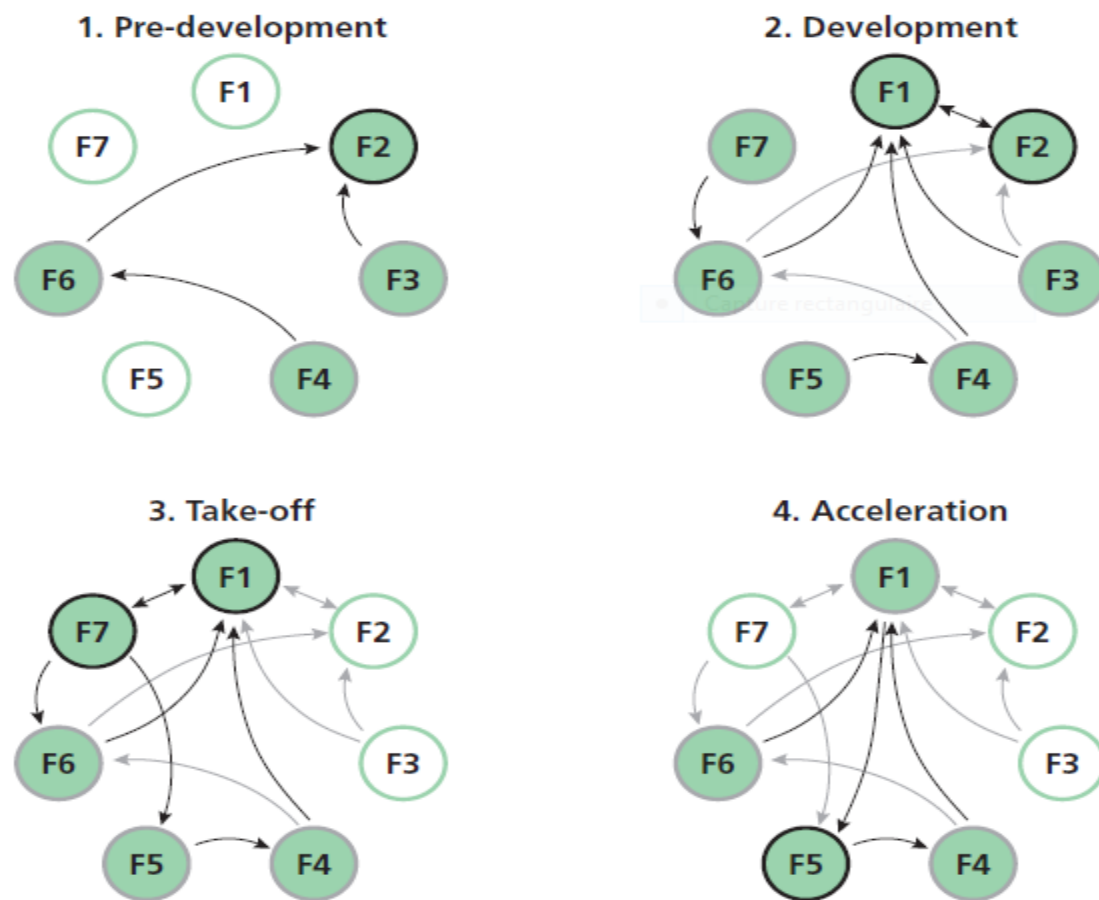
Pour ces auteurs, l'accomplissement des fonctions dans un système d'innovation, prend en considération la phase de développement de la technologie en question. De ce fait, de nombreux modèles fonctionnels peuvent exister.

Aussi, l'alignement des fonctions durant le processus de développement d'une technologie s'appuie sur une logique de cumul. Ainsi, les fonctions de la deuxième phase viennent s'accumuler sur les précédentes. Avec le temps, et avec le bon choix des fonctions par phase, l'ensemble des fonctions interagissent les unes avec les autres, tout en renforçant et en contribuant au bon fonctionnement du système d'innovation.

Cette logique est illustrée à travers la figure n° 09 ci-dessous, où est présentée la combinaison et le cumul des fonctions nécessaires à chaque phase de développement.

²¹² Ibid.Op. Cit.p67.

Figure n°09 : Schémas fonctionnels par phase de développement



Source : Hekkert et al, (2011, p 12)²¹³.

Le choix des premières fonctions dépend donc de la phase de développement de la technologie. Par exemple : pour la phase de pré-développement, la fonction de développement de connaissance (fonction n°02) sera la base, et doit être appuyée en simultanée par d'autres fonctions comme l'échange de la connaissance (fonction n° 03), l'orientation de la recherche (fonction n° 04) et la mobilisation des ressources (fonction n° 06).

Le passage d'une phase à une autre implique le recours à d'autres fonctions qui interviennent en complément et en se cumulant sur les fonctions précédentes. C'est ce qui est démontré sur la figure par les flèches sombres (pour faire référence aux fonctions nouvelles) et claires (pour faire référence aux fonctions préétablies lors des phases précédentes). Ceci est démontré à travers les trois (03) phases restantes.

²¹³ Ibid.Op. Cit.p67.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

Toutefois, la construction d'une telle composition et d'un tel fonctionnement n'est pas toujours garantie encore moins sur le long terme. Plusieurs situations peuvent survenir amenant à un ralentissement ou un blocage de l'ensemble du processus. Mettre d'ailleurs l'accent sur des fonctions inappropriées à une phase particulière ou un manque de performance dans l'accomplissement des fonctions existantes pourra influencer négativement le processus de changement technologique.

Pour Jacobson et Bergek, (2004)²¹⁴, la défaillance du système peut se traduire par le penchant de l'environnement de sélection vers les technologies existantes au détriment des nouvelles, ceci peut être causé par :

- l'insuffisance d'alignement réglementaire sur le long terme des institutions sur la nouvelle technologie poussant à la création des groupes d'intérêts défendant la technologie existante,
- le manque de stratégie globale qui peut orienter les subventions d'une manière directe ou indirecte à d'autres technologies,
- le manque de concordance entre l'apport du système de recherche fondamentale et les besoins réels recherchés par les firmes ce qui peut orienter les firmes vers d'autres marchés,
- une faible connectivité entre les différents acteurs du système, empêchant la bonne diffusion de la connaissance.

Notons que ces mécanismes de blocages peuvent survenir lors de la formation du marché, mais peuvent également apparaître lors d'autres phases du processus, et ce, en raison du manque de visibilité à long terme du processus de changement technologique.

Quant à Edquist, (2001, p 19)²¹⁵, Il existe au moins quatre catégories principales de défaillances du système (qui se chevauchent partiellement) :

- les fonctions dans le système d'innovation peuvent être inappropriées ou manquantes,
- les organisations peuvent être inappropriées ou manquantes,
- les institutions peuvent être inappropriées ou manquantes, ou
- les interactions ou les liens entre ces éléments du système d'innovation peuvent être inappropriés ou manquants.

3-2-2-Les problèmes méthodologiques liés à l'analyse du système technologique :

L'approche méthodologique pour analyser les systèmes technologiques pose néanmoins quelques difficultés. Ces difficultés concernent selon Carlsson et al, (2002)²¹⁶:

²¹⁴ Ibid.Op. Cit.p85.

²¹⁵ Ibid.Op. Cit.p75

²¹⁶ Ibid. Op. Cit.p78.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

a- Le niveau d'analyse à appliquer : Cette difficulté est liée à la manière de traiter la technologie. Les auteurs soulignent au moins trois niveaux pour analyser une technologie : elle peut être considérée comme un champ de connaissance, ou un produit ou comme un ensemble de produits connexes. Ainsi, l'analyse du système technologique doit prendre en considération d'un côté, ces niveaux d'analyse mais aussi, de comprendre les différentes interactions qui peuvent exister entre ces approches. Les utilisateurs finaux de ces technologies peuvent être aussi différents. En effet, une technologie particulière peut être composante principale d'un produit mais aussi peut être intégrée à un autre produit.

b- La délimitation du système technologique : lors de l'analyse du système d'une technologie particulière, la délimitation pose problème en raison de l'étendue spécifique de la technologie. Ainsi, la bonne compréhension de cette technologie ainsi que les domaines de connaissances qui y sont liés est nécessaire pour pouvoir juger du choix des connaissances sur lesquelles l'effort doit être concentré.

c- La définition des acteurs : la difficulté liée à cette étape concerne l'identification des acteurs appartenant au système technologique objet de l'analyse. En effet, la difficulté peut se trouver lorsque l'analyse couvre plusieurs pays ou lorsqu'un domaine de connaissance particulier est applicable à plusieurs domaines de produits.

d- Le choix de la méthode de mesure de la performance du système technologique : ce choix doit prendre en considération l'ensemble des acteurs intervenant dans le système il s'agit entre autres des entreprises, des institutions et organisations publiques, des établissements financiers, etc. Ainsi, mesurer la performance du système implique la mesure de la performance de l'ensemble des acteurs le composant mais aussi la mesure des interrelations existantes. Cette difficulté est fonction de la taille du système, mais aussi de son degré de maturité.

De plus, le traitement du système technologique présente une autre complexité qui réside dans sa nature dynamique, ceci est d'autant plus amplifié lors de l'évolution du contenu technologique laissant introduire de nouveaux produits ou de nouvelles relations entre les technologies existantes. Ces changements peuvent impliquer des changements dans la composition du système permettant un élargissement mais aussi une possibilité de réduction. En effet, l'introduction de nouvelles technologies peut rendre les précédentes obsolètes, et amener à l'apparition ou à la suppression de certains intermédiaires dont l'activité est / ou a été étroitement liée à ces technologies.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

Les possibilités de changements fondamentaux dans les connaissances sont aussi présentes et peuvent être causées soit par l'introduction de nouvelles technologies mais aussi suite à l'intégration des sous-technologies. Carlsson et al, (2002)²¹⁷

Pour conclure cette section, l'apparition de nombreuses approches du système d'innovation technologique met en avant l'existence d'un certain nombre de fonctions en commun. De ce fait l'analyse fonctionnelle du changement technologique dans un système d'innovation quelles que soient ses frontières (géographiques ou technologiques) présente, à travers une approche dynamique, de nombreux avantages, principalement, le diagnostic de l'état actuel d'un système, et ce, afin de permettre l'évaluation de sa performance. Johnson, (2001)²¹⁸

Ceci est l'objectif de notre travail qui sera détaillé dans le dernier chapitre.

Section 2 : Système d'innovation technologique et transition énergétique

Au lendemain du premier choc pétrolier de 1973²¹⁹, l'orientation vers la recherche de l'efficacité énergétique a été majeure. En effet, les nations ont détourné leurs visions, limitées autrefois, à l'offre de l'énergie pour rechercher les mécanismes pouvant limiter la demande de l'énergie.

Cette nouvelle direction a fortement orienté les pays à adopter des politiques publiques incitant à l'innovation technologique dans le secteur énergétique. Ainsi, l'atteinte des objectifs énergétiques des pays a été conditionnée par l'adoption du changement technologique.

C'est ainsi que l'innovation technologique et le processus de changement technologique sont devenus parties intégrantes de l'analyse du système énergétique.

L'adoption des innovations technologiques énergétiques comme pour l'innovation d'une manière générale, impliquent un enchaînement dynamique de plusieurs étapes comprenant la recherche, le développement ainsi que la diffusion sur le marché, tout cela associé avec un appui du tissu institutionnel.

La nature des interdépendances au sein du système influence les progrès techniques mais ne garantit pas toujours une réussite. Cette incertitude rend le système d'innovation technologique énergétique assez complexe. Cette complexité renvoie à la complexité d'analyse et d'évaluation des différentes politiques mises en place.

²¹⁷ Carlsson.B, Jacobsson.S, Holmén.M, Rickne.A, 2002, « Innovation systems: analytical and methodological issues », *Research policy*, 31, 233-245.

²¹⁸ Johnson.A, 2001, « Functions in innovation system approaches », DRUID conference, Aalborg, June 12-15, 2001, under theme F: 'National Systems of Innovation, Institutions and Public Policies'.

²¹⁹ Boom pétrolier pour les pays producteurs d'énergie fossile.

L'objectif de cette section est de dresser un panorama sommaire des concepts théoriques liés à l'approche systémique des innovations technologiques énergétiques. Mais aussi de mettre en avant le rôle prédominant des politiques publiques inscrites dans ce champ de présentation et d'analyse afin de tenter d'expliquer les stratégies des différents pays qui s'y sont inscrits. Il est aussi celui de dévoiler davantage le caractère dynamique et complexe du système d'innovation.

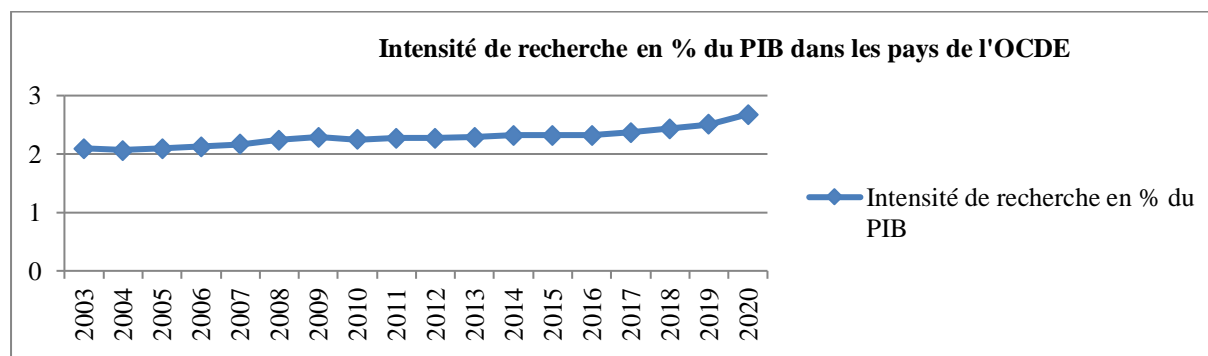
1-Du poids des activités d'innovations technologiques environnementales dans le monde :

1-1-Evolution mondiale des activités de recherche :

Plusieurs études ont été menées mesurant le poids de l'innovation dans l'économie mondiale en prenant comme indicateurs les ressources mobilisées (dépenses en R&D, personnels de recherche et équipements) ainsi que leur impact sur l'activité économique.

Les chiffres convergent pour montrer que le poids de l'innovation est considérable et qu'il tend à croître avec le temps. Cela est vrai dans une perspective longue. Guellec, (2009)²²⁰

Figure n° 10 : Intensité de recherche en PIB dans les pays de l'OCDE, (2003-2020)



Source : Construction personnelle de l'auteure à partir des données de l'OCDE²²¹

Nous constatons une augmentation constante de la part des dépenses intérieures brutes²²² en recherche et développement dans les pays membres de l'OCDE. L'indicateur de l'intensité de recherche²²³ est passé de 2,1 % à 2,7% en moins de 20 ans.

²²⁰ Ibid.Op. Cit.p16.

²²¹ Données de l'OCDE : https://stats.oecd.org/Index.aspx?lang=fr&DataSetCode=PERS_FUNC# Consulté le 05/09/2022

²²² Les dépenses intérieures brutes de R&D désignent la dépense totale (courante et en capital) afférente aux travaux de R&D exécutés par l'ensemble des entreprises, instituts de recherche, laboratoires universitaires et publics, etc., résidents d'un pays. Cette dépense intègre la R&D financée à l'aide de fonds provenant de l'étranger, mais exclut le financement d'activités de R&D exécutées à l'étranger. Cet indicateur est exprimé en millions Dollars US et en pourcentage du PIB. (**Définition OCDE**).

²²³ Indicateur de mesure du poids des dépenses en R&D sur le PIB de l'économie, et ce, afin d'apporter une comparaison efficace tenant compte de la différence de la taille des pays.

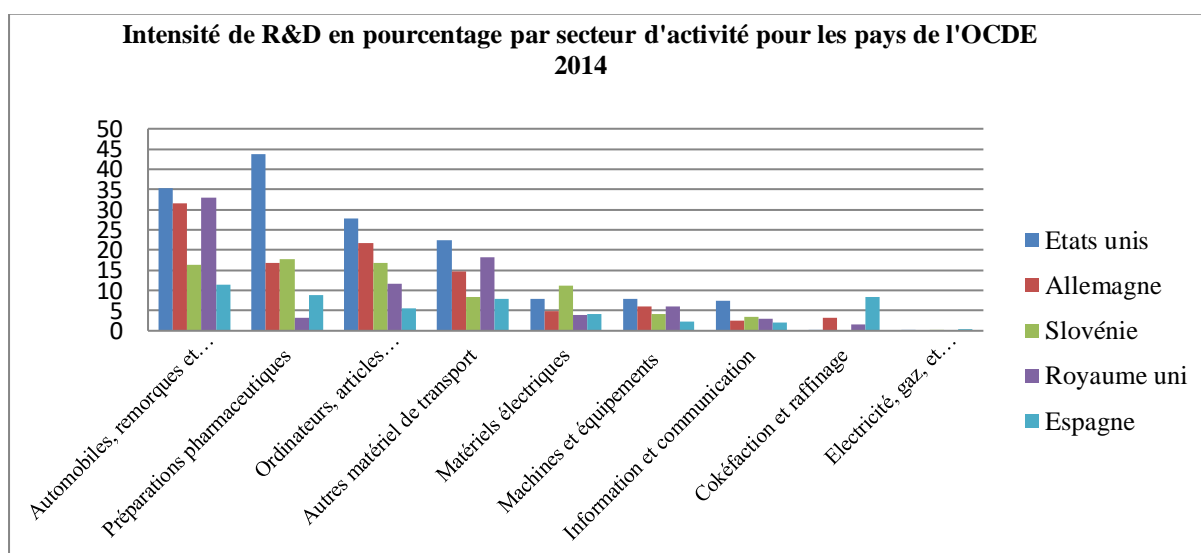
Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

Cet indicateur est plus important dans certains pays comparés à d'autres. Il reflète la forte liaison entre le niveau de richesse des pays et leur niveau d'effort en recherche. Nous observons des différences d'évolution d'un pays à l'autre. L'évolution la plus importante est enregistrée en Corée, Taiwan, Chine et l'Autriche avec plus de 02 points en 15 ans. Elle s'avère plus légère au Japon, États Unis, France, Suisse et Allemagne.²²⁴

Il est à noter que cet indicateur présente également des différences d'un secteur à l'autre.

En effet, la figure n°11 ci-dessous fait ressortir les secteurs à plus forte intensité de recherche²²⁵ pour l'année 2014.

Figure n°11 : Intensité de recherche et développement (en %) par secteur d'activité pour les pays de l'OCDE, (2014)



Source : Construction personnelle de l'auteure à partir des données de l'OCDE²²⁶

Même si les niveaux de l'intensité de R&D divergent d'un pays à un autre, il apparaît néanmoins d'assez importantes différences faisant ressortir le secteur de l'automobile en première position, suivi du secteur pharmaceutique, électronique et informatique, l'information et la communication. Les activités énergétiques représentées par le secteur de raffinerie et la génération électrique se retrouvent en dernières positions.

²²⁴ A partir des statistiques sur le site internet de l'OCDE.

²²⁵ Le graphique présente le taux de l'intensité de recherche. Le ratio obtenu est résultat du rapport entre les dépenses en R&D et la valeur ajoutée (PIB) des pays pour l'année 2014.

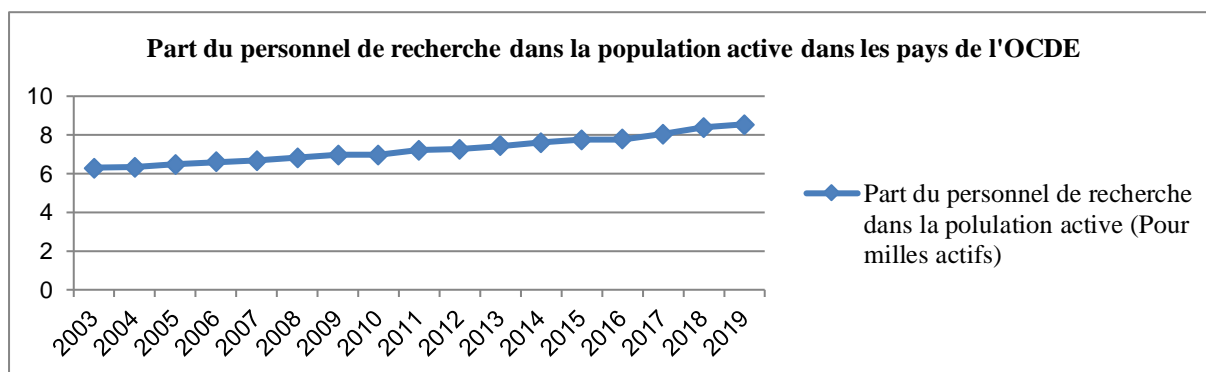
²²⁶ -Sur la base des 35 secteurs détaillés sur la base de données de l'OCDE, une sélection des secteurs clés (ayant enregistré des retombées importantes des efforts en R&D sur l'économie) a été effectuée dans le but de proposer une analyse comparative plus pertinente.

-Le choix des 05 pays a été effectué sur la base d'un côté, la disponibilité des données de l'année en question (2014) pour l'ensemble des secteurs sélectionnés pour ces pays, mais aussi par le niveau d'intensité de R&D des pays présélectionnés.

Il est à préciser toutefois que cette première lecture demeure incomplète. En effet, les efforts en R&D dans le secteur de l'énergie ne peuvent pas être représentés seulement à travers les deux derniers points qui représentent le volet offre de l'énergie. Les technologies retrouvées dans les secteurs telles que l'automobile (visant la réduction de consommation de carburant), l'électronique et l'informatique (visant la réduction de consommation de l'électricité) sont également directement liées au secteur de l'énergie et représentent ainsi le volet demande de l'énergie.

D'autre part, nous observons une autre évolution qui concerne également les chercheurs²²⁷ dont le nombre est en nette croissance dans les pays de l'OCDE depuis plus d'une décennie.

Figure n° 12 : Part du personnel de recherche dans la population active dans les pays de l'OCDE, (2003-2019)



Source : Construction personnelle de l'auteure à partir des données de l'OCDE²²⁸

Notons une évolution tendancielle et stable de plus de 02 points depuis 2003 jusqu'à 2019. L'augmentation tendancielle de ces indicateurs renvoie à la volonté/nécessité des économies développées, mais elle conduit également les firmes au renouvellement et à l'adaptation aux nouveaux procédés technologiques. Ce qui reflète clairement l'orientation des nations vers une économie fondée sur la connaissance.

1-2-La relation « Science » - « innovation verte » :

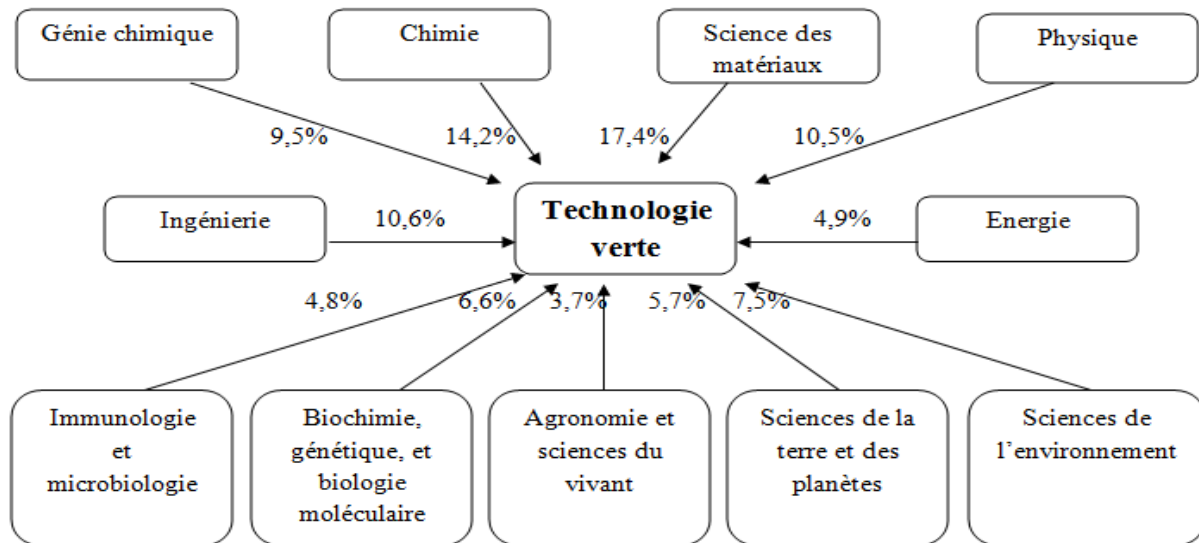
Sur la base d'une étude réalisée par l'OCDE pour la période s'échelonnant de 2000 à 2007, et en prenant en considération une série d'indicateurs mesurant les liaisons entre les brevets environnementaux et les publications scientifiques, il a été démontré qu'un large éventail de connaissances scientifiques contribue à l'enrichissement de l'innovation verte.

²²⁷ Les chercheurs sont des spécialistes qui se livrent à la conception et à la création de savoirs, produits, procédés, méthodes et systèmes, mais aussi la gestion des projets correspondants. (**Définition OCDE**)

²²⁸ Ibid.Op. Cit.p97.

La figure n° 13 ci-dessous, présente le degré d'apport de chaque discipline.²²⁹

Figure N° 13 : Rapport entre innovation et science dans les technologies « vertes »



Source : OCDE, (2010, p36)²³⁰.

Nous observons que la science des matériaux incarne la première source en matière d'innovations vertes, suivie par la chimie et l'ingénierie. Le domaine de l'énergie a la particularité de regrouper simultanément plusieurs sciences mais moins de 5 % dans ce schéma montre bien la faible représentativité de ce secteur en matière d'innovations vertes. D'ailleurs, les innovations vertes selon cette étude couvrent les domaines comme : les énergies renouvelables, les piles à combustibles le stockage de l'énergie, les véhicules à énergie alternative, l'efficacité énergétique et l'électricité, la construction et l'industrie manufacturière, mais aussi la combustion propre du charbon.

Par ailleurs, cet ensemble de disciplines qui couvre le domaine énergétique représente à la fois un avantage et une contrainte. L'avantage est relatif au volume important des connaissances pouvant être accumulées provenant d'une multitude de disciplines. D'un autre côté, cette dispersion dans le recours à plusieurs disciplines rend le processus d'analyse assez complexe. En effet, les données relatives à ces mêmes disciplines couvrent d'autres technologies non énergétiques.

²²⁹ La valeur manquante de 4,6 % entre le total des pourcentages et 100% est relative à la catégorie résiduelle « autres domaines » qui n'est pas représentée sur le schéma.

²³⁰ OCDE, 2010. Mesurer l'innovation : un nouveau regard, 2ème édition, Paris.

1-3-La relation « innovation » - « développement durable » :

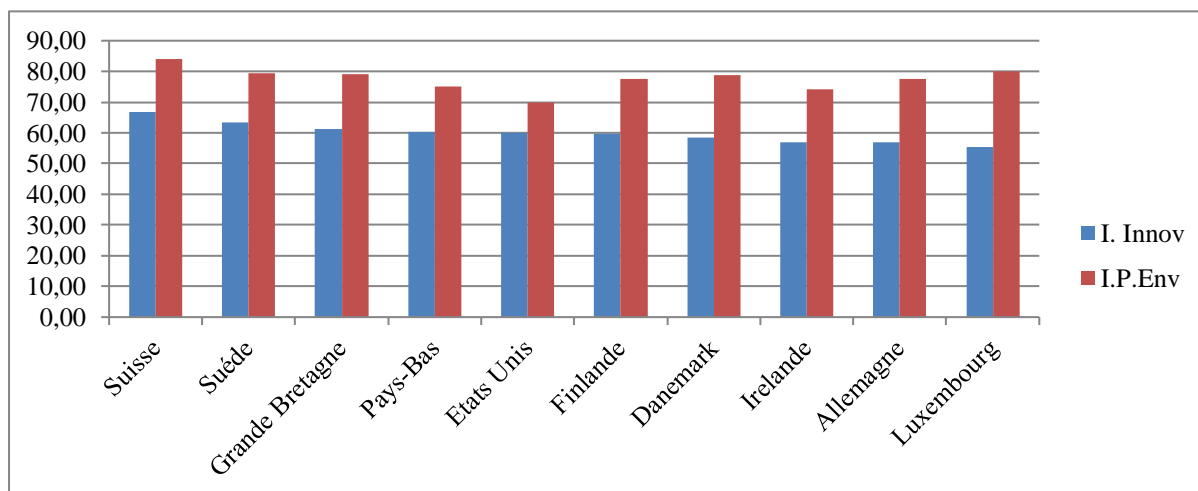
Depuis le sommet de Rio en 1992, l'ensemble des manifestations internationales traitant les phénomènes environnementaux, ont fini par reconnaître que l'innovation est le facteur clé pour assurer une croissance durable, et que les questions sur le développement de la science et des capacités technologiques doivent être placées au centre des préoccupations des nations soucieuses de préserver leur croissance durable. Djeflat, (2016)²³¹

Pour essayer de présenter cette forte liaison, nous nous sommes appuyés sur deux indices : l'indice de l'innovation globale²³² et l'indice de performance environnementale²³³.

Sur la base des scores moyens des pays de l'OCDE calculés à partir des rapports des années 2012, 2014, 2016, 2018 et 2020²³⁴, nous avons présenté sur le graphique ci-dessous, la liste des pays à plus fort score moyen pour l'indice d'innovation.

La force du lien entre les deux paramètres pour ces pays ressort clairement. Nous observons que plus les performances en innovation de ces pays sont élevées plus leurs performances environnementales augmentent.

Figure n° 14 : Relation innovation-performance environnementale pour 10 pays de l'OCDE, (2012-2014-2016-2018-2020)



Source : Construction personnelle de l'auteure

²³¹ DJEFLAT.A, 2016, Linking Knowledge Economy and Environmental Performances: evidence for Arab countries, revue de l'Université d'Oran 2, vol.1 N°1, pp. 27-48

²³² Un classement annuel des pays selon leurs capacités d'innovation, établi par l'organisation mondiale de la propriété intellectuelle et l'INSEAD (Institut Européen d'administration des affaires).

²³³ Un classement annuel des pays selon les performances environnementales, établi par les chercheurs de l'université américaine de YALE.

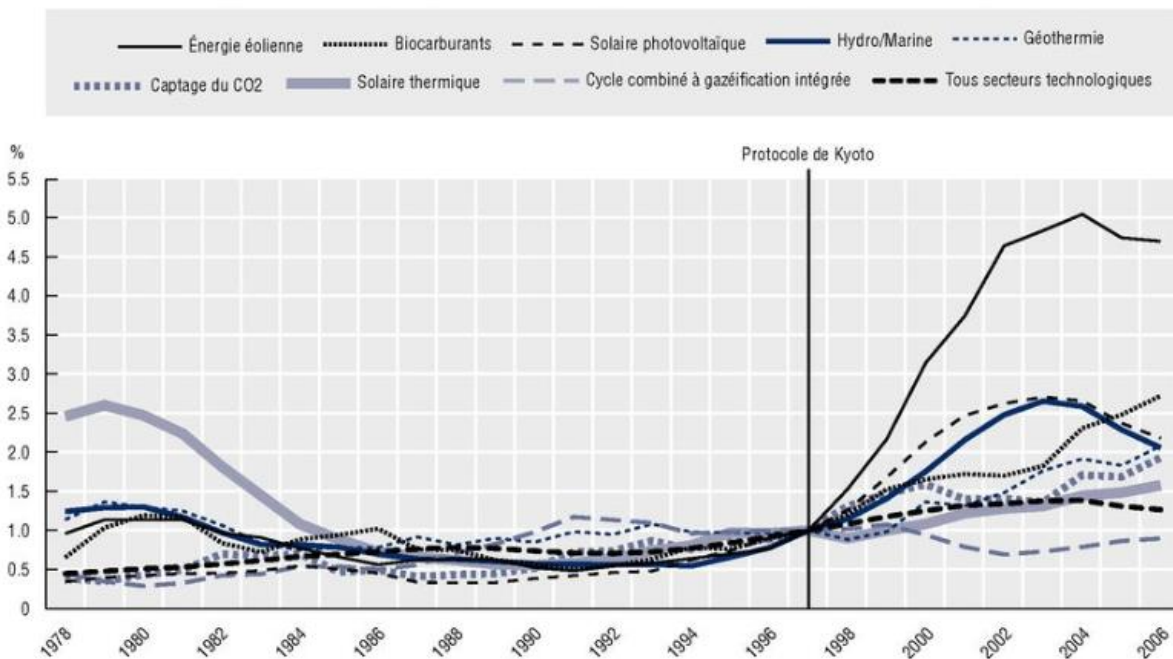
²³⁴ Le choix des années était par rapport à la disponibilité des données en commun pour les deux indices (d'innovation et de performance environnementale).

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

À une échelle micro-économique et plus précisément au secteur minier, des études empiriques ont démontré la forte corrélation entre les efforts d'innovation des firmes et leurs performances environnementales, mettant la cause de la dégradation de l'environnement sur l'utilisation des équipements à technologie obsolète. Ainsi, l'incapacité de ces firmes à innover impacte négativement leurs performances environnementales. Djeflat, (2016)²³⁵

En parallèle à ceci, l'ensemble des manifestations internationales portant protection de l'environnement ont eu un impact direct sur l'évolution des innovations technologiques environnementales. C'est ce qui est démontré à travers la figure n° 15 ci-dessous mettant en lumière l'intérêt des nations de l'OCDE pour les innovations technologiques environnementales suite au protocole de Kyoto.

Figure n° 15 : Évolution de l'innovation dans les technologies d'atténuation du changement climatique, (1978-2006)



Source : OCDE, (2010, p37)²³⁶.

Nous notons en effet une évolution très significative des innovations technologiques, notamment énergétiques, et ce, après 1997. L'évolution la plus marquante est celle relative aux énergies éoliennes suivie par l'énergie solaire photovoltaïque et l'énergie hydro/marine.

²³⁵ Ibid.Op. Cit.p101.

²³⁶ Ibid.Op. Cit.p100.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

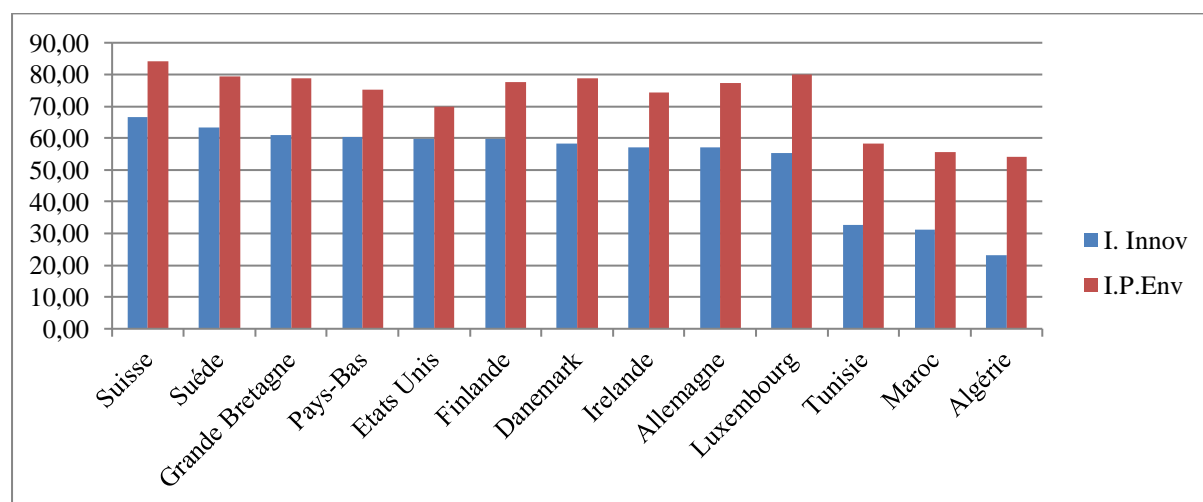
D'ailleurs, les technologies énergétiques correspondent parfaitement à la définition proposée dans le chapitre 34 de l'Agenda 21 de la Conférence de Rio à savoir : « *moins polluantes, utilisent de façon plus durable les ressources, autorisent le recyclage de leurs déchets et produits, ainsi que le traitement des déchets résiduels d'une manière plus acceptable que les technologies qu'elles remplacent* ». November, (1997, P 247)²³⁷.

Cet intérêt n'est toutefois pas porté dans tous les pays du monde avec le même degré. En effet, le niveau de développement des pays l'explique en grande partie ; adopter des innovations technologiques environnementales pour ces pays exige l'allocation de fonds très importants que leurs économies fragiles ne peuvent assurer. De plus, les émissions de gaz à effets de serre (GES) les plus importantes sont enregistrées dans les pays développés mais aussi et surtout dans les pays émergents à cause du poids des technologies industrielles lourdes et polluantes délocalisées vers leurs économies.

Nous tentons de présenter cette différence à partir de la lecture des mêmes rapports (d'innovation et de performance environnementale) en intégrant la position des pays en voie de développement. Nous prendrons comme exemples les trois pays maghrébins (Algérie –Maroc –Tunisie).

Les scores moyens de ces pays pour l'indice de l'innovation et l'indice de performance environnementale pour les mêmes années 2012, 2014, 2016, 2018 et 2020 sont présentés sur le même graphique précédent (figure n° 14) afin de relever les écarts :

Figure n° 16 : Relation innovation-performance environnementale, (2012-2014-2016-2018-2020)



Source : Construction personnelle de l'auteure

²³⁷ November.A, 1997, « Coopération et transfert de technologie dans le domaine de l'environnement », Annuaire suisse de politique de développement N°16 | 1997 Environnement et développement, 5 ans après Rio, 1 mars 1997 pp : 247-254.

Comme pour les pays développés, la relation directe entre innovation et performance environnementale est également démontrée pour les pays du Maghreb. Néanmoins, nous observons que l'étendue de ces indices est nettement moins importante que pour les pays développés.

2-Adoption des innovations technologiques énergétiques par les pays en voie de développement : mécanismes et barrières :

Face aux divergences importantes entre les pays développés et les pays en voie de développement en matière de performances environnementales, les directives de la Conférence de Rio de 1992 et de 2012 se sont articulées entre autres pour assurer et faciliter, par le biais des politiques de coopération, le transfert des technologies environnementales vers les pays en voie de développement.

La nature des interactions entre ces pays a bien été mise en lumière dans la définition apportée par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). En effet, ce groupe identifie la notion de transfert de technologies comme un processus de diffusion de technologies et coopération technologique entre les pays développés, les pays en voie de développement et les pays en transition. La notion comprend « *le processus d'apprentissage pour comprendre, utiliser et reproduire la technologie, y compris la capacité de choisir et de s'adapter aux conditions locales et l'intégrer aux technologies indigènes* ». GIEC, (2000)²³⁸

Nous relevons à partir de cette définition, un point important et qui a bien été mis en avant à savoir, les capacités d'adaptation locales des pays en développement. Ainsi, l'adoption d'une stratégie de développement durable axée sur l'amélioration des capacités d'adoption des technologies environnementales par les pays en voie de développement est d'une grande importance. Ceci est conditionné par la connaissance du niveau de développement des technologies lors de la conception des stratégies nationales, et ce, afin de cibler les mécanismes appropriés.

Aussi, l'élaboration d'une stratégie qui met en valeur le potentiel de R&D adaptatif local permettra le déclenchement d'un processus créateur de valeur à partir de l'importation des technologies environnementales. POPP, (2009)²³⁹

En matière de technologies énergétiques, les flux de transfert des technologies environnementales entre les pays développés et les pays en voie de développement se reflètent

²³⁸ In Moreira.J.R, Sathaye.J, « Technologies, technology transfer and barriers », Chapter II of « Climate change : Technology Development and technology transfer », préparé par United Nations Department of Economics and Social Affairs, 2009, pp 11-37.

²³⁹ Popp.D, 2009, « Policies for the development and transfer of eco-innovations: lessons from the littérature », OECD Environment working papers n° .10.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

dans la figure n° 17 ci-dessous décrivant les flux de transfert pour l'éolien et le solaire photovoltaïque, entre les pays ayant ratifié les accords de Kyoto.

Les technologies en question sont transférées des pays signataires vers les pays non signataires. Ces transferts sont mesurés par les demandes de brevets équivalents dans l'ensemble de ces pays. L'intensité de transfert sur ces graphiques est traduite par l'épaisseur des flèches.

Figure n° 17 : Transfert des technologies éoliennes (en haut) et solaires photovoltaïques (en bas) de 1990 à 2007 pour les pays de l'OCDE



Source : OCDE, (2010, p38)²⁴⁰.



Source : OCDE, (2010, p38)²⁴¹.

L'intensité de ces flux est davantage renforcée par la divergence dans les niveaux de développement technologique mais aussi par la répartition non équitable des ressources naturelles. Ceci accroît la conviction des institutions internationales comme l'OCDE sur le rôle que chaque pays devrait jouer pour assurer une transition énergétique mondiale.

²⁴⁰ Ibid.Op. Cit.p100.

²⁴¹ Idem

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

Pour cette institution, la coopération internationale pour l'adoption des innovations technologiques environnementales par les pays en voie de développement est conditionnée par d'un côté, l'adoption des politiques de soutien aux investissements verts et de l'autre : par des politiques de développement des compétences intégrant la problématique écologique. L'implication des pays développés et les pays en voie de développement est une condition pour assurer de telles coopérations.

Il est important de souligner que les demandes de brevets ne peuvent pas être seuls canaux de transfert des technologies énergétiques. En effet, le commerce international, les IDE (Investissements Directs Etrangers), ainsi que les licences de technologies peuvent présenter des outils de transfert dont les retombées peuvent être un peu plus difficiles à évaluer que les brevets.

2-1-Les mécanismes :

Par ailleurs, recourir à la coopération internationale pour assurer une transition énergétique mondiale renvoie à plusieurs mesures différentes pouvant être adoptées séparément ou simultanément. OCDE, (2013)²⁴² les résume en quatre (04) points :

- l'utilisation de l'Aide Publique pour le Développement (APD)²⁴³ pour améliorer l'accès à l'énergie au moyen des technologies faisant appel aux énergies renouvelables :

- le recours aux partenariats publics-privés en matière climatique pour les pays en développement, qui s'appuient sur le recours aux capitaux des contribuables des pays développés (donneurs),

- les coopérations technologiques qui portent un caractère scientifique et non financier, où l'aide consiste au développement des technologies vertes dans les pays en voie de développement en association avec les établissements scientifiques des pays développés,

- l'aide pour le commerce en promouvant les marchés de biens et services vert qui vise à renforcer les capacités commerciales pour les biens et services verts dans les pays en voie de développement car considéré comme le moteur de la croissance économique de ces pays.

2-2-Les barrières :

Le transfert des technologies énergétiques a contribué au développement de certaines économies émergentes, comme c'est le cas pour la Chine, Néanmoins, de nombreux retards sont encore enregistrés dans de nombreux pays en voie de développement. Ces écarts sont analysés par certains auteurs comme conséquence de l'orientation des différentes

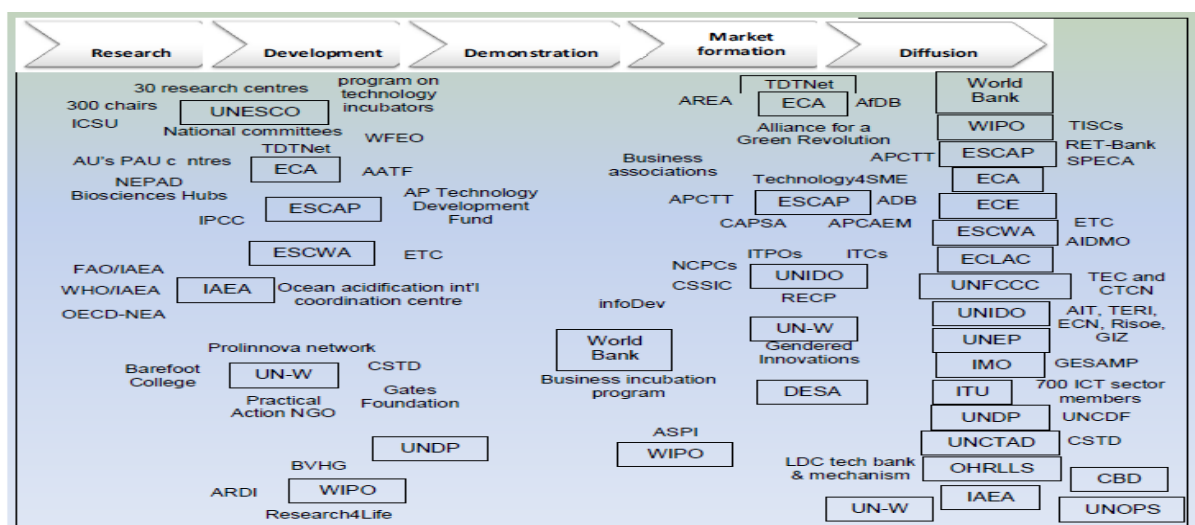
²⁴² OCDE, 2013, « Placer la croissance verte au cœur du développement : résumé à l'intention des décideurs », Mars 2013.

²⁴³ Créée par le Comité d'Aide au Développement (CAD) en 1961 par l'OCDE. Son objectif principal est de réunir les pays fournisseurs d'aide (les donateurs) avec les pays en voie de développement (en besoin de financement).

collaborations. En effet, pour Sagar et Majumdar, (2014)²⁴⁴, la plus grande partie de ces programmes se focalise sur le volet « downstream » des technologies se concentrant ainsi sur l'exploration et la diffusion des nouvelles technologies sur les nouveaux marchés au détriment de la promotion de la recherche et le développement nécessaires aux futurs développements de ces technologies, ceci laissant un rapport de besoin permanent entre ces pays.

Ce que dévoile la figure n° 18 suivante :

Figure n°18 : Facilitations internationales technologiques- Contributions des Nations Unis (encadrées) et autres programmes (sans cadres), (2010)



Source : Sagar et Majumdar, (2014, p 11)²⁴⁵

Sur la figure n° 18, est présenté l'ensemble des programmes d'échanges technologiques entre les pays développés et les pays en voie de développement arrêtés à 2010. Certains de ces programmes, ceux encadrés, sont affiliés aux Nations Unies.

Au-delà du nombre important de ces programmes, nous observons qu'ils se focalisent plus sur les dernières phases du processus de changement technologique à savoir la formation du marché et la diffusion. Et qu'à l'opposé, seuls quelques programmes sont alignés avec la phase de recherche. De plus, pour d'autres auteurs, Moreira et Sathaye, (2009)²⁴⁶, le changement technologique s'opère en présence d'un contexte socio-économique favorable. Les barrières au transfert des technologies vers les pays en voie de développement sont résumées dans le tableau n° 03 ci-dessous :

²⁴⁴ Sagar.A, Majumdar.A, 2014, « Facilitating a sustainability transition in developing countries: proposal for a global Advanced Research Project Agency for Sustainable Development », Rio+20 Working Paper No.3. Document prepared for the UN Division for Sustainable Development, July 2014.

²⁴⁵ Ibid.Op.cit.p107.

²⁴⁶ Moreira.J.R, Sathaye.J, « Technologies, technology transfer and barriers », Chapter II of « Climate change : Technology Development and technology transfer », préparé par United Nations Department of Economics and Social Affairs, 2009, pp 11-37.

Tableau n°03 : Les barrières au transfert des technologies environnementales vers les pays en voie de développement

Catégories de barrières	Identification des principales lacunes
De marché	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Des situations de marchés instables qui entravent les investissements technologiques internationaux ➤ Difficultés d'entrée sur le marché pour les nouvelles entreprises et technologies ➤ Faible niveau de compétitivité ➤ Petite taille des marchés ➤ Consommateurs à faible revenu
Financières	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Manque de ressources financières ➤ Niveau d'endettement élevé ➤ Prix, subventions, tarifs, taxes et assurances incompatibles ➤ Manque d'incitations ➤ Manque d'accès au crédit ➤ Coûts initiaux et de transactions élevés ➤ Faible productivité économique
Informationnelles	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Manque d'accès à l'information ➤ Manque d'accès aux données techniques pertinentes ➤ Manque de sensibilisation aux problèmes liés au changement climatique, aux options d'atténuation et adaptation et technologies avancées ➤ Manque d'information sur les donateurs potentiels et les développeurs de projets
Légales	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Systèmes inappropriés des droits de propriété intellectuelle ➤ Répartitions inappropriées des responsabilités pour les dommages environnementaux ➤ Systèmes de contentieux inappropriés
Politiques de régulation	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Incompatibilité des lois et politiques existantes avec l'atténuation du changement climatique ➤ Absence de politiques, réglementations, normes et codes nécessaires
Ressources humaines	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Manque de compétences et d'expertises pour faire face aux différents aspects des projets de changement climatique ➤ Manque de personnel qualifié pour l'installation et le fonctionnement des technologies environnementales
Infrastructurelles	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Manque d'infrastructures technologiques minimales ➤ Conception inflexible des villes et des établissements ➤ Obsolescence des infrastructures
Organisationnelles et institutionnelles	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Absence de cadres organisationnels et institutionnels compatibles ou adéquats (juridiques, financiers, réglementaires, d'application, etc.) ➤ Manque de coordination entre les activités des organisations et institutions existantes
Sociales et culturelles	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pratiques sociales, croyances et normes qui empêchent l'acceptation du changement climatique et les options d'atténuation / d'adaptation ➤ Méconnaissance des technologies écologiquement rationnelles et des avantages de l'efficacité énergétique ➤ Modes de vie inefficaces
Politiques	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Absence de mécanismes publics pour soutenir le transfert de technologie ➤ Gouvernance inefficace ➤ Manque de liberté d'expression et d'information

Source : Construction personnelle de l'auteur²⁴⁷

²⁴⁷ A partir des données sur Moreira.J.R, Sathaye.J, « Technologies, technology transfer and barriers », Chapter II of « Climate change : Technology Development and technology transfer », préparé par United Nations Department of Economics and Social Affairs. 2009, page 25 et page 26.

3-Système d'innovation technologique énergétique (S.I.T.E) : Apports de la littérature économique :

3-1-Caractéristiques principales du S.I.T.E :

Même s'il demeure similaire au système d'innovation technologique dans sa conception, le système d'innovation technologique énergétique se distingue par certaines caractéristiques qui lui sont propres. Ces dernières sont justifiées par la nature délicate, complexe et imprévisible du secteur de l'énergie.

Il s'agit, d'une manière générale, d'une application de l'approche systémique destinée à analyser les informations décrivant différentes phases du processus des technologies énergétiques. Une application qui intègre de même les fonctions des différents acteurs et institutions, permettant l'installation des mécanismes et politiques publiques et assurant un changement. Que ce dernier soit du côté de l'offre ou de la demande (consommateurs).

Dans un S.I.T.E, la recherche et le développement sont orientés vers deux volets :

- les technologies de l'offre de l'énergie,
- les technologies de la demande de l'énergie.

Le recours à cette approche d'analyse systémique se justifie par le besoin de plus en plus urgent d'assurer des changements et une transition énergétique dans l'ensemble des pays du monde. Ce besoin s'est vu accentué, ainsi que nous l'avons déjà observé, suite au choc pétrolier de 1973 et les différentes manifestations internationales sur l'environnement ayant bouleversé les stratégies énergétiques des nations.

Le déclenchement des processus pour le changement technologique énergétique se retrouve ainsi face à de réels défis notamment pour les technologies des énergies renouvelables exigeant des changements radicaux dans les compositions des systèmes d'innovation existants. Sans qu'il faille oublier d'autre part, l'influence des activités énergétiques classiques (fossiles) dont le poids sur les marchés internationaux est loin d'être négligeable.

Partant de ces orientations, Rosenberg, (1982)²⁴⁸, évoque les objectifs principaux que doit cibler le secteur de l'offre de l'énergie. Ces objectifs sont nommés « dispositifs de focalisations ». Ils s'articulent autour de quatre (04) points :

- l'exploitation des nouvelles sources d'énergie,
- l'augmentation de l'efficacité thermodynamique et économique de ces sources,
- l'amélioration du contrôle, la sécurité et la stabilité de la conversion d'énergie,

²⁴⁸ In GEA, 2012: Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future. International Institute for Applied Systems Analysis, Vienna, Austria and Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

- l'amélioration des impacts sociaux et la réduction des impacts négatifs sur l'environnement.

Les technologies de la demande de l'énergie concernent quant à elles les équipements technologiques utilisant les ressources énergétiques, comme l'électricité pour les ordinateurs et les équipements d'usage domestique et professionnel, et le carburant pour le matériel de transport.

L'objectif recherché par ces technologies est d'offrir des produits plus performants et moins énergivores en ressources fossiles. Le recours à ces technologies par les consommateurs est le résultat des politiques publiques d'incitation et/ou de restriction²⁴⁹.

3-1-1-Le changement technologique dans un système énergétique :

Dans le rapport de GEA, (2012)²⁵⁰ les auteurs soulignent quatre (04) moteurs principaux permettant de conduire à des changements technologiques dans un système énergétique :

- la combinaison des efforts individuels des firmes autour de clusters pour amplifier les retombées sur le système énergétique. Cette interdépendance en plus de faciliter l'adoption d'une technologie, permet aussi l'établissement d'un certain nombre de technologies annexes ou produits dérivés ce qui conduira naturellement à l'accumulation des connaissances et d'apprentissages supplémentaires,

- l'amélioration continue de la performance des technologies énergétiques pour assurer une réduction du coût dans le temps. Ceci est conditionné par l'accompagnement par des politiques publiques assurant plus d'attractivité aux nouvelles technologies. Les économies d'échelle qui seront détaillées par la suite, peuvent-elles aussi, contribuer à cet objectif,

- en addition aux technologies d'offre de l'énergie, l'intérêt doit être porté également sur les technologies d'utilisation finale destinées aux consommateurs. Ceci est d'une importance cruciale pour augmenter les chances de succès sur le marché des technologies d'offre,

- le taux de changement : représenté par le délai que prend un processus de changement technologique (de l'invention à la diffusion) est assez lent, et plus particulièrement dans les technologies énergétiques qui se caractérisent par des besoins assez importants d'investissements (recherche et développement, infrastructure, risque financier, etc.). Ainsi, une vision systémique à long terme, ainsi que des prises d'initiatives vers la transition

²⁴⁹ Les formes de politiques publiques d'incitation et/ ou de restriction ont été développées dans le premier chapitre.

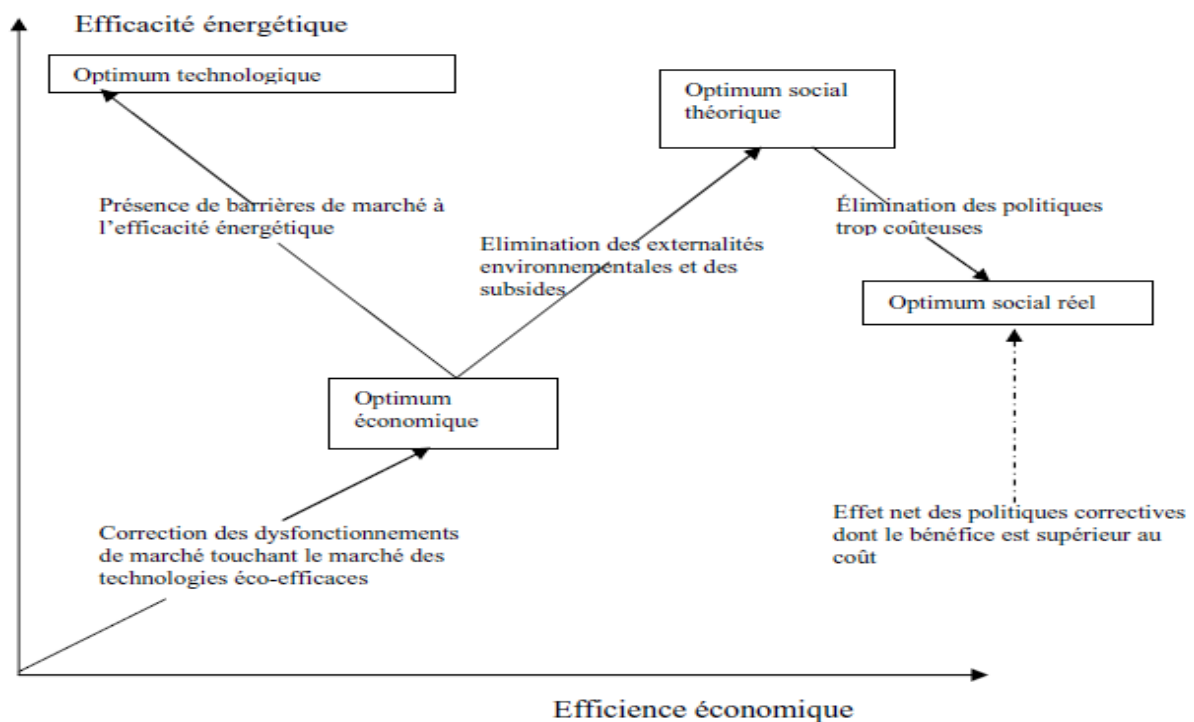
²⁵⁰ GEA, 2012: Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future. International Institute for Applied Systems Analysis, Vienna, Austria and Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA

énergétique doivent commencer le plus tôt possible. Car des efforts, ponctuels et à court terme, ne risquent pas de stimuler l'innovation technologique énergétique.

3-2-Autour de la notion du « déficit de l'efficacité énergétique » en économie :

En économie et depuis des années, évoquer la transition énergétique renvoie à la création d'un « déficit de l'efficacité énergétique » qui consiste en un écart dans les rendements énergétiques issus de la technologie et rendements économiques. En d'autres termes : la différence entre les plus technologiques éco énergétiques disponibles à un moment donné sur le marché et le plus économique dégagé par l'utilisation de ces nouvelles technologies éco énergétiques par les utilisateurs finaux. Jaffe et al, (1999)²⁵¹. Ce phénomène est expliqué dans la figure n°19 ci-dessous :

Figure n° 19 : Optimum économique, optimum technologique, et optimum social



Source : Boulanger, (2007, p55)²⁵².

La figure n° 19 montre ainsi sur l'axe vertical l'efficacité énergétique²⁵³, alors que l'axe horizontal établit l'efficacité économique²⁵⁴.

²⁵¹ Jaffe.A.B, Newell.R.G, Stavins.R.N, 1999, « Energy-Efficient technologies and climate change policies : Issues and evidence », Climate Issue Brief No. 19, December 1999.

²⁵² Boulanger. P.M, 2007, « Les barrières à l'efficacité énergétique », Reflets et perspectives de la vie économique 2007/4 (Tome XLVI), p. 49-62.

²⁵³ Mesurée par l'intensité énergétique qui représente le rapport entre la consommation nationale et le PIB, elle représente la quantité d'énergie nécessaire à la production d'une unité de PIB. La baisse de cet indicateur renvoi à une efficacité énergétique à l'échelle nationale.

²⁵⁴ L'efficacité économique est le rapport entre le coût économique global (incluant le coût de l'énergie) et l'activité économique. La baisse de cet indicateur renvoi à une efficacité économique à l'échelle nationale.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

Les différents points placés sur le diagramme représentent les adjonctions pouvant exister entre les technologies disponibles sur le marché et consommatrices d'énergie avec l'orientation des politiques publiques. Les auteurs soulignent les différences pouvant exister entre d'un côté, la recherche d'un optimum technologique permettant une réduction de la consommation énergétique mais aussi un accroissement des coûts de recherche, développement et production et de l'autre côté, un optimum social permettant un allègement du coût économique de la technologie en question.

L'objectif final des politiques publiques demeure la réduction dans le temps des externalités environnementales associées à l'adoption des technologies plus économes en énergie.

Pour les économistes, l'atteinte d'une efficacité énergétique et économique reste à la fois possible. Elle est toutefois conditionnée par une élimination des barrières sur le marché concernant simultanément ; l'efficacité énergétique permettant un optimum pour les technologues et l'offre de l'énergie permettant un optimum social « *théorique* ». Pour les auteurs, l'association des deux types de mesures mène à un optimum « *étroit* » pour les économistes. Cet optimum est considéré comme « *étroit* », dans le sens où il concerne uniquement le marché des technologies énergétiques.

L'élimination de ces défaillances du marché doit passer par une élimination de toutes les mesures inadéquates à l'émergence des technologies énergétiques mêmes existantes dans d'autres segments du marché. Nous pouvons citer en exemple :

- les incitations financières orientées vers le secteur privé au détriment du secteur public,
- une mauvaise diffusion de l'information quant aux avantages pouvant être tirés des nouvelles technologies énergétiques par les utilisateurs finaux,
- une mauvaise orientation des allocations financières dans le marché bancaire de l'économie.

L'élimination des défaillances implique, néanmoins, un coût important contraignant les décideurs à n'en adopter qu'une partie. En conséquence, l'optimum social décrit par les économistes ne pourra être atteint et les mesures correctives à instaurer doivent présenter un coût moins important que les avantages à tirer.

Sur la figure n° 19, cela est représenté par une baisse passant de l'optimum social théorique à l'optimum social réel.

Ainsi, la première vision des technologues sur les possibilités d'émergence des nouvelles technologies énergétiques reste restreinte aux paramètres coût de recherche et de production, ignorant les facteurs macroéconomiques pouvant influencer les décisions

politiques, tels que le degré d'incertitude sur le marché mondial dû à la volatilité des prix de l'énergie mais aussi celui des nouvelles technologies.

D'un autre côté, d'autres auteurs²⁵⁵ évoquent d'autres formes de barrière à l'efficacité énergétique et remettent ainsi en cause l'idée que les défaillances du marché, l'asymétrie de l'information sont les uniques raisons pouvant causer une résistance à l'efficacité énergétique. Il s'agit des limites cognitives et organisationnelles des agents économiques²⁵⁶. En d'autres termes, même avec un fonctionnement « parfait » du marché, l'optimum économique n'est pas une garantie avec des agents dont la rationalité limitée les contraint de saisir d'une manière effective toutes les opportunités pouvant se présenter.

De leur côté, les limites organisationnelles représentent les difficultés par les organisations à accepter l'innovation qui peut conduire à l'efficacité énergétique. La raison principale d'une telle résistance consiste dans les conditions d'adaptation des nouvelles alternatives qui nécessitent l'instauration des nouvelles routines, nouveaux modes de gestion qui contraignent les firmes à faire face à des coûts plus importants. Ce phénomène justifie le retour « naturel » des comportements routiniers des décideurs suite aux contre-chocs survenus après le choc pétrolier. Il apparaît ici, une autre justification des interventions des pouvoirs publics, qui doivent inscrire et orienter les intérêts de l'ensemble des agents sur une seule trajectoire, à savoir, celle de la transition énergétique.

3-3-Des économies d'échelle et des économies d'envergure pour les innovations technologiques énergétiques :

La notion de coût est étroitement liée à l'adoption des nouvelles technologies énergétiques voire même élément crucial lors de la prise des décisions publiques.

Dans un système d'innovation, le coût concerne plusieurs paramètres allant de la création de la connaissance, passant par son application (production) et diffusion. Partant de ce point, la notion d'économies d'échelle, reconnue comme moteur premier dans l'histoire de l'évolution de l'industrie énergétique (la machine à vapeur à partir de la combustion du charbon, et la génération de l'électricité par la combustion du gaz naturel) prend toute son importance.

Le principe de base des économies d'échelle demeure le même dans le système technologique énergétique. Il consiste en la réduction des coûts fixes par une augmentation de la production dans le temps. L'augmentation de la production d'électricité à partir des nouvelles technologies énergétiques ne prend pas systématiquement l'augmentation des unités de

²⁵⁵ In Boulanger. P.M, 2007, « Les barrières à l'efficacité énergétique », *Reflets et perspectives de la vie économique* 2007/4 (Tome XLVI), p. 49-62.

²⁵⁶ Concept directement lié à la rationalité limitée des agents économiques évoqué par les théories néoclassiques en contradiction avec les théories classiques.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

production mais peut aussi concerner l'augmentation dans les paramètres de l'unité de production au lieu d'augmenter le nombre de ces unités. Il peut s'agir par exemple d'augmenter la taille ou le nombre des pales sur une éolienne, ou l'augmentation de la hauteur de son mat²⁵⁷.

Les économies d'échelle peuvent opérer également en adoptant des innovations organisationnelles dans la chaîne de production permettant l'augmentation de la production en rationalisant les besoins en main d'œuvre ce qui conduit à une minimisation des coûts. Ceci est d'autant vrai dans l'industrie énergétique qui se caractérise par une main d'œuvre spécialisée et très couteuse.

En parallèle, amener les firmes à réduire les coûts de production, implique nécessairement l'intervention publique. Il s'agit ici d'adopter des mesures de soutien à la demande, qui encouragent les firmes à augmenter leurs productions et donc investir en équipement (si augmentation des unités de production). Néanmoins, l'adoption de telles mesures est conditionnée par une application à moyen et long terme rassurant les producteurs. Car une réticence lors de l'application de ces mesures peut amener à la réticence des producteurs à investir et donner des résultats inverses. GEA, (2012)²⁵⁸

D'un autre côté, il faut souligner que l'augmentation de la performance et la productivité dans le système technologique est fonction du degré de capacité d'apprentissage des firmes. Mais aussi inversement, l'augmentation de la performance implique à son tour une augmentation de l'apprentissage des individus et des organisations qui sont le résultat de l'expérience accumulée créant ainsi, un cercle vertueux. C'est ce qui est nommé « *learning by doing* » et « *learning by using* ». Cette expérience est donc acquise lors de l'exécution des différentes routines de travail, et organisationnelles. Grubler et al, (1999)²⁵⁹

La schématisation du phénomène de l'expérience dans un système d'innovation met en avant le rôle que prend l'accumulation de l'expérience dans la réduction des coûts de production.

Ainsi, sur la « *courbe de l'expérience* », la relation entre l'accumulation de l'expérience et les coûts de production est inverse. Plus l'accumulation de l'expérience augmente et plus les coûts de production unitaires baissent, synonyme de la maturité de la technologie en question.

²⁵⁷ Il s'agit du support vertical d'une éolienne qui permet d'élever l'hélice à une certaine hauteur. La modification de cette hauteur permet ainsi de profiter de la force du vent en hauteurs.

²⁵⁸ Ibid.Op. Cit.p110

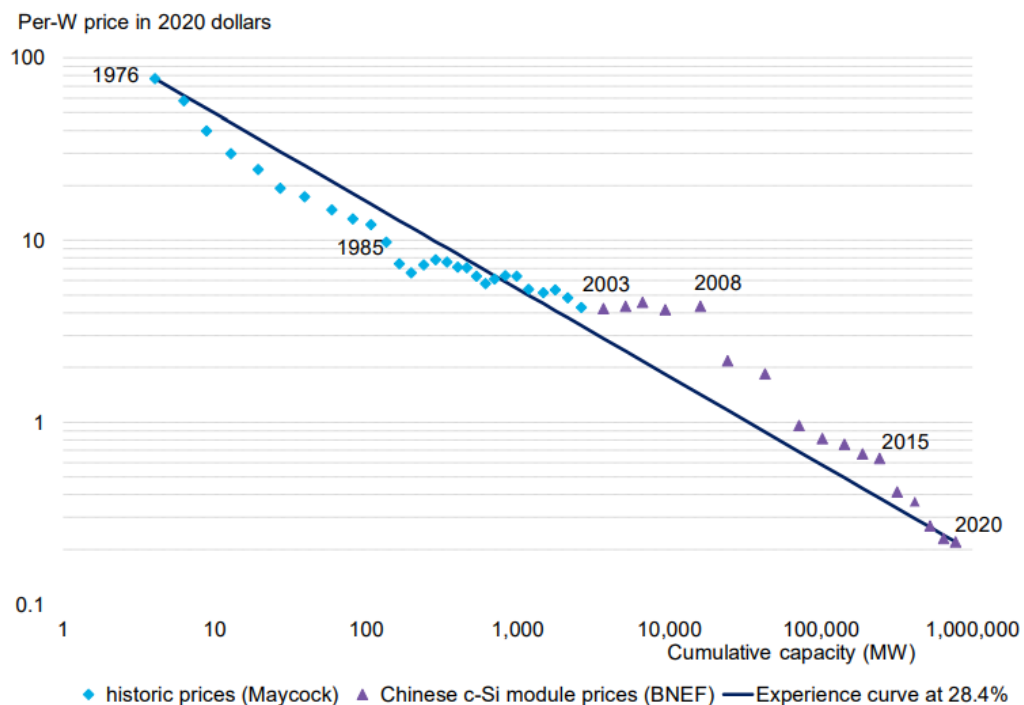
²⁵⁹ Grubler,A, Nakicenovic.N and David G. Victor, 1999, « Dynamics of energy technologies and global change », Energy policy, vol.27, issue 5, 247-280.

De ce rapport, est née la notion du « taux d'apprentissage », qui représente la diminution en pourcentage des coûts par l'accumulation de l'expérience. Autrement dit, ce taux mesure la rapidité avec laquelle le changement technologique se produit.

Ce taux connaît une croissance exponentielle dans les premières phases du processus et devient de plus en plus faible avec la maturité de la technologie.

D'après les expériences de Bloomberg New Energy Finance (NEF)²⁶⁰, le taux d'apprentissage du solaire photovoltaïque a été de 28,4%, et ce, depuis 1976. Bloomberg NEF, (2021)²⁶¹. Ce taux est décrit comme un record. Ceci signifie que pour chaque doublement des installations, le prix a baissé de 28,4%. Ceci est démontré à travers la figure n°20 ci-dessous.

Figure n°20 : Courbe d'expérience pour les prix des modules photovoltaïques, (1976-2020)



Source : Bloomberg NEO, (2018, P04)

Cette baisse du coût de production liée à l'augmentation du taux d'expérience positionne l'avenir des technologies photovoltaïque dans des scénarios positifs à l'horizon 2050.

Aussi, la recherche pour la réduction du coût de production ne concerne pas uniquement l'augmentation de production mais peut concerner la diversification des produits partageant la même connaissance de base profitant ainsi aux équipements et processus de production déjà installés mais aussi de toutes les dépenses et mécanismes liés au marketing et la mise sur le

²⁶⁰ Une organisation de recherche américaine sur les nouvelles technologies énergétiques.

²⁶¹ Bloomberg NEF, 2021, « Scaling up solar in ISA Member Countries, 19 October 2021.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

marché de la nouvelle technologique. C'est ce qui est appelé « économies d'envergure » ou « économies de gamme ».

Dans le secteur de l'énergie, cette stratégie est par exemple présente dans le processus de cogénération dans l'énergie biomasse²⁶². À travers un double processus, la cogénération permet l'obtention de la chaleur et de l'électricité simultanément profitant ainsi d'une unique installation et permettant ainsi une réduction des coûts de production.

CONCLUSION

L'analyse du processus de changement technologique dans un système d'innovation et son impact sur le développement des technologies énergétiques durables a fait l'objet de ce deuxième chapitre. Il a été nécessaire dans une première section de présenter d'abord ses origines, ses structures ainsi que ses principes fondamentaux. Ces lectures de base nous ont été utiles pour le discernement des différentes approches existantes dans la littérature économique destinées à analyser la nature du changement technologique dans un système d'innovation donné.

Même si différentes dans leurs formulation, l'ensemble de ces approches (statiques ou dynamiques) permet la construction de nouvelles politiques ou une combinaison de plusieurs politiques, ou d'identifier et expliquer les interventions publiques d'ajustement sur des anciennes politiques. Ceci est d'autant plus justifié pour l'approche dynamique car permettant une lecture globale et dynamique à la fois du système d'innovation. Pour cette approche, la lecture dynamique du processus de changement technologique vise la détermination des éléments et/ou les activités dans le processus sur lesquels accentuer l'effort pour atteindre les résultats souhaitables.

La problématique de la transition énergétique dans un système d'innovation ainsi que la lecture des conditions de son évolution ont fait l'objet de la seconde section de ce chapitre. La présentation du poids des activités d'innovations technologiques environnementales dans le monde a fait ressortir la forte liaison entre le niveau de richesse des pays et leur niveau d'effort en recherche. Ainsi, la coopération internationale a été présentée dans cette section comme une solution assurant le transfert des technologies énergétiques des pays développés vers les pays en voie de développement.

La notion de coopération a été toutefois associée au processus d'apprentissage permettant aux acteurs locaux l'utilisation et la reproduction de la technologie. Ceci renvoie à

²⁶² Source d'énergie renouvelable obtenue par l'action de combustion des matières organiques d'origine végétale ou animale.

Chapitre 2 Le système d'innovation au service du développement des technologies durables

la nécessité d'amélioration des conditions locales et l'intégration des capacités existantes. La situation est aussi conditionnée par la connaissance du niveau de développement des technologies lors de la conception des stratégies nationales, et ce, afin de cibler les mécanismes appropriés.

CHAPITRE 3

EVOLUTION DES SYSTEMES

D'INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES

ENERGETIQUES MONDIAUX

INTRODUCTION

Depuis le choc pétrolier de 1973, l'intérêt des pays industrialisés s'est orienté vers la question de la sécurité énergétique en cherchant à optimiser les ressources disponibles mais aussi à diversifier les sources d'approvisionnement. De ce fait, des mesures ont été prises par certains pays en rapport avec une nécessaire mise au point de nouvelles technologies énergétiques. Les préoccupations des manifestations internationales pour l'environnement survenues par la suite, sont venues appuyer davantage les politiques existantes de ces pays les poussant ainsi à s'orienter de plus en plus vers les énergies renouvelables tenant en compte tous les bénéfices économiques et environnementaux qu'elles présentent.

L'innovation technologique, clé de l'émergence des énergies renouvelables, est fortement conditionnée par l'adoption d'une stratégie globale inscrite sur le long terme rassemblant plusieurs mesures publiques. Ceci est d'autant vrai avec les effets du « spillovers » avancés par la théorie néoclassique qui définissent l'incapacité des acteurs privés à supporter les coûts importants des activités de R&D de par le caractère « *public* » de leurs rendements, et la justification de l'intervention publique.

Traiter les conditions d'émergence des énergies renouvelables dans un système d'innovation implique la prise en compte des différentes phases du processus de changement technologique propres à ces énergies. Mais cela suppose aussi de proposer une analyse couvrant les deux volets offre et demande des énergies en question et des énergies fossiles, car considérées comme élément essentiel dans le schéma du système.

Ainsi, le lancement des politiques incitant la R&D dans le secteur des énergies renouvelables doit s'effectuer en parallèle avec des politiques ou mesures poussant à la restriction de la consommation des énergies fossiles.

L'analyse du système d'innovation technologique pour les énergies renouvelables a comme principaux objectifs :

- l'évaluation du niveau de développement de certaines technologies en termes de structure,
- les interactions conduisant à leurs expansions ou à l'inverse leurs blocages.

Cette analyse s'appuie alors sur celle des composants mais aussi sur la nature de leurs interactions.

Section 01 : Système énergétique mondial et changement technologique

Les technologies énergétiques ciblent d'une manière générale les besoins tels que la disponibilité des ressources, l'augmentation de l'efficacité énergétique des sources d'énergie avec l'amélioration des retombées environnementales, la réduction des coûts de revient, la réduction des pertes lors des processus de distribution aux consommateurs finaux, etc.

Nous présentons au sein de cette première section quelques truismes relatifs aux processus technologiques dans le secteur des énergies renouvelables et particulièrement dans le solaire tout en mettant en avant l'évolution des différents fonctionnements des systèmes énergétiques dans le monde. L'objectif d'une telle démarche est de faire ressortir l'évolution du progrès technologique et les ajustements des politiques publiques opérés au cours du développement des économies industrielles.

Ainsi, l'analyse des différentes composantes du système technologique solaire fera l'objet du premier point de cette section. L'objectif par cette analyse est de :

- cerner les diverses potentialités de développement de l'ensemble de ces technologies,
- connaître la chaîne de valeur et pouvoir ainsi aligner les structures de marché et du poids des industries des pays notamment les pays en voie de développement afin de profiter des avantages économiques de ces différentes technologies.

Cette analyse est importante pour notre prochain chapitre, où il est question de nous pencher sur les conditions de développement des technologies solaires en tenant compte des conditions économiques de l'Algérie.

À travers le second point de cette section, nous présenterons le marché mondial du solaire, et ce, selon les types de technologies présentées au point précédent. L'objectif par cette démarche est de mettre en avant l'importance de la coopération internationale dans l'aboutissement des objectifs des pays en voie de développement.

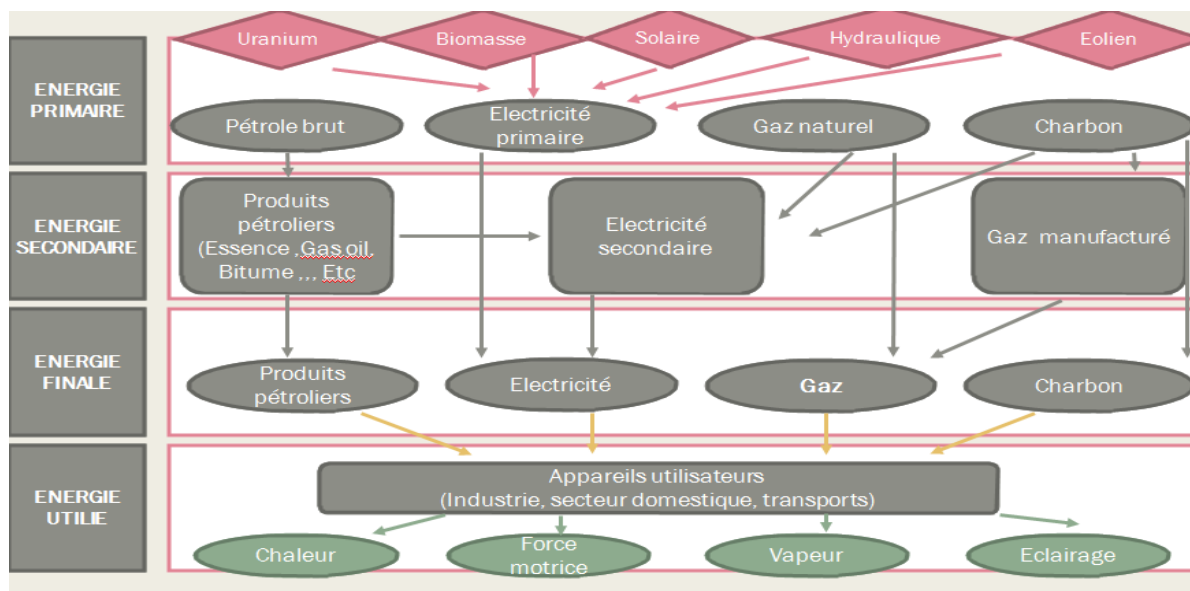
1-Les truismes sur le système énergétique :

Chevalier et al, (1986, p. 115)²⁶³ définissent le système énergétique comme étant « *l'ensemble des processus technologiques, économiques et sociaux mis en action pour transformer l'énergie « sauvage » en énergies « domestiques », afin de satisfaire les besoins en chaleur, lumière, force motrice et impulsion électrique* ».

²⁶³ Citée dans ; Taillant.P, 2005, « L'analyse évolutionniste des innovations technologiques : l'exemple des énergies solaire photovoltaïque et éolienne » Université Montpellier 1, faculté des sciences économiques, sous la direction de Jacques Percebois, page 9.

Le système énergétique se caractérise ainsi par une diversité des sources, formes et types d'énergie, et donc par conséquent d'une diversité des industries spécialisées. Ainsi, sa représentation intègre nécessairement plusieurs composants ou éléments. A travers la figure n° 21 ci-dessous, Hansen et Percebois, (2010)²⁶⁴ synthétisent les composants d'un système énergétique.

Figure n° 21 : Schéma simplifié du système énergétique



Source : Hansen et Percebois, (2010, p9)²⁶⁵

Il est nécessaire dans un premier temps de présenter les significations des différents types d'énergie détaillés dans la figure ci-dessus.

L'énergie primaire : C'est une source d'énergie capturée d'un flux de ressources et n'ayant obtenu aucune transformation.

L'énergie secondaire : C'est toute énergie obtenue à partir de la transformation d'une énergie primaire.

L'énergie finale : C'est l'énergie mise à disposition de l'utilisateur final. Sa consommation entraîne une dernière conversion. Cela peut être une énergie primaire (bois pour la cheminée), ou une énergie secondaire (électricité, mazout)

L'énergie utile : C'est l'énergie rendant le service énergétique recherché par l'utilisateur final, issue de la dernière conversion. Exemples : lumière d'une lampe, chaleur fournie par un radiateur ou un four.

²⁶⁴ Hansen.JP, Percebois.J, 2010, « Energie : économie et politiques », de Boeck.

²⁶⁵ Ibid.

La classification des types d'énergie sur la figure prend en considération les phases de transformation et de conversion technologique. Ainsi, le passage de l'énergie primaire à l'énergie secondaire implique des processus de transformation comme le raffinage du pétrole brut pour l'obtention des produits dérivés, ou la liquéfaction du gaz naturel pour l'obtention du GNL²⁶⁶. L'énergie finale représente la forme d'énergie distribuée au consommateur final (carburant, électricité, gaz), son utilisation permet de dégager une utilité pour le consommateur sous forme de chaleur, de force motrice, vapeur ou éclairage.

L'enchaînement entre les différentes phases du processus technologique dans un système énergétique implique nécessairement des pertes, soit en phase du transport (de l'énergie primaire) ou en phase de la distribution (de l'énergie secondaire ou finale).

Il est à préciser que l'électricité dégagée par des sources énergétiques renouvelables est considérée comme une énergie primaire, contrairement à l'électricité résultante de la transformation du gaz naturel. Sa représentation sur les bilans énergétiques des pays prend la désignation de « *production primaire* ».

Les conditions d'amélioration de l'efficacité des processus de transformation technologique de l'énergie fossile, ou la mise en place des nouvelles installations pour la génération des énergies renouvelables à des coûts compétitifs, représentent le principal objectif des nombreux projets de recherche. Ces derniers peuvent être élaborés au niveau des centres de recherche publics, privés, au niveau des entreprises ou au niveau des universités.

Par ailleurs, le processus de changement technologique au sein d'un système énergétique suit plusieurs phases amenant le nombre des acteurs et des interactions au sein du système à se développer au cours du temps. Cette évolution mènera à son tour au développement de la base de connaissance. Par la suite, la maturité du système favorisera à son tour l'expansion du processus de diffusion à grande échelle assurant ainsi une expansion des nouvelles technologies et une réduction des coûts qui y sont liés sur le marché national mais aussi international. Jacobsson and Lauber (2006)²⁶⁷

²⁶⁶ GNL : Gaz Naturel Liquéfié : énergie secondaire qui consiste à transformer le gaz naturel de son format gazeux à un format liquide pour simplifier son transport à l'international et pour réduire les pertes de transport.

²⁶⁷ In GEA, 2012: Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future. International Institute for Applied Systems Analysis, Vienna, Austria and Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

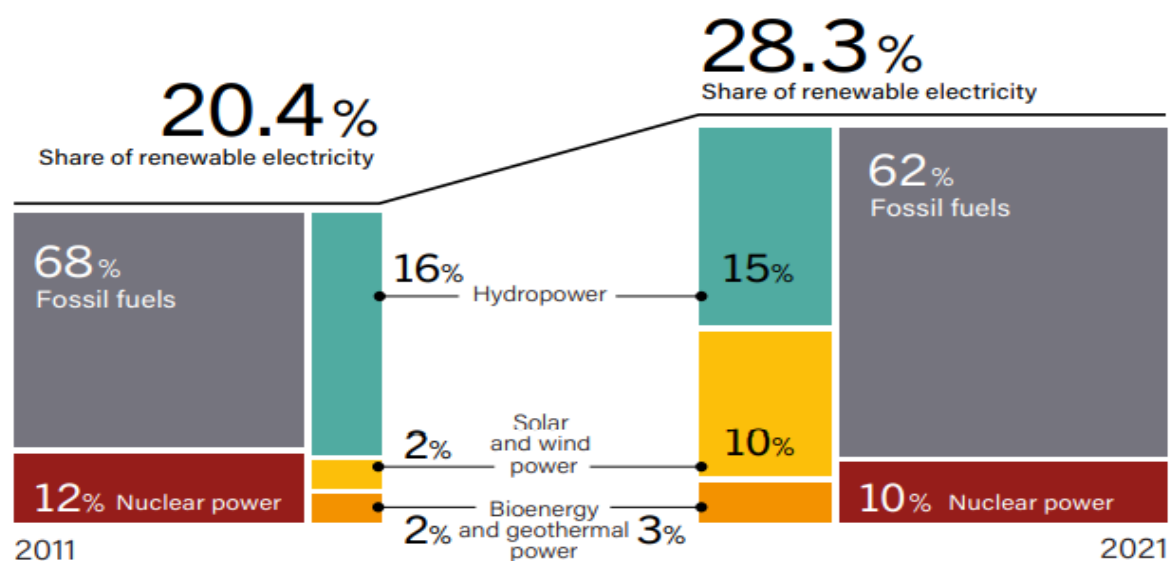
2-Evolution du système énergétique mondial et émergence des énergies renouvelables :

2-1-L'évolution de la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique mondial :

Les bouleversements du marché mondial de l'énergie survenus à la fin des années 70, ainsi que l'évolution marquante des manifestations internationales inscrites dans la sensibilisation contre le réchauffement climatique ont inscrit de nombreux pays dans des trajectoires et politiques axés sur l'émergence des technologies énergétiques renouvelables.

Ceci a donné une part de consommation en énergies renouvelables dans la consommation globale mondiale ayant atteint le seuil de 28 % pour l'année 2021 contre seulement 20 % en 2011, les 62% restants sont assurés par les énergies fossiles contre 68% en 2011, et les 10% par l'énergie nucléaire contre 12% en 2011. REN21, (2022)

Figure n°22 : Part des énergies renouvelables dans la consommation finale mondiale, (2011 et 2021)



Source : REN21, (2022, P44²⁶⁸)

Nous précisons par ailleurs, que le poids des énergies renouvelables diverge sensiblement d'un pays à l'autre. Nous observons en effet que la plupart des pays du nord de l'Europe affichent des taux élevés dépassant la moyenne de 30% en l'occurrence : 81,37% pour l'Islande, 62,37 % pour la Norvège, 52,88 % pour la Suède, 45,76% pour la Finlande et 37,52%

²⁶⁸ REN21, 2022, « Renewables 2022 : Global statut report »

Chapitre 3 Évolution des systèmes d'innovations technologiques énergétiques mondiaux

pour le Danemark. L'Allemagne quant à elle enregistre pour cette même année un taux de 17,17 %, et la Turquie 14,12%.

La Chine, les États Unis ainsi que le Japon présentent respectivement des parts moyennes de l'ordre de 14,45 %, 10,42 % et 7,69 %. Il est à préciser qu'il s'agit des taux représentant la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique de ces pays. Même si ces taux semblent réduits comparés à d'autres, les capacités installées en volume peuvent être bien supérieures à d'autres pays.

Pour le reste du continent américain, des taux importants sont également enregistrés : 22,11 % au Canada, 47,57 % au Brésil et 30,72 % pour la Colombie.

Par ailleurs, les pays de la région du grand Maghreb enregistrent des taux assez faibles. Citons seulement 0,16 % pour l'Algérie, et 5,30 % pour l'Égypte. Toutefois la Tunisie et le Maroc enregistrent des taux plus importants avec 12,20% et 10,69% respectivement. Le recours de ces pays aux sources de financement extérieurs peut être considéré comme un élément responsable en partie de ces réalisations. Nous abordons les données relatives à cette question au sein du chapitre 4.

Pour le reste des pays de l'Afrique, nous relevons des taux très divergents qui peuvent aller de 96,24 % pour le Congo, 88,92 % pour l'Éthiopie ou, 68,08 % pour le Kenya. Si ces pays enregistrent des taux assez importants, c'est à cause des difficultés d'accès à l'électricité fossile par leur population. Le recours aux sources renouvelables comme le charbon de bois s'installent dans ces cas-là comme une alternative. Banque mondiale, (2022)²⁶⁹

À présent, nous nous appuyerons sur le rapport entre le ratio d'innovation et les performances environnementales présenté précédemment dans le chapitre 2 afin d'avancer des interprétations de ces différents taux. Même si cela doit être pris avec prudence, nous pouvons tout de même établir un lien de causalité entre les politiques d'innovation des pays et leurs positions pour atteindre leurs objectifs en installations d'énergies renouvelables. Ceci est notamment le cas des pays du Maghreb qui présentaient des ratios d'innovation assez faibles comparés à ceux des pays de l'OCDE.

A partir de cela, une lecture plus approfondie des différentes stratégies adoptées des différents pays devient nécessaire afin de faire ressortir les lacunes empêchant les économies d'emprunter la trajectoire de la transition énergétique.

Par ailleurs, il est à préciser que le continent africain représente le noyau dur des stratégies mondiales pour le développement des énergies renouvelables et la lutte contre le

²⁶⁹Base de données en ligne de la banque mondiale : [Consommation d'énergies renouvelables \(% de la consommation totale d'énergie\) | Data \(banquemondiale.org\)](https://data.banquemondiale.org), consulté le 13/09/2022

réchauffement climatique. En effet, les objectifs tracés placent l'Afrique au premier rang pour l'année 2030 de par son gigantesque potentiel naturel non encore exploité. Les raisons de telles positions peuvent être multiples, peuvent être d'ordre politique comme économique. En effet, comme énoncé dans le chapitre 1, l'adoption des technologies radicales implique l'adoption d'une stratégie globale associée à d'importantes allocations financières que de nombreux pays sont dans l'incapacité de fournir sans une aide extérieure.

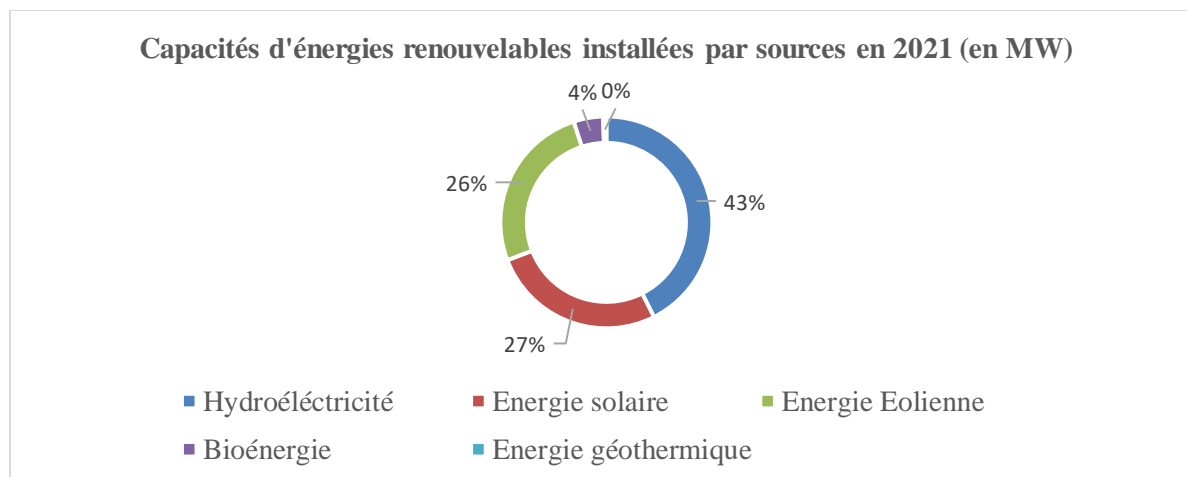
De nombreuses mesures internationales dont l'objectif premier est de favoriser ces financements ont d'ailleurs vu le jour. Nous apporterons plus de détails sur cet aspect au sein du dernier point de ce chapitre.

2-2-La place de l'énergie solaire dans le secteur des énergies renouvelables :

Les objectifs des pays inscrits dans la trajectoire du développement durable intègrent le développement des énergies renouvelables comme étant un axe stratégique. Cet intérêt se fait observer dans l'évolution marquante des capacités installées à travers le monde. En effet, pour l'année 2021, IRENA, (2022)²⁷⁰ présente une augmentation des capacités installées globale en énergies renouvelables qui passent de 1. 443 GW (Giga Watt) en 2012 à 3.064 GW en 2021, soit une évolution de l'ordre de 112 %.

La figure n°23 ci-dessous, présente le total des capacités installées par sources d'énergies renouvelables dans le monde.

Figure n° 23 : Capacité d'énergies renouvelables installées par source, (2021) (en MW)



Source : Construction personnelle de l'auteure à partir des statistiques de l'IRENA, 2022²⁷¹

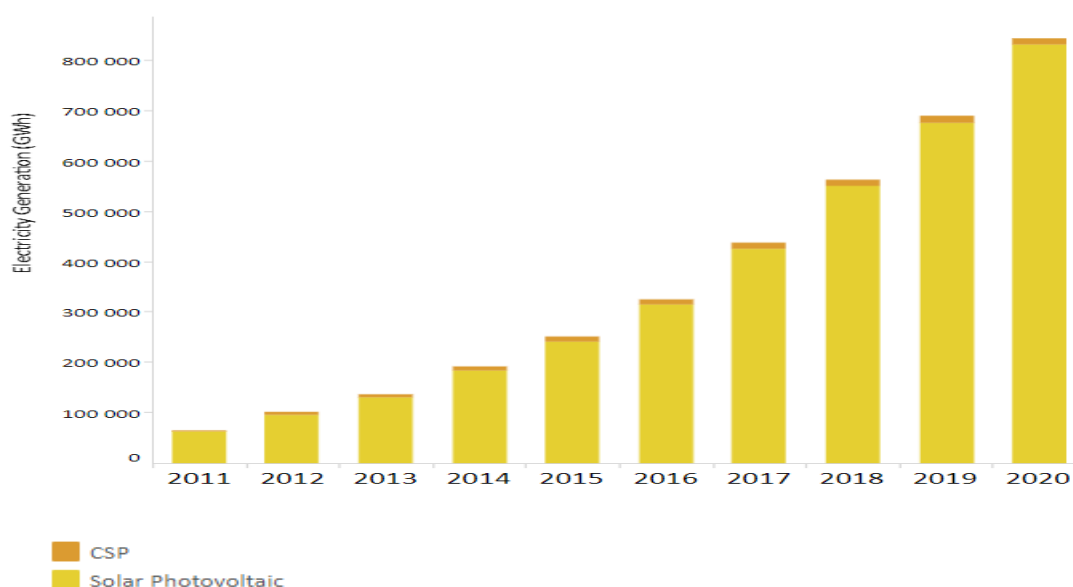
Les énergies hydrauliques détiennent selon la même base de données la première place avec une capacité installée totale de 1.360 GW en 2022 représentant un taux de 43%. Elle est

²⁷⁰ IRENA, 2022, Renewable capacity statistics 2022, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

²⁷¹ Ibid.

suivie par l'énergie solaire avec une capacité installée totale de 849 GW en 2022 représentant un taux de 27%, puis par l'éolien avec 26 % des capacités totales installées dans le monde. Ceci ne réduit pas pour autant l'évolution des capacités installées des centrales solaires dans le monde. Cette évolution est présentée à travers la figure n°24 ci-dessous :

Figure n° 24 : Évolution des capacités installées des centrales solaires dans le monde, (2011-2020)



Source : IRENA²⁷²

La figure fait ressortir une évolution significative des installations solaires²⁷³. En effet, un cumul en capacités d'installations en solaire photovoltaïque de 848 405 MW (Méga Watt) est enregistré en 2021 à l'échelle mondiale. Cette capacité était de l'ordre de 72 216 MW en 2011, soit une évolution de plus de 1000 % en 10 ans²⁷⁴. Cette remarquable progression a fait de l'énergie solaire, la source avec la croissance la plus rapide au monde. REN21, (2022)²⁷⁵

La figure fait ressortir également une énorme différence dans les capacités d'installation entre le solaire thermique à concentration (CSP) et solaire photovoltaïque (PV) reflétant le poids de l'orientation des efforts de R&D dans cette branche. Les capacités installées en solaire photovoltaïque représentent plus de 99% de la capacité globale. Nous pouvons justifier cette tendance à la hausse par l'intérêt croissant des décideurs politiques, mais aussi par le niveau les

²⁷² IRENA, [Solar energy \(irena.org\)](https://www.irena.org), consulté le 13/09/2022

²⁷³ Une analyse comparative détaillée entre les sources solaires (PV et CSP) est présentée à partir de la page 136.

²⁷⁴ Ibid.Op. Cit.

²⁷⁵ Ibid.Op. Cit.p124.

allocations importantes des fonds pour la R&D dans ces technologies. Le volume ainsi que le rythme d'évolution de ces fonds seront détaillés dans la deuxième section de ce présent chapitre.

Il est important de souligner à ce stade les facteurs pouvant influencer cette répartition. De prime abord, le coût de production est l'élément primordial pouvant influencer la prise de décisions sur l'utilisation ou non des sources d'énergies renouvelables pour la génération électrique. Ce coût est fonction de deux paramètres essentiels : d'un côté, le potentiel naturel qui permet d'augmenter le rendement des installations, et de l'autre le niveau de progrès technologique.

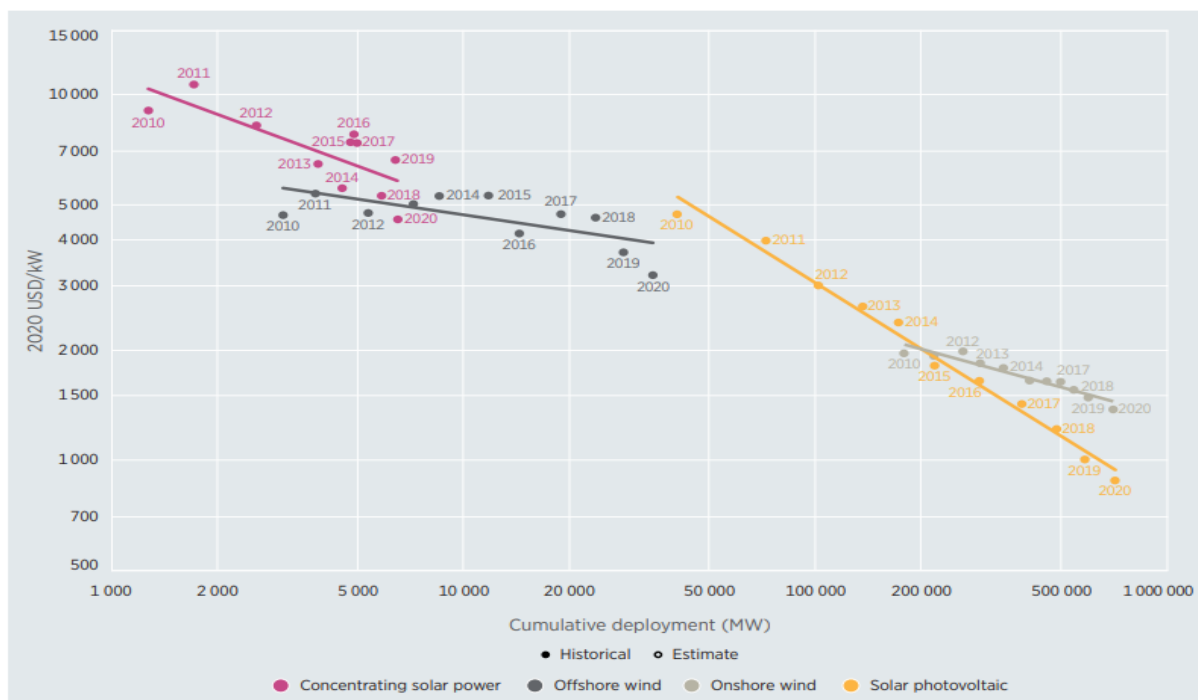
En parallèle à ceci, les technologies énergétiques sont le résultat de nombreuses politiques et stratégies associées à une mobilisation importante des ressources financières. Le poids de ces efforts est plus adapté aux pays développés qu'aux pays en voie de développement. Nous pouvons juger ainsi qu'il est naturel d'enregistrer des progrès technologiques pour les pays disposant de ressources.

Ceci nous mène aux nombreuses opportunités technologiques pouvant être tirées des pays de l'Afrique comme l'Algérie, pour qui le potentiel solaire naturel offrira des avantages compétitifs non négligeables. Ceci est toutefois conditionné par la mise en place d'ensembles d'instruments axés sur la même vision globale.

2-3-L'innovation technologique comme facteur primordial de l'évolution des énergies renouvelables :

Les divergences dans la réalisation des objectifs en termes de production électrique renouvelable renvoient ainsi aux divergences existantes entre ces pays dans la maîtrise des nouvelles technologies énergétiques. À côté de cela, l'évolution des courbes d'apprentissage relatives aux différentes sources ne peut pas être la même. Nous essayerons de démontrer ceci en observant le rythme d'évolution des courbes d'apprentissage par forme d'énergie renouvelable.

Figure n° 25 : Évolution des courbes d'apprentissage par source d'énergie renouvelable, (2010-2020)



Source : (IRENA, 2021)²⁷⁶

L'évolution des courbes d'apprentissage par forme d'énergie reflète une différence dans la maîtrise des différentes technologies énergétiques. Cette différence explique la divergence de la place qu'occupe chaque source dans les capacités globales de production à travers le monde. Par ailleurs, la baisse de la courbe d'apprentissage des technologies énergétiques renouvelables ainsi que le déploiement de ces énergies à grande échelle renvoient directement à la baisse du coût de production. Ceci est particulièrement le cas de l'énergie solaire PV et l'énergie éolienne On shore.

Le tableau n°04 suivant présente les coûts de production par source d'énergie :

²⁷⁶IRENA (2021) Renewable Power Generation Costs in 2020, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Tableau n° 04 : Coût de production en \$/KWH par source d'énergie renouvelable (2010 et 2021)

Type	Le coût par la moyenne pondérée globale L.C.O.E ²⁷⁷		
	2010	2021	Evolution
Hydraulique	0,039	0,048	24%
Biomasse	0,078	0,067	-14%
Éolienne Off shore	0,188	0,075	-60%
Éolienne On shore	0,102	0,033	-68%
Solaire PV	0,417	0,048	-88%
Solaire CSP	0,358	0,114	-68%
Géothermique	0,050	0,068	34,00%

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir de (IRENA, 2022²⁷⁸)

Depuis 2010, la baisse du coût de production d'électricité par le solaire PV est la plus importante. En effet, une baisse de plus de 88 % est enregistrée de 2010 à 2021. Elle est suivie par le Solaire thermique à concentration (CSP) et l'éolien on shore avec – 68%.

La baisse importante du coût du solaire PV peut être expliquée par l'augmentation des installations d'un côté, mais également par le recours à des zones géographiques qui disposent d'un potentiel solaire plus intense assurant ainsi l'augmentation de la performance des installations.

Le tableau fait ressortir de l'autre côté des augmentations des coûts de génération électrique de l'énergie hydraulique +24 % mais aussi de la géothermique +34%.

Il est important de souligner que ces deux sources d'énergie représentaient en 2010 les coûts de production les moins importants respectivement de 0,039 USD/KWH et 0,050 USD/KWH²⁷⁹.

Il ressort clairement que c'est grâce à ce faible coût de production que leurs parts sont importantes dans le marché énergétique renouvelable global. Ce n'est qu'à partir de 2014 que

²⁷⁷ L.C.O.E est l'abréviation de l'expression en anglais « Levelized Cost Of Energy », qui signifie « le coût actualisé de l'énergie ».

²⁷⁸ IRENA (2022) Renewable Power Generation Costs in 2021, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

²⁷⁹ USD/ Kwh : Dollars américain par Kilo watt heure

la tendance s'est inversée. Par exemple pour l'énergie hydraulique, le rapport de IRENA, (2019 (b))²⁸⁰ justifie cette récente tendance par l'impact des nouvelles installations dans les pays asiatiques comme l'Inde et le Japon. Ces dernières concernent des nouvelles localités géographiques plus complexes nécessitant le recours aux technologies spécifiques et donc plus coûteuses. Ceci est le même cas pour l'énergie géothermique.

En comparaison avec les énergies fossiles, le coût de génération de l'électricité à partir des sources d'énergie renouvelable comme la biomasse, l'hydraulique, la géothermique et l'éolien on shore et offshore ont atteint le rang des énergies fossiles à partir de 2010. Alors que le coût de l'électricité par le solaire a atteint le même seuil à partir de 2014. IRENA, (2019 (b))²⁸¹. Ce rythme de baisse a fait qu'en 2021, la production de 67 GW a coûté moins chers que la meilleure option existante de l'énergie fossile contre 44GW en 2020 et 40 GW en 2019. IRENA, (2022)²⁸²

En parallèle à ceci, le coût de la génération de l'électricité n'est pas le seul élément à prendre en considération lors de l'analyse des conditions d'émergence des énergies renouvelables. En effet, le coût de stockage représente également un élément majeur qui peut affecter les choix énergétiques des pays mais aussi l'orientation des efforts de recherche et développement.

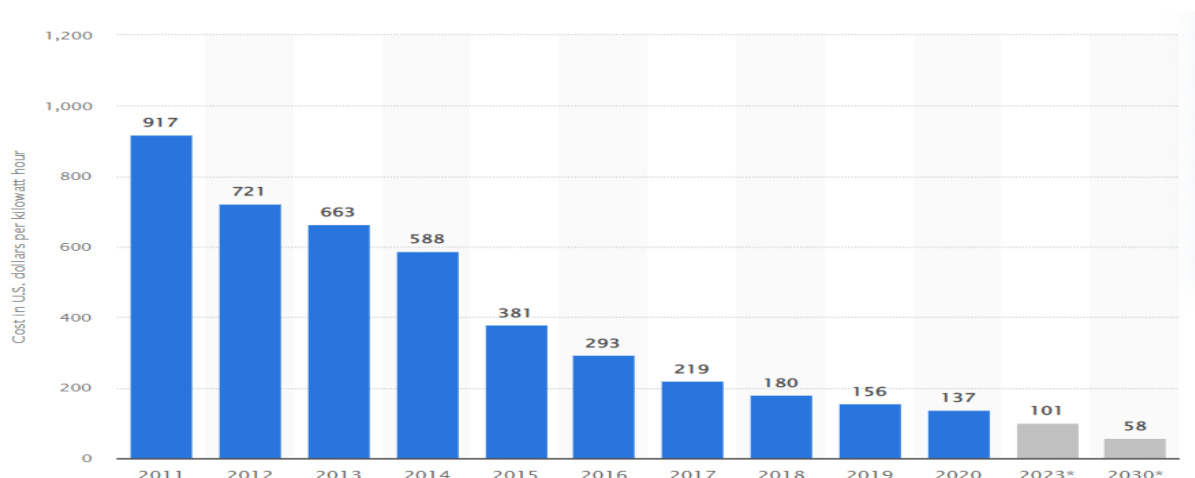
Quelle que soit d'ailleurs l'origine de l'électricité (renouvelable ou non renouvelable), son stockage a toujours représenté une contrainte technique et financière. L'objectif recherché est d'arriver à stocker l'excédent de l'électricité pour des usages futurs. Le problème est néanmoins amplifié lorsqu'il s'agit des énergies renouvelables, notamment pour les sources qui sont fonction du facteur météorologique comme le solaire (l'ensoleillement) ou l'éolien (le vent).

²⁸⁰ IRENA, 2019, (b) Renewable Power Generation Costs in 2018, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

²⁸¹ Idem

²⁸² Ibid.Op. Cit.p130.

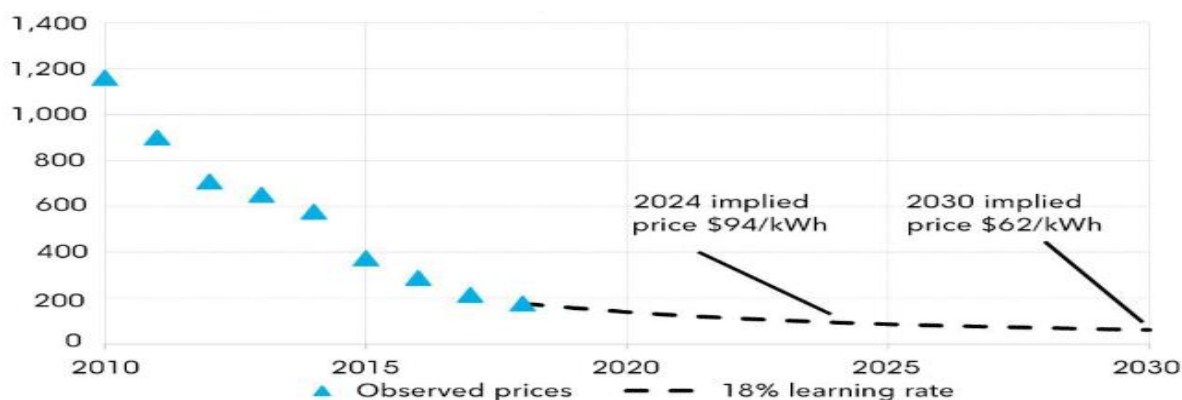
Figure n°26 : Évolution du prix des batteries lithium-ion, (2011-2030) (en \$/KWH)



Source : Statista²⁸³

Le prix moyen des batteries lithium-ion a enregistré une baisse de 85% depuis 2011. Il est passé de 917 \$/KWH à 137 \$/KWH. Toutefois, des disparités peuvent exister selon les sources d'énergie. En effet, le stockage de l'énergie éolienne on shore représente le taux de baisse le plus important comparé à l'énergie solaire PV. BNEF²⁸⁴

Figure n°27 : Estimation des prix de batteries Lithium-ion, (2018-2030) (en \$/KWH)



Source : BNEF²⁸⁵

Ce prix devrait continuer à baisser selon les prévisions de BNEF. Il devrait atteindre 94\$/KWH en 2025 et jusqu'à 62 \$/KWH en 2030. Soit une baisse de l'ordre de 64 % de 2018 à 2030.

²⁸³ Statista, [Worldwide - lithium ion battery pack costs | Statista](#). Consulté le 14/09/2022

²⁸⁴ BNEF blog; Goldie-Scot, 2019, « Head of energy storage », <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/> consulté le 05/12/2020

²⁸⁵ Idem

Il est important de savoir que l'émergence des technologies de stockage pour les énergies renouvelables, non seulement assurera la flexibilité par l'utilisation de ces sources, mais aussi favorisera l'expansion d'autres secteurs économiques clés qui s'y trouvent liés. C'est notamment le cas de l'industrie automobile, électrique plus précisément. Le coût de raccordement au réseau (on grid) se trouvera également réduit grâce au développement des technologies de stockage. Ceci assurera une autonomie (avec des installations off grid) pour les résidences, les industries mais aussi les établissements commerciaux. IRENA, (2017)²⁸⁶

3-Le marché mondial de l'énergie solaire :

3-1-Le marché mondial du solaire PV :

Les premières apparitions des technologies solaires PV ont été enregistrées principalement aux États Unis, en Allemagne et au Japon. L'entrée de la Chine à partir de l'année 2009 dans le secteur, et particulièrement dans le secteur du PV, a bouleversé la composition du marché et la trajectoire empruntée. En effet, la stratégie adoptée par la Chine était axée sur le transfert des technologies par le biais des contrats de transfert des chaînes de production et l'augmentation de la production au détriment du développement des nouveaux produits. Ceci a contribué d'un côté, à la baisse rapide des coûts de production impliquant la sortie du marché de nombreuses firmes. Mais d'un autre côté, à une baisse du nombre de projets brevetés à l'échelle mondiale. Carvalho et al, (2017)²⁸⁷.

Ces transformations sur le marché mondial du solaire PV ont contribué à l'augmentation significative du poids des installations solaires PV, et ce malgré l'augmentation du coût des matières premières et du transport causés par la crise sanitaire. La part majoritaire de 52% est enregistrée en Asie, 21% en Amérique et 17% en Europe. Les pays leaders en termes de capacités installées en 2021 sont²⁸⁸ : la Chine, les États Unis, le Japon, l'Inde et l'Allemagne. REN21, (2022)²⁸⁹

La figure n° 28 ci-dessous, présente l'évolution des parts de marché solaire PV depuis 2011 :

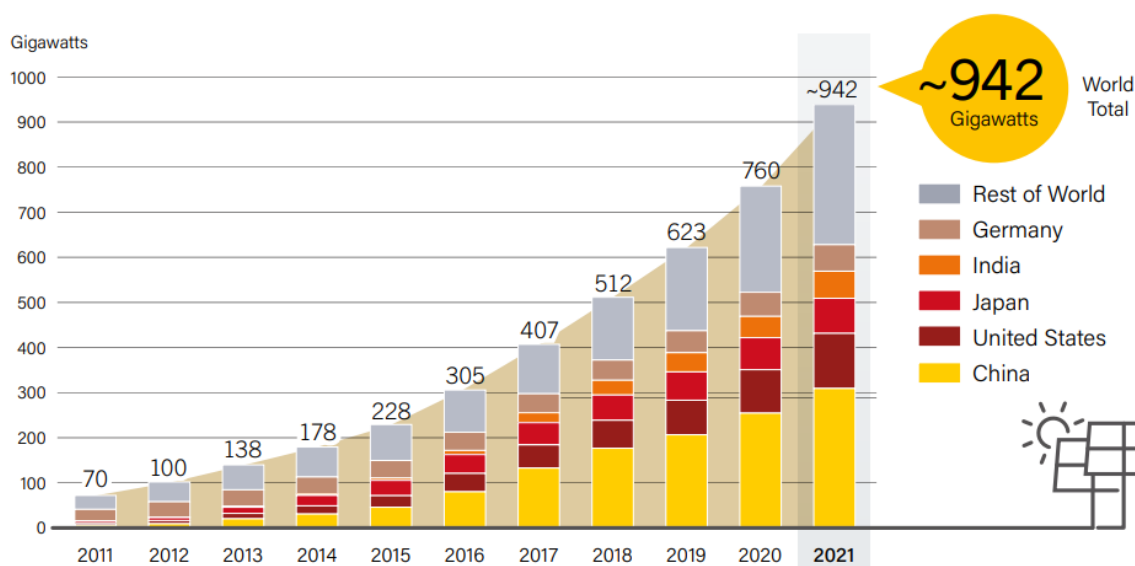
²⁸⁶ IRENA (2017), Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

²⁸⁷ Carvalho.M, Dechezleprêtre.A, Glachant.M, 2017, « Understanding the dynamics of global value chains for solar photovoltaic technologies », WIPO 'World Intellectual Property Organization' Economic Research Working Paper, n° 40, November, 2017.

²⁸⁸ Avec un ordre descendant

²⁸⁹ Ibid.Op. Cit.p124.

Figure n°28 : Évolution du marché mondial du solaire PV, (2011-2021)



Source : REN21, (2022, p 127)²⁹⁰.

Cette lecture fait ressortir la forte dominance du marché mondial du PV par les pays développés et les pays émergents (Chine et Inde). Néanmoins, cette dominance peut affecter d'autres marchés notamment ceux des pays en voie de développement. La recherche des avantages comparatifs pour la réduction de coûts par l'existence d'un potentiel naturel et des faibles coûts de main d'œuvre dans les pays en voie de développement l'explique en grande partie, ce qui permettra un transfert des technologies en question. La stratégie de la Chine qui lui a assuré une mutation très importante démontre d'ailleurs parfaitement cette possibilité.

Il est toutefois exigé de ces pays d'assurer, comme nous l'avons souligné dans les chapitres précédents, un système d'innovation appuyé sur des cadres réglementaires et institutionnels favorables permettant l'amélioration des capacités d'apprentissage des firmes locales nécessaires afin de les encourager à adopter et à s'adapter aux nouvelles technologies.

Cette problématique a fait l'objet de l'étude de Jouvét et Schumacher, (2012)²⁹¹ et dont l'objectif premier était de démontrer l'impact des capacités d'apprentissage des firmes locales sur la réduction du coût des énergies renouvelables dans les pays en voie de développement.

Pour ces auteurs, le coût représente l'élément principal affectant les décisions vers les technologies renouvelables et solaire PV plus particulièrement. Ainsi, ils démontrent à travers

²⁹⁰ Ibid.Op. Cit.p124.

²⁹¹ Jouvét.PA, Schumacher.I, (2012), "Learning by doing and the cost of a backstop for energy transition and sustainability", Ecological Economics,73 (2012) PP 122-132.

leur étude que le retard que les pays en voie de développement enregistrent pour investir dans les nouvelles installations peut être réduit, si les capacités d'apprentissage des firmes sont augmentées. Ils évoquent ainsi la notion du « *learning by doing* » qui avec le temps, permettra aux firmes de réduire considérablement le coût de production en augmentant l'utilisation de cette nouvelle technologie.

Cet apport est encore plus vrai avec la présence du taux d'apprentissage le plus important pour les cellules monocristallines avoisinant les 28,5 %, comme nous l'avons évoqué dans les points précédents. Cela signifie encore une fois qu'à chaque doublement des installations, et avec l'augmentation de l'utilisation de la technologie en question, le coût baisse de 28,5 % en moyenne. Encore faudra-t-il que ces pays alignent leur stratégie sur une seule source renouvelable au détriment de l'augmentation des nouvelles installations en énergie fossile. Ceci représente un réel défi pour les pays producteurs d'énergies fossiles comme l'Algérie.

Par ailleurs, parler de bâtir un système d'innovation pour certains pays en voie de développement fait interroger certains auteurs sur les priorités qu'ils devraient gérer en premier lieu avant un système d'innovation, une notion qu'ils qualifient de « luxe » en face des problèmes rencontrés de pauvreté, de sécurité alimentaire, d'endettement extérieur et d'instabilité politique. Aussi, évoquer l'amélioration des capacités d'apprentissage des firmes les pousse à s'interroger d'abord sur la construction de compétences au sein du système. Chaminade et al, (2009)²⁹².

Ces fortes différences de visions entre les pays du monde sont bel et bien réelles et présentent dans la plupart des travaux et rapports traitant la problématique de la transition énergétique mondiale, les amenant d'ailleurs à remettre sur la table la problématique de la coopération internationale afin d'allouer des fonds pour aider ces pays à rattraper le retard.

De notre côté, nous soutenons l'idée selon laquelle, les problèmes primaires que connaissent plusieurs pays notamment les pays africains sont d'origines politiques et non économiques. Ainsi, une stabilité politique figurée à travers une indépendance dans les décisions économiques ne peut que garantir une amélioration économique garantissant petit à petit une amélioration du niveau de vie de la population. Une telle stabilité, si associée à des visions à long terme pourra tirer profit des éventuelles coopérations internationales qu'elles soient financières, technologiques ou commerciales profitant de leurs énormes potentiels

²⁹² In Casadella.V, UPJV, CRIISEA, Temple.L, Cirad, Umr Innovation (2016), "Politiques d'innovation pour le développement des économies du sud : regards croisés Sénégal/Cameroun", RRI. Forum de l'Innovation VII 9 au 11 juin 2016 Cité de Sciences et de l'Industrie à Paris.

naturels. De plus, ces coopérations devraient s'aligner avec les recommandations des manifestations internationales offrant une aide à ces pays pour les intégrer dans la trajectoire de la transition énergétique et non pas pour créer davantage de relations de dépendances vis-à-vis des pays industrialisés.

3-2-Le marché mondial du solaire thermique à concentration (CSP) :

Le marché mondial solaire thermique à concentration (CSP) de son côté a enregistré une croissance assez modeste cette dernière décennie comparée à celle du solaire PV. Selon les statistiques publiées par IRENA, (2022)²⁹³, un cumul de 6. 387 MW a été enregistré à travers les pays du monde durant l'année 2021 comparé à 2.567 MW en 2012, soit une augmentation de près de 150%. De plus, les capacités installées depuis 2021 ont connu une baisse de près de 2% depuis 2020 (6. 507 MW en 2020 contre 6. 387 MW en 2021).

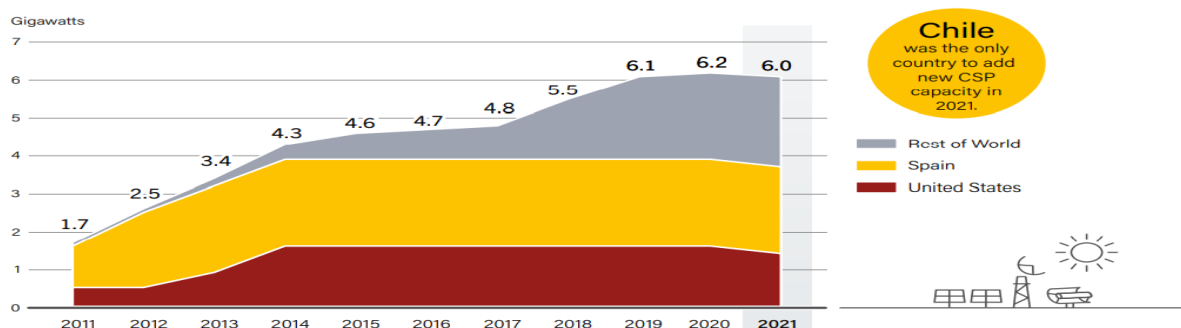
Le même rapport explique cette baisse d'un côté, par l'inactivité dans les pays leaders du marché à savoir l'Espagne et les États Unis et de l'autre côté, par la compétitivité des installations solaires PV.

En parallèle à cela, le marché est dominé par l'Espagne avec un cumul enregistré pour l'année 2021 de 2.304MW ce qui représente une part de plus de 35 % des capacités totales installées dans le monde pour la même année, et plus de 99% du cumul des capacités installées en Europe. Les États Unis arrivent en deuxième position avec un cumul de 1758 MW de capacités installées pour l'année 2021 représentant de ce fait plus de 27 % des capacités globales dans le monde. Le Maroc a enregistré une stagnation en 2021 pour la quatrième année consécutive mais maintient tout de même sa troisième position avec une part de 08 %. Avec cette position, le Maroc devance la Chine, l'Afrique du Sud et l'Inde.

Le poids de chaque pays dans les capacités installées dans le monde est présenté à travers la figure n° 29 ci-dessous :

²⁹³ Ibid.Op. Cit.p126.

Figure n°29 : Parts du marché mondial du solaire thermique à concentration (CSP), (2011-2021)



Source : REN21, (2022, p134)²⁹⁴

Il est à noter par ailleurs que depuis 2015, les nouvelles capacités sont installées dans les pays émergents. Ceci devrait continuer ainsi puisque les installations en cours de construction se situent principalement en Chili, Chine, Emirats Arabes Unies et en Afrique du Sud. REN21, (2022)²⁹⁵

3-3-Analyse comparative entre le solaire PV et le solaire thermique à concentration (CSP) :

Les technologies existantes destinées à capturer l'énergie (source) solaire se divisent en deux grandes catégories :

- les systèmes thermiques à concentration (Concentrated Solar Power CSP) : qui permettent la génération de l'électricité mais aussi de la chaleur et,
- les systèmes photovoltaïques (PV) : qui permettent la génération de l'électricité à l'aide d'ensembles semi-conducteurs. L'ensemble de ces semi-conducteurs, compose une cellule PV. Un panneau (un module) photovoltaïque quant à lui relie (électriquement) plusieurs cellules PV qui sont assemblées ensuite sur une structure en verre. Hansen et Percebois, (2010)²⁹⁶

D'autres composants rentrent dans la composition des systèmes PV. Il s'agit des onduleurs, des contrôleurs de charge, des batteries ainsi que des composants électriques. L'ensemble de ces éléments sont appelés B.O.S « Balance of system »

²⁹⁴ Ibid.Op. Cit.p124.

²⁹⁵ Idem.

²⁹⁶ Ibid.Op. Cit.p122.

À travers ce point, nous présenterons une analyse comparative entre ces deux catégories de technologies. Pour ce faire, nous procéderons dans un premier temps à mettre en avant l'impact des paramètres naturels à savoir : le taux d'irradiation et l'étendue du champ spatial sur les différentes particularités de ces deux sources d'énergie solaire. Nous aborderons ensuite l'analyse de l'évolution des différentes technologies et les coûts de production qui y sont liés. L'objectif recherché par une telle démarche est de se munir des informations nécessaires pour pouvoir positionner puis évaluer les orientations stratégiques de l'Algérie compte tenu des caractéristiques naturelles et financières dont elle dispose.

3-3-1-Les paramètres naturels :

Avant d'entamer la comparaison sur la base des paramètres techniques et économiques, il est important de se focaliser de prime abord sur les paramètres naturels de ces deux sources. En effet, ces derniers peuvent affecter considérablement le coût de production et donc la décision économique.

Les travaux de Griffith-Jones et ali, (2012)²⁹⁷ le confirment : une installation solaire thermique au niveau du grand Sahara produira l'électricité à un coût moindre comparativement à des installations photovoltaïques au niveau des résidences dans une zone urbaine.

Les nouvelles installations en solaire thermique dans les pays comme la Chine, le Maroc et l'Afrique du Sud ont d'ailleurs contribué sensiblement à la baisse du coût de production grâce à l'intensité d'irradiation dans ces régions. En effet, de 2010 à 2018, il a enregistré une baisse de 46%. IRENA, (2019 (b))²⁹⁸. Les études détaillées dans le même rapport font avancer une baisse probable de coût pouvant atteindre 61% de 2018 à 2021 avoisinant de ce fait une baisse de l'ordre de 27% par an.

L'importance des niveaux d'irradiations impacte significativement le coût du solaire thermique. C'est aussi le cas de l'Espagne pour qui le potentiel naturel a favorisé l'expansion de cette technologie. IRENA, (2018)²⁹⁹.

²⁹⁷ Griffith-Jones.S, Ocampo.J.A, Spratt.S, 2012 « financing renewable energy in developing countries: mechanisms and responsibilities », European report on development .

²⁹⁸ Ibid.Op. Cit.p131.

²⁹⁹ IRENA (2018) Renewable Power Generation Costs in 2017, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Chapitre 3 Évolution des systèmes d'innovations technologiques énergétiques mondiaux

3-3-2-Les paramètres techniques et économiques :

Tableau n° 05 : Comparaison technico- économique entre les technologies solaires thermiques à concentration CSP et solaire photovoltaïques PV

Paramètres de comparaison	Technologies solaires thermiques à concentration CSP	Technologies solaires photovoltaïque PV
Principe de fonctionnement	Conversion de la chaleur par le biais de capteurs qui permettent de concentrer une grande surface d'énergie solaire. Cette chaleur est soit utilisée comme telle, soit reconduite à travers une turbine pour générer de l'électricité	Conversion des flux solaires (rayons) en énergie électrique grâce à l'effet photovoltaïque. Les modules rassemblés sur des panneaux capturent les flux et le transforment en courant continu.
Types d'installation	Les centraux miroirs de Fresnel reflector Centrales à capteurs paraboliques Les tours solaires Centrales à capteurs cylindro-paraboliques (la plus utilisées)	Installations en toitures plates Installations en toitures inclinées Installations en façade
Efficacité	Offre des avantages comparatifs en grandes et en petites installations Entre 10% et 18% de rendement électrique Entre 24 % et 64% de rendement thermique	Seule une application à grande échelle peut offrir un avantage concurrentiel Entre 30% et 60 % de rendement thermique ³⁰⁰
Processus de stockage	Le système de stockage est intégré	Nécessite le recours à un système de stockage « batteries lithium-ion »
Durée de vie	25 à 30 ans pour l'installation 10 ans pour le système de stockage intégré (Système de sel fondu)	25 à 30 ans pour l'installation 05 à 07 ans pour les batteries
Intermittence	Possibilité de générer l'électricité même en temps nuageux, mais aussi la nuit avec le système de stockage intégré. La capacité de stockage augmente avec la taille des installations. Un stockage de 6h à 9h	Sans le recours aux batteries, les installations fonctionnent uniquement les jours ensoleillés et l'été
Coût de production	2018 : 0,185 £/KWH ³⁰¹ 2030 : 0,078 – 0,091 \$/KWH ³⁰²	2018 : 0,085 \$/KWH 2030 : 0,042 \$/KWH

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir de : confédération suisse (2015), IRENA (2019) (b), Zhao et al (2018.)

³⁰⁰ Confédération suisse, 2015, « Comparaison de technologie : chaleur solaire et photovoltaïque », rapport du conseil fédéral, 25 Février 2015.

³⁰¹ Ibid.Op. Cit.p131.

³⁰² Zhao,L, Wang,W, Zhu,L, Liu,Y, 2018, « Economic analysis of solar energy development in north Africa », Global Energy Interconnection, Vol 1, Issue 1, January 2018, pages 53-62.

Il est à préciser que les technologies solaires thermiques à concentration CSP sont différentes des technologies solaires thermiques simples. Ces dernières sont centrées uniquement sur la génération de la chaleur (pour le chauffage, chauffe-eau, cuisson ou séchage). À la différence de celles-ci, les technologies CSP permettent de générer et la chaleur et l'électricité. Ceci, avec le stockage intégré au système, font augmenter l'intérêt technique et économique relatif à ces technologies.

D'un point de vue technique, et en comparant les qualités énergétiques des deux sources (électricité et chaleur) en termes de rendements techniques, il ressort que les technologies solaires thermiques présentent un avantage non négligeable relatif à leurs capacités à générer de l'électricité même en l'absence de soleil puisque la chaleur est la source d'énergie nécessaire et non les rayons solaires comme c'est le cas pour les technologies solaires PV.

Les paramètres de comparaison économiques font néanmoins ressortir de leur côté un coût de production moins important pour les technologies solaires PV. Plus important à cela, l'écart des coûts entre les deux technologies reste notable même à l'horizon 2030. Ces prévisions orientent les stratégies des investisseurs privés et les décideurs gouvernementaux sur les instruments à adopter.

Après cette analyse comparative, il ressort que les deux types de technologies offrent des avantages mais aussi des inconvénients. Le choix est fonction de nombreux paramètres : comme les conditions d'application ainsi que les caractéristiques naturelles de la région en question.

Par ailleurs, de nombreuses études traitent la problématique des combinaisons entre les sources renouvelables avec les sources fossiles comme gaz naturel / CSP, mais aussi entre deux sources renouvelables (PV à concentration / CSP). L'objectif est de tenter de tirer les avantages de chaque source, assurer une augmentation du rendement associée à une permanence de l'électricité. Han et al, (2015)³⁰³. Ces systèmes hybrides prennent naturellement en considération les différences dans les paramètres naturels des régions d'un côté, mais aussi et surtout, le degré d'accès à la technologie en question.

Ceci nous renvoie au cas algérien, où la stratégie adoptée s'appuie sur les avantages compétitifs dont profitent les technologies solaires PV dans les pays industrialisés. C'est dans ce sens, que les prochains points traités dans notre recherche traiteront d'une manière ciblée le

³⁰³ Han.X, C.Xu, X.Ju, Du.X, Yang.Y, 2015, « Energy analysis of a hybrid solar concentrating photovoltaic/ concentrating solar power (CPV/CSP) system », *Engineering Sciences*, (2015) 60(4):460–469.

solaire PV. D'autant plus que l'objectif premier de notre travail est d'évaluer le programme national en énergies renouvelables plaçant le PV en première place avec une part majoritaire.

4-Évolution de la chaîne de valeur internationale des technologies solaires PV :

L'évolution rapide des installations solaires photovoltaïques dans les nombreux pays du monde s'explique comme nous l'avons présenté plus haut par l'émergence des technologies qui y sont liées. La présentation des conditions d'industrialisation de ces technologies fera l'objet de ce présent point. Pour ce faire, nous illustrons la chaîne de valeurs de ces technologies avec l'ensemble de ses composants. Ceci pour :

- mettre en avant les niveaux de progrès technologique pour les différentes composantes de cette chaîne,
- chercher le niveau de compétences nécessaires à chaque phase de cette chaîne,
- mais aussi connaître le degré de compétitivité par segment.

L'idée derrière cette illustration est de pouvoir positionner et évaluer la stratégie d'industrialisation de l'Algérie autour de ces technologies, et ce, compte tenu des conditions qu'elle présente tels que :

- le niveau de main d'œuvre,
- le niveau de savoir-faire,
- les efforts en R&D dans les disciplines qui y sont relatives.

Ceci sera nécessaire pour tenter d'identifier les avantages concurrentiels pouvant être capitalisés par l'économie algérienne tout en tenant compte de ses conditions économiques et financières.

De plus, nous nous intéresserons à la vision spatiale de cette chaîne de valeur, en faisant ressortir les collaborations internationales possibles qui seront le plus adaptées à l'économie algérienne. Il est essentiel toutefois de traiter dans une première étape des paramètres techniques et économiques usités par ces technologies afin d'en proposer une analyse plus ciblée.

Pour Carvalho et al, (2017)³⁰⁴, les technologies solaires photovoltaïques se divisent en quatre (04) familles. Le tableau n° 06 ci-dessous résume et compare les paramètres technico-économiques les plus importants à notre sens :

³⁰⁴ Ibid.Op. Cit.p133

Tableau n° 06 : Familles des technologies solaires photovoltaïques, (2019)

Groupes de technologies	Les modules à base de plaquettes en silicium cristallin C-Si	Les modules à couches fines (Thin-film) TF	Les panneaux PV à concentration	Les modules à couches fines organiques
Processus technique	C'est la forme classique des modules PV. Les plaquettes de silicium sont assemblées en modules et les modules en panneaux. Elles permettent de transformer les rayons du soleil en courant continu.	Des couches très fines de matériaux semi-conducteurs déposées sur un matériau de support peu cher (verre, acier inoxydable, plastique)	Un système de suivi du soleil est intégré pour garder la lumière concentrée sur les cellules PV	Les modules sont composés de cellules utilisant des composés organométalliques
Types	>A partir des cellules monocristallines >A partir des cellules multi cristallines	>Amorphe (a-Si) > Couches fines de Silicium à jonctions multiples (a-si / μ c- Si) > Telluride de cadmium (CdTe) > Cuivre-Indium- diséléniure (CIS) > Cuivre- Indium- galium-disé (CIGS)	> Cellules à concentration	> Cellules à colorant (DSC) > Cellules à polymères > Cellules à pérovskites
Efficacité des modules	16% à 25% pour les cellules monocristallines 14% à 18% pour les cellules multi cristallines. AIE, (2018) ³⁰⁵	21% en laboratoire pour le Telluride de cadmium (CdTe). AIE, (2018) ³⁰⁶	Efficacité importante de 38% et plus. AIE, (2018) ³⁰⁷	27,3 % en laboratoire pour les cellules solaires Perovskites
Coûts de production	0,37 \$/W pour 2018. Il a enregistré une baisse de 76% depuis 2010 ³⁰⁸ pour les cellules à base de monocristallines.	Moins chers à produire que les cellules monocristallines. AIE, (2018) ³⁰⁹	Coût très important. Les deux types de technologies sont encore en phase de développement et démonstration	
Rapport rendement et niveau de la température	Le rendement diminue avec les températures élevées	Le rendement est plus faible que les cellules cristallines mais ne diminue pas beaucoup avec l'augmentation de la chaleur	NC	
Parts du marché mondial	90 % du marché mondial	10 % du marché mondial	Non encore mises sur le marché	

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir de : IEA (2018), Woodhouse et al (2019).

³⁰⁵ IEA, 2018, « Trends 2018 in photovoltaic application: survey report of selected IEA countries between 1992 and 2017 », Report IEA PVPS T1-34:2018.

³⁰⁶ Ibid.

³⁰⁷ Ibid.

³⁰⁸ Woodhouse, Michael. Brittany Smith, Ashwin Ramdas, and Robert Margolis. 2019. Crystalline Silicon Photovoltaic Module Manufacturing Costs and Sustainable Pricing: 1H 2018 Benchmark and Cost Reduction Roadmap. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72134.pdf>

³⁰⁹ Ibid.

Chapitre 3 Évolution des systèmes d'innovations technologiques énergétiques mondiaux

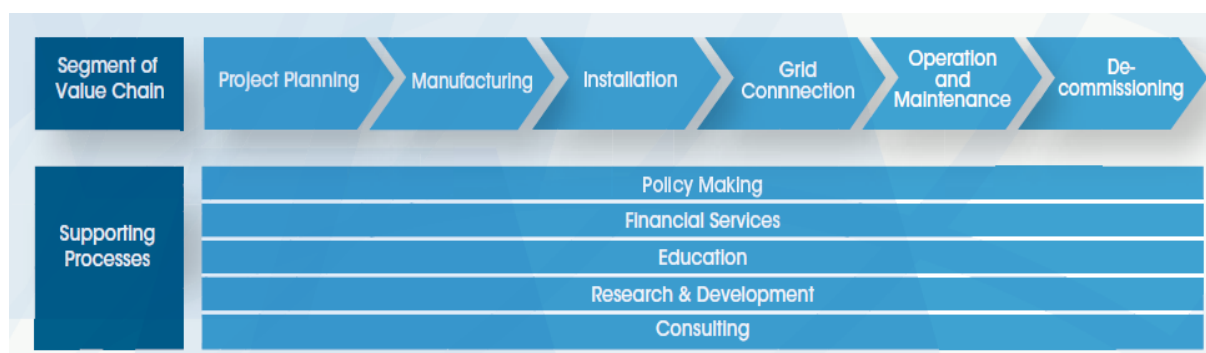
Ainsi qu'il est précisé sur le tableau n° 06 précédent, les technologies cristallines représentent la part la plus importante du marché mondial avec plus de 90%³¹⁰. De plus, les études traitant les perspectives d'utilisation des technologies cristallines avancent une croissance des parts de marché de 7% durant la période 2020 à 2027³¹¹.

Cette évolution importante de ce type de technologie empêche l'émergence des nouvelles technologies. Yu, (2016)³¹². C'est dans ce sens, que nous nous focaliserons davantage sur cette catégorie de technologies pour analyser l'évolution de la chaîne de valeur internationale.

D'une manière générale, sur toutes les chaînes de valeur, deux types d'activités peuvent être relevés :

- les activités principales (en amont) qui concernent la planification du projet, la fabrication des différents composants,
- les activités de soutien (en aval) qui concernent la construction, l'installation et la connexion au réseau mais aussi l'ensemble des activités opérationnelles, de maintenance et de recyclage.

Figure n° 30 : Les segments de la chaîne de valeur des énergies renouvelables



Source : IRENA, (2014, P11)³¹³

En parallèle à ces activités, nous retrouvons les activités de support, comme les instruments publics, les incitations financières, la recherche et développement fondamentaux etc.

³¹⁰ [Crystalline Silicon PV Market Size, Industry Analysis & Forecast by 2022 \(alliedmarketresearch.com\)](https://www.alliedmarketresearch.com/crystalline-silicon-pv-market-size) Consulté le 14/09/2022

³¹¹ [Marché des cellules solaires en silicium cristallin \(C-Si\) | Facteurs de croissance du secteur, types de plates-formes et aperçu géographique – Jeunes Express](#), consulté le 17/09/202.

³¹² Yu.Z, Lazonick.W, Sun.y, 2016, « China as an innovation nation », Oxford University press, United Kingdom. 2016

³¹³ IRENA, (2014), « The socio-economic benefits of solar and wind energy », International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Chapitre 3 Évolution des systèmes d'innovations technologiques énergétiques mondiaux

Pour ce qui du cas des technologies solaires PV à base de silicium monocristalline, la chaîne de valeur peut se diviser en trois (03) phases : en amont « Upstream », à mi-chemin « Midstream » et en aval « Downstream ». Ceci est illustré en détail dans le tableau n° 07.

Les informations sur le tableau n° 07 de la page suivante font ressortir que malgré une indisponibilité d'informations récentes, on assiste à une grande mutation dans la structure du marché mondial de l'offre des technologies solaires PV. Nous observons en effet une forte émergence de l'ensemble des phases « upstream » et « midstream » du processus dans les pays asiatiques en l'occurrence la Chine puis Taïwan suivi de l'Inde. Cette forte progression d'un côté, montre de l'autre côté, une importante baisse pour les pays de d'Europe, des États Unis ainsi que du Japon.

Aussi, la répartition du coût de production laisse apparaître des coûts plus importants lors des deux premières phases « upstream » et « midstream » estimés à 60% du coût total, comparé à 40% pour la troisième phase « downstream ».

Par ailleurs, l'augmentation importante des installations solaires PV est justifiée par l'augmentation de la demande. En effet, l'inscription de nombreux pays dans la trajectoire de la transition énergétique et le recours de ces pays aux instruments publics comme les F.I.T (Feed In Tariffs) a contribué significativement à une telle expansion. Pour Carvalho et al, (2017)³¹⁴ et pour l'année 2015 près de 65% du marché PV ont été financés par cette formule. Néanmoins, de nombreux pays se sont vus contraints de s'orienter vers d'autres instruments d'incitation.

Ceci sera détaillé dans la prochaine section du présent chapitre.

³¹⁴ Ibid.Op. Cit.p133

Tableau n° 07 : Chaîne de valeur internationale des technologies solaires PV (à base de silicium monocristalline), (2004-2018)

Phases de la chaîne de valeur	« Upstream »	« Midstream »	« Downstream »																																																																
Processus de fabrication	Purification du silicium Fabrication des lingots Fabrication des plaquettes	Fabrication des cellules Assemblage des modules Fabrication des équipements auxiliaires (B.O.S)	Installation Génération électrique et connexion au réseau Maintenance (nettoyage, remplacement des batteries, des onduleurs ...) Recyclage des équipements																																																																
Niveau de la technologie utilisée	Élevé	Moyen	Faible																																																																
Ventilation des coûts³¹⁵	Fabrication des modules : 50 % Onduleurs : 10%		Installation, connexion au réseau et frais de main d'œuvre : 23% Équipements de distribution 17%																																																																
Évolution des parts de marché³¹⁶	<p>Fabrication des lingots :</p> <table border="0"> <tr> <td>2004</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>Europe 65%</td> <td>Chine 81%</td> </tr> <tr> <td>Chine 35%</td> <td>Taiwan 3%</td> </tr> <tr> <td>Taiwan 0%</td> <td>RDM 6%</td> </tr> <tr> <td>R.D.M 0%</td> <td>Europe 5%</td> </tr> </table> <p>Fabrication des plaquettes :</p> <table border="0"> <tr> <td>2005</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>Europe 70%</td> <td>Chine 84%</td> </tr> <tr> <td>R.D.M 16%</td> <td>Europe 6%</td> </tr> <tr> <td>Chine 14 %</td> <td>Taiwan 6%</td> </tr> <tr> <td>Taiwan 0%</td> <td>RDM 4%</td> </tr> </table>	2004	2012	Europe 65%	Chine 81%	Chine 35%	Taiwan 3%	Taiwan 0%	RDM 6%	R.D.M 0%	Europe 5%	2005	2012	Europe 70%	Chine 84%	R.D.M 16%	Europe 6%	Chine 14 %	Taiwan 6%	Taiwan 0%	RDM 4%	<p>Fabrication des cellules :</p> <table border="0"> <tr> <td>2005</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>Japon 53%</td> <td>Chine 66%</td> </tr> <tr> <td>Chine 24%</td> <td>RDM 22%</td> </tr> <tr> <td>R.D.M 20%</td> <td>Allemagne 5%</td> </tr> <tr> <td>Inde 2%</td> <td>Japon 4%</td> </tr> <tr> <td>États Unis 2%</td> <td>Inde 1%</td> </tr> </table> <p>Fabrication des modules :</p> <table border="0"> <tr> <td>2005</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>États Unis 56%</td> <td>Chine 82%</td> </tr> <tr> <td>Chine 30%</td> <td>R.D.M 7%</td> </tr> <tr> <td>Allemagne 7%</td> <td>Allemagne 4%</td> </tr> <tr> <td>Japon 5%</td> <td>États Unis 4%</td> </tr> <tr> <td>R.D.M 2 %</td> <td>Japon 3%</td> </tr> </table>	2005	2012	Japon 53%	Chine 66%	Chine 24%	RDM 22%	R.D.M 20%	Allemagne 5%	Inde 2%	Japon 4%	États Unis 2%	Inde 1%	2005	2012	États Unis 56%	Chine 82%	Chine 30%	R.D.M 7%	Allemagne 7%	Allemagne 4%	Japon 5%	États Unis 4%	R.D.M 2 %	Japon 3%	<p>Capacités installées : Top 05 des pays (Statistiques en ligne de l'IRENA)</p> <p>2005</p> <table border="0"> <tr> <td>Germany</td> <td>2.056 MW</td> </tr> <tr> <td>Japon</td> <td>1.422 MW</td> </tr> <tr> <td>États Unis</td> <td>493 MW</td> </tr> <tr> <td>Chine</td> <td>141,2 MW</td> </tr> <tr> <td>Espagne</td> <td>52 MW</td> </tr> </table> <p>2018</p> <table border="0"> <tr> <td>Chine</td> <td>175.017,864 MW</td> </tr> <tr> <td>Japon</td> <td>55.500 MW</td> </tr> <tr> <td>Etats Unis</td> <td>49.692 MW</td> </tr> <tr> <td>Allemagne</td> <td>45.930 MW</td> </tr> <tr> <td>Inde</td> <td>26.869,080 MW</td> </tr> </table>	Germany	2.056 MW	Japon	1.422 MW	États Unis	493 MW	Chine	141,2 MW	Espagne	52 MW	Chine	175.017,864 MW	Japon	55.500 MW	Etats Unis	49.692 MW	Allemagne	45.930 MW	Inde	26.869,080 MW
2004	2012																																																																		
Europe 65%	Chine 81%																																																																		
Chine 35%	Taiwan 3%																																																																		
Taiwan 0%	RDM 6%																																																																		
R.D.M 0%	Europe 5%																																																																		
2005	2012																																																																		
Europe 70%	Chine 84%																																																																		
R.D.M 16%	Europe 6%																																																																		
Chine 14 %	Taiwan 6%																																																																		
Taiwan 0%	RDM 4%																																																																		
2005	2012																																																																		
Japon 53%	Chine 66%																																																																		
Chine 24%	RDM 22%																																																																		
R.D.M 20%	Allemagne 5%																																																																		
Inde 2%	Japon 4%																																																																		
États Unis 2%	Inde 1%																																																																		
2005	2012																																																																		
États Unis 56%	Chine 82%																																																																		
Chine 30%	R.D.M 7%																																																																		
Allemagne 7%	Allemagne 4%																																																																		
Japon 5%	États Unis 4%																																																																		
R.D.M 2 %	Japon 3%																																																																		
Germany	2.056 MW																																																																		
Japon	1.422 MW																																																																		
États Unis	493 MW																																																																		
Chine	141,2 MW																																																																		
Espagne	52 MW																																																																		
Chine	175.017,864 MW																																																																		
Japon	55.500 MW																																																																		
Etats Unis	49.692 MW																																																																		
Allemagne	45.930 MW																																																																		
Inde	26.869,080 MW																																																																		

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir de : Zhao et al (2018), Carvalho et al (2017).

³¹⁵ Zhao.L, Wang.W, Zhu.L, Liu.Y, 2018, « Economic analysis of solar energy development in north Africa », Global Energy Interconnection, Vol 1, Issue 1, January 2018, pages 53-62.

³¹⁶ Carvalho.M, Dechezleprêtre.A, Glachant.M, 2017, « Understanding the dynamics of global value chains for solar photovoltaic technologies », WIPO 'World Intellectual Property Organization' Economic Research Working Paper, n° 40, November, 2017.

Section 02 : Politiques d'innovation technologique pour la transition énergétique dans le monde

Lors de la mise en place des politiques et programmes publics pour l'innovation technologique énergétique, la prise en considération de la connaissance est primordiale, car elle est considérée comme la ressource fondamentale dans une économie moderne. Elle représente également le moteur du changement technologique. Lundvall, (1998)³¹⁷.

La nature systémique de l'innovation technologique énergétique renvoie toutefois à la prise en compte de l'ensemble des phases du changement technologique ((R&D, formation du marché et diffusion), mais aussi à l'ensemble des interactions entre les différents acteurs qu'ils soient institutions privées ou publiques, entreprises productrices, entreprises utilisatrices de l'innovation, ou bien des individus consommateurs. Ainsi, s'appuyer sur un nombre réduit de fonctions (R&D par exemple) demeure inadéquat lors de l'établissement des politiques publiques pour l'innovation technologique.

À travers la présentation des expériences de certains pays, il est question à travers ce point, d'analyser le poids des acteurs, des institutions, mais également des mesures appliquées pour tenter de comprendre les conjonctures pouvant amener à une réussite ou à un échec du système de l'innovation mis en place. Même s'il est difficile de juger la réussite ou l'échec des systèmes d'innovation, une large diffusion des connaissances relatives aux technologies énergétiques accompagnées par des gains couvrant les coûts sur le moyen et le long terme, peut interpréter la réussite d'un système d'innovation. À l'opposé, l'échec d'un système d'innovation peut se traduire par des projets de R&D qui n'arrivent pas à attirer les allocations financières nécessaires pour plus de développement, c'est à dire par une phase de R&D assez développée qui ne trouve pas les allocations pour une production à grande échelle des nouvelles technologies et assurer ainsi leur diffusion sur le marché. De tels scénarios portent l'appellation « la vallée de la mort ». GEA, (2012)³¹⁸.

À travers cette section, nous exposerons les expériences marquantes de certains pays dans leur adoption des politiques d'innovation technologique pour promouvoir le secteur des énergies solaires photovoltaïques, en mettant en avant les conditions de réussite mais aussi de blocages possibles.

³¹⁷ In GEA, 2012: Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future. International Institute for Applied Systems Analysis, Vienna, Austria and Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

³¹⁸ Ibid.Op. Cit.p110.

Car il est à rappeler que, pour assurer des transformations dans le système énergétique, de nouveaux systèmes technologiques avec des fonctions puissantes doivent émerger. Toutefois, et comme présenté dans le chapitre précédent, la combinaison entre ces différentes fonctions peut créer un cercle vicieux et engendrer un blocage dans l'accomplissement des objectifs. Jacobson et Bergek (2004)³¹⁹

1-Analyse des conditions d'évolution du S.I.T.E solaire PV mondial :

Après avoir mis en avant, dans la section précédente, l'évolution du système énergétique mondial et solaire PV plus précisément, nous poussons l'analyse à travers ce point pour tenter de connaître quelles ont été les conditions réunies par les pays leaders du marché, ayant permis la réussite de ces derniers dans l'augmentation de leurs capacités installées. Nous essayerons d'analyser l'évolution des fonctions élémentaires de leurs S.I.T.E solaire.

Ainsi, les données traitées dans ce point concerneront particulièrement les pays suivants : la Chine (comme pays émergent), l'Allemagne (comme pays développé), et le Sénégal (comme pays en voie de développement).

Nous jugeons que l'analyse des stratégies adoptées par ces pays selon leur niveau de développement, nous sera utile par la suite lors de l'analyse du S.I.T.E solaire PV de l'Algérie qui sera détaillée dans le prochain chapitre. Ceci nous permettra de nous munir des expériences passées afin de mieux positionner et évaluer la stratégie adoptée par l'Algérie.

1-1-La mobilisation des ressources financières :

La mobilisation des ressources financières pour les technologies énergétiques représente l'une des conséquences les plus importantes du premier choc pétrolier survenu au début des années 70. La réponse à ce choc était centrée sur l'orientation, par les pays développés, des efforts vers la diversification d'approvisionnement, notamment vers la recherche de nouveaux gisements et aussi vers le développement des technologies nucléaires.

Les fluctuations dans les prix de l'énergie, notamment les carburants fossiles, ont influencé également d'une manière non négligeable d'un côté, le marché des technologies visant une meilleure rationalisation des ressources fossiles mais aussi, les technologies liées aux énergies renouvelables. Sagar et Holdren (2002)³²⁰.

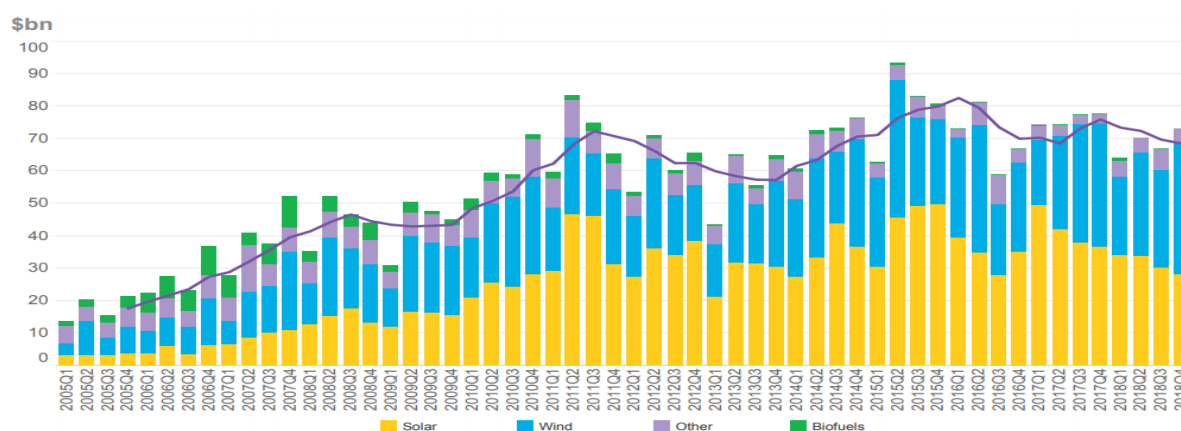
³¹⁹ Ibid.Op. Cit.p85.

³²⁰ Sagar.A.D, Holdren.J.P, 2002, « Assessing the global energy innovation system : some key issues », Energy policy 30, p 465-469.

À partir de 2010, le poids des investissements pour les technologies énergétiques renouvelables a connu une augmentation importante de l'ordre de 55%, impactant des réductions des dépenses de pétrole et de gaz depuis 2014. AIE, (2019)³²¹

Dans le bouquet énergétique renouvelable global, l'énergie solaire détient avec l'énergie éolienne la part majoritaire dans le poids des investissements à travers les nombreux pays du monde. Nous pouvons relier ce paramètre avec la baisse marquante dans le coût de production que connaissent ces deux sources d'énergie depuis une décennie. Ceci est démontré à travers la figure n° 31 ci-dessous :

Figure n° 31 : Évolution des investissements pour les énergies renouvelables entre 2005 et 2018



Source : BNEF, (2019, p 6)³²²

En effet, sur la dernière décennie (2010-2019) et sur un total de 2,7 trillion de \$ plus de 1,3 trillion de \$ ont concerné les installations solaires. BNEF, (2020)³²³

Cette tendance d'évolution des investissements ne suit pas le même chemin pour les pays en voie de développement. Nous constatons en effet, à travers la figure n°32 ci-dessous, une faible part comparée aux pays développés et pays émergents.

³²¹ AIE (2019): « World energy investments ».

³²² BNEF (2019), «Clean energy investments trends 2018 ».

³²³ Bloomberg NEF, (2020), « Global trends in renewable energy investments 2020. https://www.fs-uneep-centre.org/wp-content/uploads/2020/06/GTR_2020.pdf consulté le 15/02/2021

Figure n° 32 : Capacités d'investissement dans le renouvelable : pays développés, Chine et Inde, Autres économies en voie de développement 2019 et taux d'évolution à partir de 2018 en Milliards de \$



*Source : BNEF, 2020*³²⁴

Il est toutefois important de relever le taux d'évolution de ces investissements d'année en année (de 2018 à 2019) plus de 17% en une seule année représentant le taux le plus important. Son évolution n'est pas prête à ralentir selon Cantarero, (2020)³²⁵. L'auteur l'explique par les gigantesques potentiels naturels présents dans ces pays notamment les pays de l'Afrique et les pays du Moyen Orient. Durant d'ailleurs la seule année 2020, le Zimbabwe a augmenté ses volumes d'investissements en énergies renouvelables de 3754 % entre 2019 et 2020 pour atteindre 0.4 milliard de dollars. Une autre évolution importante est enregistrée aux Émiraties Arabes Unis avec plus de 1200% en termes de capacité d'investissement pour atteindre les 4,5 Milliards de dollars en 2020. BNEF, (2020)³²⁶

La même base de données présente des baisses dans le volume des investissements pour l'Afrique du Sud, le Kenya, le Maroc, l'Égypte et la Jordanie. L'analyse de ces évolutions sur une seule année demeure insuffisante mais reflète néanmoins, une orientation croissante vers les nouvelles sources d'énergie.

1-1-1-De l'impact du niveau de développement économique des pays sur le volume des dépenses en R&D :

Évoquer le poids des investissements des pays inscrits dans la trajectoire de la transition énergétique, nous conduit naturellement à évoquer les tendances d'évolution des budgets alloués à la R&D pour les technologies énergétiques renouvelables.

³²⁴Ibid.Op.Cit.p 147.

³²⁵ Cantarero.MMV, (2020), « Review of renewable energy, energy democracy and sustainable development: A roadmap to accelerate the energy transition in developing countries », Energy Research & Social Science, 70 (2020) 101716.

³²⁶ Ibid.Op.Cit.

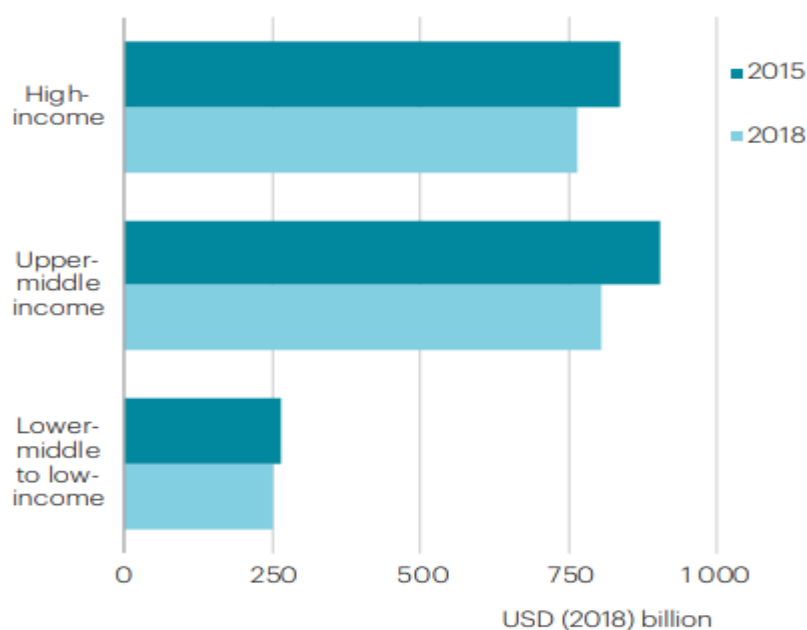
À la fin des années 70 et au début des années 80, les efforts en innovation technologique énergétique se sont fortement remodelés dans de nombreux pays. Ceci s'est traduit par une augmentation importante dans les budgets alloués à la R&D dans le secteur de l'énergie dans la plupart des pays de l'AIE. Sagar et Holdren, (2002)³²⁷.

Depuis, ces efforts n'ont pas cessé de progresser. En effet, la progression se confirme en observant l'évolution de 3% entre 2018 et 2019 des dépenses en R&D et qui ciblent de plus en plus les technologies énergétiques propres permettant à ces dépenses d'atteindre le seuil des 30 milliards de dollars en 2019 ³²⁸.

Évoquer ce point nous oriente inéluctablement à nous interroger sur le degré d'implication des pays dans l'allocation des fonds pour la R&D tenant compte de leurs différents niveaux de développement économique.

Nous tentons d'éclaircir ces différences à travers la figure n° 33 ci-dessous :

Figure n° 33 : Investissements en énergie selon le niveau de revenu des pays, (2015-2018) (en Billion de dollars)



Source : AIE, (2019, p23)³²⁹

La figure fait ressortir le fort lien existant entre le niveau de revenu des pays et les investissements énergétiques. En effet, plus de 40% des investissements en 2018 étaient concentrés au niveau des pays et régions avec un revenu élevé comme l'Europe, le Japon et les États Unis. 45% de ces investissements étaient concentrés sur les pays à revenu moyen

³²⁷ Ibid.Op. Cit.p146.

³²⁸ AIE, [R&D and technology innovation – World Energy Investment 2020 – Analysis - IEA](#), consulté le 14/09/2022

³²⁹ Ibid.Op. Cit.p147.

supérieur comme la Chine, l'Inde, le Moyen Orient, le Brésil, la Russie, et quelques pays de l'Asie. Les 15 % restant concernent les pays à moyen et faible revenu comme les pays de l'Afrique. AIE, (2019)³³⁰. En parallèle à ces données, le dernier rapport REN21, (2022)³³¹ fait ressortir une forte concentration des flux d'investissements pour l'énergie solaire (PV plus particulièrement).

Il est évident que cette divergence dans l'allocation des ressources ne s'aligne pas avec les objectifs mondiaux tracés pour le développement durable surtout avec les divergences existantes dans le potentiel naturel des différentes régions du monde. Notamment en Afrique qui représente aujourd'hui une localité géographique stratégique dans le secteur des énergies renouvelables et surtout solaire. Ainsi, des efforts pour équilibrer les niveaux de financements entre les différentes régions du monde doivent être mis en œuvre, et ce, à travers des politiques de coopération entre les différents pays du monde.

Ceci fera l'objet du dernier point de la présente section.

En revanche, il est important de souligner que l'augmentation des allocations financières enregistrée dans les pays émergents BRICMS³³² (plus particulièrement la Chine) a inversé la tendance depuis l'année 2015. Où pour la première fois, les flux d'investissements pour les énergies renouvelables dans les pays en voie de développement et les pays émergents dépassent ceux des pays développés. L'importance des efforts fournis par ces pays, et notamment la stratégie offensive de la Chine, a réorienté les stratégies mondiales pour la réalisation des objectifs mondiaux en énergies renouvelables. Yu et al, (2016)³³³. Nous présenterons dans les points qui suivent une lecture de la stratégie de la Chine qui lui assure sa position mondiale.

Il est important de souligner que l'analyse basée essentiellement sur les budgets de R&D demeure insuffisante et difficile à cerner et plusieurs raisons peuvent être évoquées.

Premièrement, la recherche dans le secteur de l'énergie rassemble de nombreux domaines comme par exemple : la chimie, la physique, les sciences des matériaux, etc. Ainsi, mesurer les dépenses rentrant directement dans les recherches sur les technologies énergétiques reste une tâche assez difficile.

Deuxièmement, les dépenses en R&D notamment dans les pays industrialisés ne se limitent pas au secteur public. En effet, la R&D dans le secteur industriel privé prend une part de plus en plus importante. Aussi, évaluer la part de leurs efforts en R&D concernant

³³⁰ Ibid.Op. Cit.p147.

³³¹ Ibid.Op. Cit.p124.

³³² Brésil-Russie-Inde-Chine-Mexico-Afrique du sud

³³³ Ibid.Op. Cit.p142

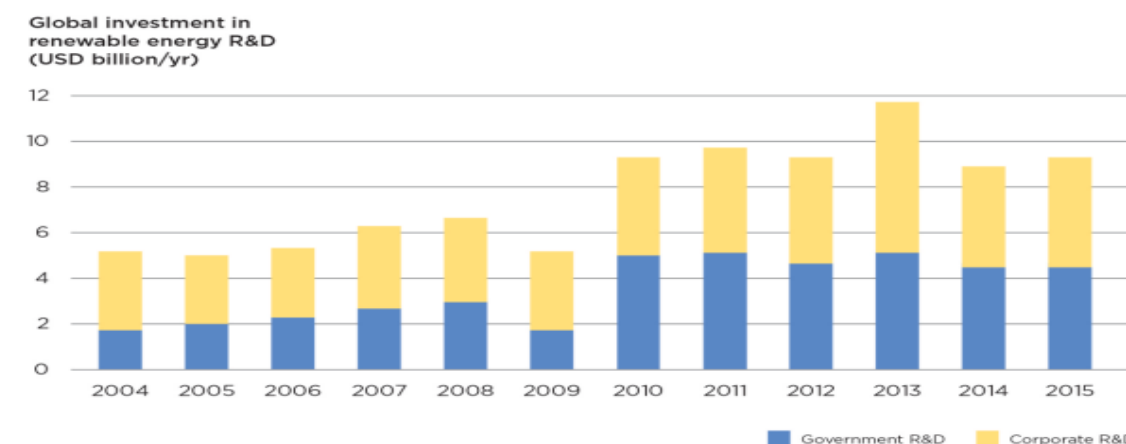
directement l'énergie reste difficile en raison de la diversification des activités de ces firmes mais aussi en raison du manque de transparence dans la communication des informations internes. Ceci nous renvoie au prochain point pour traiter les degrés d'implication des acteurs publics et privés dans l'allocation des ressources financières pour le développement des technologies d'énergies renouvelables.

1-1-2-De la participation des acteurs privés dans le marché solaire PV :

Dans le cadre de l'analyse des allocations financières allouées à la R&D, il est très important d'évoquer l'aspect privé ou public des acteurs et les différents rôles qu'ils peuvent prendre dans la création et/ou l'adoption d'une nouvelle technologie dans un système d'innovation. En effet, comme détaillé dans le premier chapitre, les activités d'innovation nécessitent des allocations financières importantes, associées à des risques tout aussi importants, notamment dans le secteur des énergies renouvelables, ce qui peut dissuader les acteurs privés d'investir dans la R&D.

La figure n° 34 ci-dessous présente l'évolution des investissements mondiaux en R&D pour les énergies renouvelables depuis 2004 tout en mettant en avant le taux de participation des acteurs privés et publics.

Figure n° 34 : Participation des acteurs publics et privés dans le total des investissements en R&D des énergies renouvelables, (2004-2015)



³³⁴Source : IRENA, (2017, p 02)

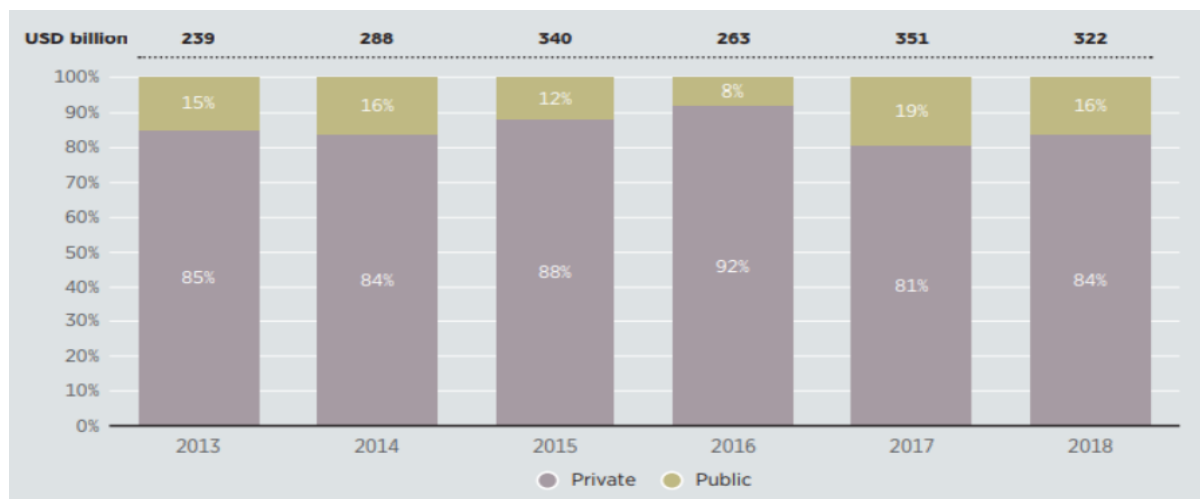
La lecture du graphique fait ressortir une augmentation dans le total des dépenses en R&D à partir de l'année 2010. Cette variation est constatée également dans la part des acteurs privés (présentée en jaune).

³³⁴ Ibid.Op. Cit.p133

Nous constatons par ailleurs que la participation des acteurs privés dans l'investissement global dans les énergies renouvelables est majoritaire et ce depuis 2013. Cela peut refléter l'engagement des acteurs privés dans le développement du secteur mais aussi, des résultats des politiques publiques encourageant les acteurs privés à intégrer le secteur.

Ceci est démontré à travers la figure n° 35 ci-dessous :

Figure n° 35 : Participation des acteurs publics et privés dans le total des investissements en énergies renouvelables, (2013-2018)



Source : IRENA, (2020, p 40)³³⁵

L'analyse sur la base de cette figure demeure, tout de même insuffisante car ne reflète pas les différences d'un pays à l'autre, mais avance plutôt une moyenne. Ainsi, à travers la présentation de certaines expériences internationales dans le développement du secteur des énergies renouvelables, nous tenterons de mettre en avant le rôle des instruments publics ayant contribué à impliquer les acteurs privés dans le financement global. Nous nous intéresserons davantage sur les feed in tariffs, qui représentent un des instruments publics majeurs ayant contribué à augmenter la participation des acteurs privés dans l'émergence des énergies renouvelables.

- La Chine :

La lecture des graphiques présentés dans la section précédente a, dans l'ensemble, fait ressortir la remarquable position ainsi que la rapide expansion de la Chine dans le marché mondial du PV. D'une manière générale, la stratégie globale qui a été adoptée par la Chine,

³³⁵ IRENA and CPI (2020), Global Landscape of Renewable Energy Finance, 2020, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Chapitre 3 Évolution des systèmes d'innovations technologiques énergétiques mondiaux

depuis son entrée dans l'industrie mondiale PV en 2004, était axée sur trois (03) phases. Zhang et He, (2013)³³⁶ :

La première (2002-2006) axée principalement sur l'augmentation des capacités d'offre en équipements à grande échelle pour amener à une réduction des coûts et gagner des parts de marché internationales.

La deuxième (2009-2011) axée sur l'orientation de la demande à travers des instruments qui visent la participation des acteurs privés pour la production de l'électricité solaire.

La troisième phase (après 2011) quant à elle cible principalement les efforts d'innovation (pour la R&D) des différents acteurs dans le but de fournir des équipements plus performants et maintenir ses parts de marché dans le monde.

En parallèle à ceci, la Chine a misé sur l'appui financier durant toutes les phases de sa stratégie globale. Le niveau ainsi que la durée de ces financements sont variables et s'adaptent au niveau de maturité de la technologie d'un côté, mais aussi de l'industrie. Ainsi, au départ, les mesures financières d'accompagnement augmentaient créant un climat d'assurance pour les producteurs privés, par la suite, les apports diminuaient au fur et à mesure de l'application à grande échelle de la technologie, laissant de ce fait la place, petit à petit, au marché.

C'est ce que nous essayerons de démontrer à travers le tableau n° 08 ci-dessous, où nous listons par ordre chronologique l'ensemble des programmes et incitations financières adoptés par la Chine durant les différentes phases.

³³⁶ Zhang.S, He.Y, 2013, « Analysis on the development and policy of solar PV power in China », Renewable and sustainable energy reviews, 21 : 393-401, May 2013.

Tableau n° 08 : Récapitulatif des instruments financiers et programmes adoptés par la Chine durant la période allant de 2002 à 2014

Année	Programme / instrument	Objectifs assignés	Principaux résultats et observations
2002	Programme d'électrification « Brightness program »	Assurer une couverture électrique pour les zones rurales (province ouest de la Chine) à partir du solaire et l'éolien	Le programme a permis de stimuler le développement rapide de l'industrie PV (Fabrication des modules) et l'alimentation hors réseau pour les zones rurales.
2006	Mesure de tarification et partage des coûts de production des ER	-Système similaire aux Feed In Tariffs (obligation pour les entreprises de réseau d'acheter des producteurs d'électricité solaire PV à des prix fixes) -Le coût de production d'ER est de la connexion au réseau sont partagés entre les services publics et les utilisateurs finaux	Les mesures ont permis une augmentation des capacités installées à l'intérieur du pays en élargissant vers les zones connectées au réseau (on grid).
	Fonds spécial pour le développement des ER	-Offrir les financements nécessaires pour les activités de recherche et développement sur les ER	
2009	-Programme de subvention des installations sur les toits	-Une subvention pour financer 50% du coût des installations moins de 50KW avec exigence d'efficacité minimum	10 MW ont été installés durant 2009 suite à ces deux programmes
	Programme de démonstration « Golden Sun »	Subvention des projets de plus de 300 KW sur une durée de 03 ans. Les subventions couvrent 50% du coût total des installations on grid et 70% des installations off grid.	

Source : Construction personnelle de l'auteur³³⁷

³³⁷ Les informations ont été récoltées de plusieurs lectures, principalement de: Zhang.S, He.Y, 2013, « Analysis on the development and policy of solar PV power in China », Renewable and sustainable energy reviews, 21 : 393-401, May 2013.

Tableau n° 08 : Récapitulatif des instruments financiers et programmes adoptés par la Chine durant la période allant de 2002 à 2014 (suite)

Année	Programme / instrument	Objectifs assignés	Principaux résultats et observations
2010	Programme de concession solaire PV (appels d'offre)	Le programme est lancé dans le cadre de la phase d'expérimentation. Les soumissionnaires retenus bénéficient du droit d'exploiter les centrales pour une durée de 25 années.	Le programme a donné naissance à 13 projets avec une capacité globale de 280 MW. Les prix de l'électricité ont connu une baisse très intéressante de plus de 75%.
2011	Le système des Feed In Tariffs	Le prix réduit sur le marché, après le programme de 2010, décourageait les nouveaux entrants. C'est ainsi que cette mesure a vu le jour. Elle offre : -des tarifs plus attractifs que les tarifs des autres programmes -des tarifs plus attractifs pour les zones avec des taux d'irradiation importants.	Le gouvernement a bien précisé au début du programme que les tarifs peuvent être révisés tenant compte des nouvelles conditions du marché.
2012	La gratuité pour les services de connexion au réseau	La mesure cible les producteurs avec des capacités inférieures à 6MW et dont la distance les reliant aux utilisateurs finaux n'est pas très importante.	Cette mesure est destinée à promouvoir le marché domestique.
2014	Abandon de la formule F.I.T pour la remplacer par le système des appels d'offres.		

Source : Construction personnelle de l'auteur

Pour Zhang et He, (2013)³³⁸, la réussite de la Chine était le résultat des nombreux instruments financiers incitatifs dont les F.I.T (Feed In Tariffs)³³⁹. Ceci s'observe effectivement à travers l'augmentation marquante des installations suite au lancement des différentes mesures. Néanmoins, il est à préciser que la maturité du marché et la position internationale confortable ont poussé la Chine à abandonner graduellement la politique des F.I.T, laissant place au système des appels d'offre, et ce, à partir de l'année 2014.

- L'Allemagne :

L'Allemagne est considérée comme étant le premier pays ayant adopté l'instrument des F.I.T pour financer la production des énergies renouvelables. Sa stratégie globale s'est articulée autour de quatre (04) phases : Hoppman et al, (2014)³⁴⁰

La première (1991-2000) axée sur l'établissement d'une assiette financière suffisante pour le développement des installations PV, ceci en ayant recours dans un premier temps aux Feed in Premium puis les F.I.T en second temps. Le lancement de ces instruments a garanti une expansion dans le nombre des capacités installées.

La deuxième (2000-2004) axée sur l'élimination des barrières pour assurer une croissance du marché. Cette phase s'est marquée par la forte concurrence marquée par l'évolution des parts de marché de la Chine.

La troisième (2004-2011) axée sur la réduction de l'impact social. Les mesures adoptées durant cette phase sont une adaptation à la hausse des installations notamment sur toit qui ont impliqué une augmentation des taxes pour les consommateurs finaux puisque la taxation était la principale source de ces financements.

La quatrième et dernière phase (à partir de 2011) a été axée sur la question de l'intégration sur le marché et le réseau électrique. À partir de cette phase, l'intérêt a été fixé sur le management de la demande et la consommation à travers l'intégration des systèmes d'autocontrôle à distance. Dans un souci de proposer une base de comparaison claire, nous présentons l'ensemble des instruments relatifs à ces principales phases à travers le tableau ci-dessous. Nous présenterons par la suite une analyse comparative avec la stratégie chinoise où nous tenterons de relever les points commun et divergences, ainsi que les forces et limites de chacune des expériences.

³³⁸ Ibid.Op. Cit.p153.

³³⁹ Instrument public incitant les firmes à contribuer à la production de l'électricité primaire en leurs assurant une garantie d'achat.

³⁴⁰ Hoppmann.P, Huentelera.J,Girod.B, 2014, « Compulsive policy-making—The evolution of the German feed-intariff system for solar photovoltaic power », Research Policy 43 (2014) 1422–1441

Tableau n° 09 : Récapitulatif des différents instruments financiers et programmes adoptés par l'Allemagne durant la période allant de 1991 à 2011

Année	Programme / instrument	Objectifs assignés	Principaux résultats et observations
1991	The electricity Feed in Law Feed in Prime (FIP)	Accès gratuit au réseau pour toute production d'énergie renouvelable. Versement de primes (variables) aux producteurs qui est fonction de la quantité injectée au réseau. Ces versements étaient assurés par une surtaxe sur les consommateurs.	La mesure a impliqué une charge importante pour les consommateurs, ce qui a conduit à des modifications sur les seuils concernés par les primes en 1998.
2000	The Renewable Energy sources act of 2000 (EEG)	Accès gratuit au réseau avec rachat garanti au prix fixé en fonction de la taille des installations (FIT) pour une durée de 20 ans. Cette charge est aussi assurée par les consommateurs finaux. La subvention a été plafonnée à 350 MW pour les installations en sol et 5 MW pour les installations sur toit.	Le programme est considéré comme l'élément déclencheur du marché PV allemand. AIE, (2018(b)) ³⁴¹ . Les limites pour les subventions ont été jugées comme obstacle au développement de la technologie.
2002-2003	Modifications sur les conditions d'éligibilité pour les FIT	Augmentation du plafond pour les installations au sol à 1000 MW en 2002. Augmentation dans les tarifs d'achat pour les installations sur toit. Annulation totale des plafonds pour les installations sur toit à la fin 2003.	Une augmentation importante dans les capacités installées. Elles sont passées de 435 MW en 2003 à 6 GW à la fin 2008 et 7 GW à la fin 2010.
2009	Amendements sur le programme EEG	Afin de réduire les fonds alloués aux FIT, les installateurs peuvent renoncer aux FIT avec la possibilité de vendre l'électricité directement à des tiers profitant ainsi du surplus de marge.	Malgré les réductions financières, le marché est toujours marqué par une augmentation des capacités installées, et ce, grâce à la baisse du coût des équipements provenant de l'Asie.
2011	Amendements sur le programme EEG	Les amendements adoptés concernent l'exigence pour toutes les installations de se munir d'un système de commande à distance qui sera géré par le gestionnaire de réseau.	

Source : Construction personnelle de l'auteure ³⁴²

³⁴¹ AIE, 2018 (b) « Annual reports 2017 », Photovoltaic power systems technology collaboration programme.

³⁴² Les informations ont été récoltées de plusieurs lectures, principalement de: Hoppmann.P, Huentelera.J,Girod.B, 2014, « Compulsive policy-making—The evolution of the German feed-in tariff system for solar photovoltaic power », Research Policy 43 (2014) 1422–1441

Nous soulignons par ailleurs, que le mécanisme de F.I.T (Feed In Tariffs) s'est vu remplacé graduellement par le système des appels d'offre, et ce, dans le cadre des amendements du programme EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz)³⁴³ effectués pour l'année 2014. Par ailleurs, les F.I.T ont été encore garanties en 2017 pour les installations moyennes de 750 KW. AIE, (2018(b))³⁴⁴

Il ressort de la lecture du tableau, que l'Allemagne n'a pas adopté de nombreux programmes comme c'était le cas pour la Chine, mais plutôt des ajustements (amendements) sur le premier et unique programme (EEG). Ces ajustements ont été opérés pour s'adapter aux changements socio-économiques, notamment le poids sur le budget du consommateur final. Par ailleurs, des auteurs comme Carvalho et al, (2017)³⁴⁵ expliquent la baisse des incitations F.I.T de nombreux pays, comme c'est le cas pour l'Allemagne, comme conséquence à la stratégie financière « offensive » conduite par la Chine.

En résumé, les feed in tariffs se caractérisent par trois (03) éléments qui peuvent affecter leur efficacité Cheng et al, (2017)³⁴⁶:

- le niveau des tarifs,
- le mécanisme de dégression des tarifs dans le temps,
- et la durée des contrats.

Ces éléments doivent s'adapter au degré de maturité de la technologie. Ainsi, les dépenses liées aux premières phases de développement de la technologie comme la recherche et le développement doivent être appuyées par les fonds publics. L'implication des acteurs privés dans le financement doit par contre se développer durant les phases de commercialisation et de diffusion. Suurs et Hekkert, (2009)³⁴⁷. D'ailleurs, c'est ce que nous avons observé après lecture des deux expériences. L'instrument des F.I.T n'a été nécessaire que lors des premières phases du développement de la technologie. Une dégression des tarifs a été systématique lors des phases d'émergence de la technologie sur le marché.

Par contre, le point de différence qui ressort est lié à la question de la source des financements des F.I.T. À l'opposé de la Chine, pour qui ces derniers étaient assurés par les pouvoirs publics, l'Allemagne recourait à la taxation sur les consommateurs finaux pour assurer

³⁴³ Qui signifie loi sur les sources d'énergies renouvelables.

³⁴⁴ Ibid.Op.Cit p157.

³⁴⁵ Ibid.Op. Cit.p133

³⁴⁶ Cheng.L.Y.J, Hai.R, Lin.X, (2017), « Analysis of feed-in tariff policies for solar photovoltaic in China 2011-2016 », Applied Energy, volume 203, 01 October 2017, pp 496-505.

³⁴⁷ In GEA, 2012: Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future. International Institute for Applied Systems Analysis, Vienna, Austria and Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA

les allocations nécessaires. Cette mesure a vite confronté les décideurs économiques à devoir adopter des changements pour alléger la pression sur les consommateurs. Il ressort également qu'il s'agissait d'une réelle contrainte au développement massif sur le marché allemand.

- *Le Sénégal :*

Nous nous intéresserons à présent aux stratégies de financement et de développement des énergies solaires PV adoptées pour les pays en voie de développement et surtout africains qui ont la particularité de disposer de potentiels naturels importants. Nous nous intéresserons plus particulièrement à la lecture de l'expérience du Sénégal.

Le choix du pays a été fait en se basant sur la progression économique prometteuse du pays. D'une manière générale, les principaux atouts du pays se résument dans un potentiel naturel des plus importants de l'Afrique et du monde, ainsi que des indicateurs macroéconomiques qui affichent, ces dernières années, une stabilité macroéconomique et politique. Cette position rend l'économie attractive pour les investisseurs étrangers notamment dans le secteur des énergies solaires PV. Solar Power Europe, (2019)³⁴⁸

La stratégie adoptée par le Sénégal a été axée principalement sur la coopération et le partenariat internationaux. Cette stratégie a contribué au financement mais aussi à l'accompagnement technique et commercial pour les entreprises privées.

Le financement public des différents projets se fait via deux sources : les souscriptions aux obligations émises par le pays depuis 2009, et le régime de taxation qui a connu une réforme en 2013 pour soutenir davantage la croissance économique. Solar Power Europe, (2019)³⁴⁹.

À travers le tableau n°10 ci-dessous, nous listons l'ensemble des mesures et collaborations dans le but de dresser une vue d'ensemble des éléments ayant contribué au développement de ce secteur pour ce pays.

³⁴⁸ Solar Power Europe, 2019, « Senegal: solar investment opportunities, emerging markets task force report », May, 2019.

³⁴⁹ Ibid.

Tableau n° 10 : Récapitulatif des différents instruments et programmes adoptés par le Sénégal durant la période allant de 1998 à 2018

Année	Programme / instrument	Objectifs assignés	Principaux résultats et observations
1998	IPP : Independent power producers	Ouverture du champ de production électrique aux acteurs privés pour alléger le poids sur les réserves publiques	Cette mesure a simplifié la réalisation de nombreux projets
2008	Lettre de politique de développement du secteur de l'énergie (LPDSE)	Une loi qui présente les orientations sur les modalités de production des énergies renouvelables	Lancement des appels d'offre internationaux pour la concession d'électrification rurale pour 25 ans
2013-2015	Programme of business environment and competitiveness reforms (PREAC)	Amélioration du climat des affaires pour attirer les investisseurs étrangers : Aucun capital minimum n'est nécessaire pour les nouvelles activités Suppression des droits de timbres pour les nouvelles activités Allègement du temps nécessaire pour créer une entreprise à 6 jours.	Le classement international du pays dans le rapport du doing business est passé de la 153 ^{ème} place en 2016 à la 141 ^{ème} place en 2019.
2014	Lancement du programme Plan Sénégal Émergent (PSE) pour 2035	Amélioration de l'accès à l'électricité surtout pour les zones rurales Recourir aux énergies renouvelables pour réduire les importations en énergie fossile	
2015-2017	Le Plan Action National pour les Énergies Renouvelables PANER	Recourir majoritairement aux fonds privés issus des collaborations internationales : Projet 01 : En Octobre 2016 financé par Green Wish Partners (France) et des investisseurs sénégalais. Projet 02 : En Novembre 2016 financé par SENELEC ³⁵⁰ et un groupe d'investisseurs italiens. Projet 03 : En Juin 2017 financé par le Fonds souverain Sénégalais, une filiale ENGIE (France) et PROPARCO (agence Française de développement) Projet 04 : En Janvier 2018 : financé par Solaire Direct (France), et Eiffage (groupe de construction français)	La production électrique solaire PV est passée de 2MW en 2015 à 102 MW en 2017.

Source : Construction personnelle de l'auteure ³⁵¹

³⁵⁰ La société nationale sénégalaise d'Électricité

³⁵¹ Les informations ont été récoltées de plusieurs lectures, principalement de : Solar Power Europe, 2019, « Senegal : solar investment opportunities, emerging markets task force report », May, 2019.

Chapitre 3 Évolution des systèmes d'innovations technologiques énergétiques mondiaux

Les instruments financiers adoptés par le Sénégal ne correspondent pas à ceux adoptés par la Chine et l'Allemagne. Le niveau de développement économique ressort comme le principal motif de la nature de ces orientations.

Par ailleurs, les appuis financiers issus des coopérations internationales ne sont pas destinés à financer la recherche et le développement des technologies solaires mais plutôt à financer les installations ainsi que l'accompagnement commercial des entreprises pour les aider à développer des modèles commerciaux et renforcer leurs positions sur le marché.

L'ensemble de ces mesures ne pouvait être efficace sans un accompagnement institutionnel et un climat des affaires favorables. Ceci a été l'axe d'effort du Sénégal qui se traduit à travers d'un côté, l'ouverture du champ de production électrique à la concurrence internationale et d'un autre côté l'amélioration des conditions d'implémentation des nouvelles entreprises sur le marché. Encore faut-il traiter les conditions de ces collaborations pour le transfert du savoir-faire vers ces pays, ce qui peut les aider à assurer l'émergence de ces technologies. L'expérience du Sénégal ne nous fait qu'appuyer davantage sur l'importance du climat d'affaire et la stabilité du marché pour faire émerger les nouvelles technologies énergétiques en Algérie. Cela même avec des conditions financières contraignantes.

Au-delà même des divergences des pays dans les stratégies d'allocations financières adoptées et des instruments publics sélectionnés. Ces dernières ont contribué sensiblement au développement de l'industrie PV mondiale. D'ailleurs, pour la Chine, la stratégie adoptée par le pays a permis l'installation d'un climat concurrentiel sur le marché ne laissant survivre que les plus solides, ceci se traduisant alors par la présence d'un nombre réduit de firmes avec des parts importantes sur le marché mondial du PV. Pour certains auteurs, ceci est synonyme de maturité de l'industrie PV chinoise. Ce qui a donné naissance également à des clusters de poids notamment celui de « The Yangtze River Delta Solar manufacturing cluster ». Yu et al, (2016)³⁵².

En parallèle à ces faits, de multiples efforts ont été déployés à travers de nombreux pays du monde pour l'augmentation du stock de connaissances liées aux technologies solaires PV. Par ces mesures, l'objectif ultime étant d'arriver à réduire le coût de production ainsi que de stockage de l'électricité. L'analyse de ces politiques fera l'objet du prochain point.

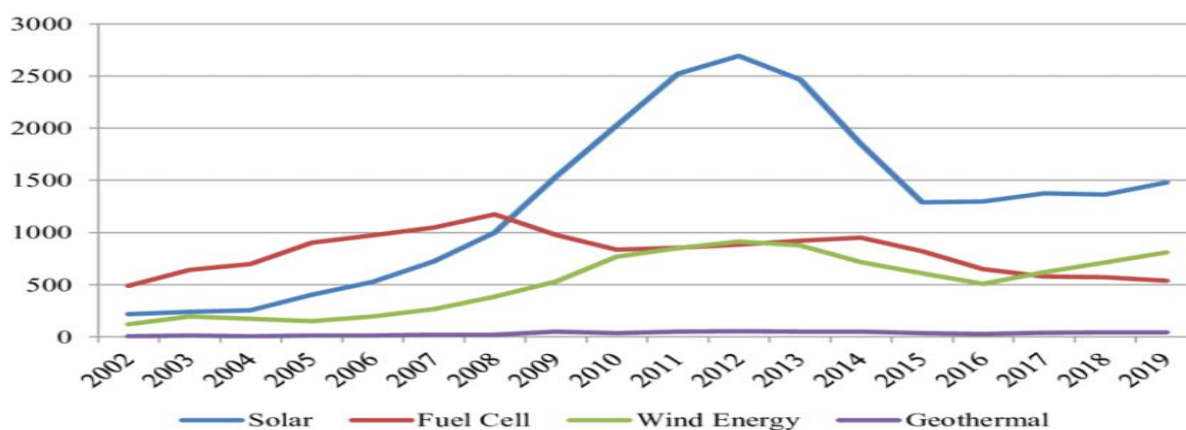
³⁵² Ibid.Op. Cit.p142

1-2-Le développement de la connaissance :

Le poids de la connaissance créée dans un système d'innovation est mesuré par l'évolution d'un certain nombre d'indicateurs : les brevets, les publications scientifiques ainsi que le nombre des projets de recherche. Néanmoins, les brevets détiennent une part plus importante car considérés comme indicateur du développement de la connaissance et du marché à la fois.³⁵³

Les technologies énergétiques renouvelables brevetées à travers le monde ont connu une hausse significative depuis les années 90. IRENA, (2013)³⁵⁴. Cette évolution reflète les mutations très importantes qu'a connues le secteur durant la dernière décennie conséquences des multiples programmes et instruments d'incitation lancés par de nombreux gouvernements.

Figure n°36 : Évolution du nombre de brevets par source d'énergie, (2002-2019)



Source : Soboleva et Harashchenko (2020), P26³⁵⁵

Comparé aux autres technologies énergétiques renouvelables et pour la période s'étalant de 2002 à 2019, le nombre de brevets pour les technologies solaires a connu une évolution très marquée. Alors que ce nombre dépassait à peine 200 brevets en 2002 et représentant qu'un peu plus du quart du total des brevets relatifs aux technologies renouvelables, ce dernier a atteint la moitié en 2019 avec 1479 brevets. Même si ce nombre a atteint son summum en 2012, il demeure depuis en tête comparé aux autres sources d'énergies renouvelables³⁵⁶.

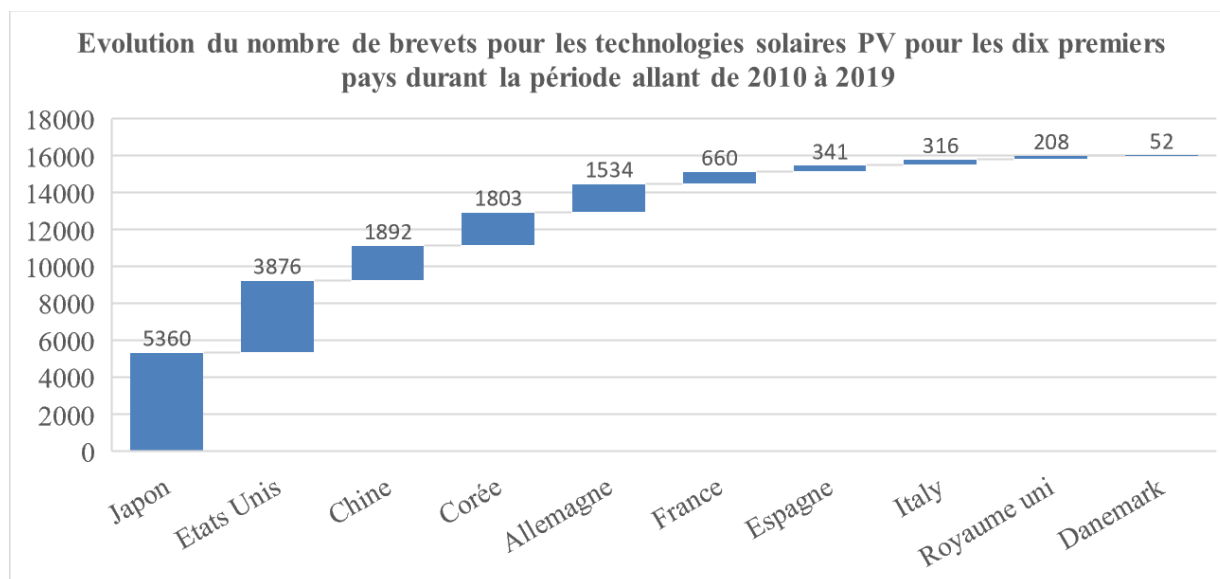
³⁵³ Il est nécessaire de prendre avec prudence cet indicateur, l'indicateur nombre ne pouvant être assimilé à une forme de succès et donc du développement de l'invention sur le marché.

³⁵⁴ IRENA (2013), Intellectual Property Rights: The Role of Patents in Renewable Energy Technology Innovation, June 2013, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

³⁵⁵ Soboleva.T, Harashchenko.N, 2020, « Intellectual property indicators and renewable energy trends », Energy policy Journal, (December 2020), 23(4),17-32.

³⁵⁶ Nurton. J, 2020, [Tendances en matière de brevets dans le secteur des énergies renouvelables \(wipo.int\)](https://www.wipo.int), consulté le 16/09/2022

Figure n° 37 : Évolution du nombre de brevets pour les technologies solaires PV pour les dix premiers pays durant la période allant de 2010 à 2019



Source : Illustration personnelle de l'auteur³⁵⁷

En matière de technologies solaires PV, l'évolution très marquée du nombre de brevets pour la période allant de 2010 à 2019 laisse apparaître en première position le Japon cumulant 5360 brevets, suivis par les États Unis (3876) brevets, la Chine (1892), la Corée du Sud (1803) et l'Allemagne avec 1534 brevets. Pour ce qui est de la France, l'Espagne, l'Italie, le Royaume Uni et le Danemark, ils arrivent en fin de liste avec des nombres de brevets assez réduits comparés aux cinq premiers pays.³⁵⁸ Il est important de mentionner que certains de ces derniers pays occupent les premières places en nombre de brevet pour d'autres technologies renouvelables comme c'est le cas pour le Danemark qui occupe la première place en technologies éoliennes avec plus de 1300 brevets durant la même période.

La position de ces pays s'explique selon les travaux de Sampaio et al, (2018)³⁵⁹ par les efforts publics accentués au cours de cette dernière décennie mais aussi par l'existence au sein de la société d'une culture de breveter les résultats de recherches.

Nous constatons par ailleurs, que ce classement s'accorde parfaitement avec celui du volume des capacités installées (à travers le point 3.1 de la première section du présent chapitre). Nous pouvons déjà faire ressortir le fort impact d'une politique d'innovation sur l'augmentation des installations électriques solaires PV.

³⁵⁷ À partir des données publiées sur : Nurton, J, 2020, [Tendances en matière de brevets dans le secteur des énergies renouvelables \(wipo.int\)](#), consulté le 16/09/2022

³⁵⁸ Selon un ordre décroissant

³⁵⁹ Ibid.

1-2-1-Les retombées des connaissances (*Knowledge spillovers*) :

Les retombées de la connaissance dans un système d'innovation ont fait l'objet de nombreuses études académiques. Ceci reflète leur importance dans la réussite ou l'échec d'un système d'innovation. En effet, la bonne diffusion et utilisation de la connaissance créée entre les acteurs doit être associée à de multiples mécanismes. En même temps, ces mêmes mécanismes incitent également au développement de nouvelles connaissances, assurant ainsi la création d'un cercle vertueux. C'est ce qui a été démontré à travers l'expérience du solaire PV au Japon. Les travaux de Watanabe, (2000)³⁶⁰ démontrent le fort lien existant entre les retombées de la connaissance, les incitations à la R&D des firmes (publiques et privées) et la formation d'un marché de niche.

L'association de l'ensemble de ces mécanismes a permis l'augmentation rapide du stock de connaissances. Ceci a assuré également l'expansion de l'industrie de fabrication des équipements PV conduisant à une réduction du coût de production (économies d'échelles). Cette réduction est le résultat de l'augmentation de l'apprentissage par la pratique « learning by doing » dans ces mêmes industries. Un tel cercle vertueux a garanti le développement du marché du PV dans le pays. C'est ce qui a été également démontré à travers la présentation de l'expérience chinoise.

En parallèle à cette expansion, d'autres marchés sont apparus dont l'activité est indirectement liée à la nouvelle industrie conduisant de ce fait au partage du savoir-faire entre l'ensemble de ces industries. Il est à noter que ces échanges inter-industries peuvent s'étendre au marché international ce qui permettrait aux firmes de renforcer leurs capacités d'apprentissage. Cela représente de nombreux avantages notamment pour les firmes des pays en voie de développement.

2-Comment éviter les blocages dans les S.I.T.E ?

À travers le présent point, nous abordons les mécanismes pouvant créer des blocages dans les technologies des énergies renouvelables, et ce, en nous appuyant sur quelques travaux traitant de cette problématique.

L'objectif recherché par cette démarche est de tenter de mettre en avant l'importance des liens susceptibles d'exister entre les différentes fonctions dans un système d'innovation,

³⁶⁰ Watanabe.C, Wakabayashi.K, Miyazawa.T, 2000, « Industrial dynamism and the creation of a 'virtuous cycle' between R&D, market growth and price reduction: The case of photovoltaic power generation (PV) development in Japan », *Tecchnovation*, 20 (6): 299-312, June 2000.

mais aussi la bonne combinaison, des politiques et mesures devant être appliquées pour sortir de ces blocages.

2-1-La déperdition des connaissances :

Les travaux de Watanabe et al, (2002)³⁶¹ étaient destinés à construire un modèle économique sur le stock de connaissances et les éléments qui contribuent à renforcer ses retombées sur le secteur industriel du PV au Japon. Ces travaux ont fait ressortir un taux de déperdition pour les technologies du solaire estimé à 30% par an. Ce taux représente le niveau d'obsolescence des connaissances relatives aux technologies solaires dans le temps.

L'analyse de ce phénomène avance l'importance et la nécessité de maintenir une recharge continue des connaissances. Mais il fait apparaître aussi l'importance de réduire au maximum le taux de rotation du personnel. En effet, ainsi que nous l'avons précédemment évoqué (chapitre 2, section 1), la technologie peut être codifiée dans des manuels mais elle peut être aussi tacite et être représentée par le savoir-faire des ingénieurs et travailleurs.

De ce fait, le mode de gestion du personnel (recrutement des seniors, sortie en retraite, etc.) adopté par les firmes ainsi que les conditions du marché de travail détiennent une part importante dans ce taux de déperdition.

2-2-Le potentiel naturel :

Le potentiel naturel est un paramètre crucial dans l'émergence des technologies renouvelables et notamment solaires. Des auteurs tels que Watanabe et al, (2000)³⁶², avancent les contraintes liées aux ressources naturelles. Ceci explique le fort intérêt porté sur les pays d'Afrique considérés comme étant les contrées les plus ensoleillées au monde.

Le Japon par exemple qui bien qu'ayant mobilisé d'importants efforts pour le développement des technologies solaires PV, n'a pas permis au pays de se démarquer par rapport à d'autres économies.

2-3-La stabilité des politiques publiques :

Les énergies renouvelables et plus particulièrement solaires sont considérées comme des innovations technologiques radicales, nécessitant ainsi, des changements importants dans les composants du système. Conséquences à cela, adopter des innovations technologies durables prend du temps. GEA (2012)³⁶³

De ce fait, l'adoption ainsi que la stabilité des politiques publiques sur le moyen et le long terme constitue l'un des ajustements qui doivent être appliqués sur les multiples schémas

³⁶¹ In GEA, 2012: Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future. International Institute for Applied Systems Analysis, Vienna, Austria and Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA

³⁶² Ibid.Op. Cit.p164

³⁶³ Ibid.Op. Cit.p110

empruntés à ce jour. Grubler et al, (1999)³⁶⁴. À ceci doivent alors être associés l'implication et l'engagement de l'ensemble des acteurs dans la création, développement et diffusion des nouvelles technologies énergétiques. Ainsi, les économies soucieuses de créer un climat d'émergence pour les nouvelles technologies énergétiques doivent dresser des programmes inscrits sur une vision à long terme.

Par ailleurs, la stabilité des politiques publiques doit viser l'augmentation des efforts de R&D à travers les incitations durables qui peuvent lutter également contre le risque de dépréciation des connaissances, identifié à 10% par an pour l'éolien et de 30% par an pour le solaire photovoltaïque. Grubler, (2012)³⁶⁵

En addition à cela, des modélisations à échelles micro économique et macroéconomique contribueront efficacement à la bonne analyse du processus de changement technologique et des différents mécanismes pouvant y être affectés.

Parallèlement à cela, la nécessité d'annulation de certaines mesures doit être associée à l'instauration de nouvelles dispositions. C'est notamment le cas de la Chine, qui depuis 2018 s'est vue dans l'obligation de réduire le volume des paiements sur les FIT (Feeds In Tariffs) ainsi que la réduction des subventions à accorder. Cette mesure s'est vue remplacée, d'une part, par la formule de mise en enchère, et d'autre part par l'augmentation des installations publiques représentant plus de quatre fois les installations solaires PV du marché mondial.

3-Le poids de l'innovation technologique entre transition énergétique et niveau de développement économique des pays :

Aborder le système énergétique et ses différentes composantes nous conduit à évoquer sa relation avec la notion de l'efficacité énergétique. Le but recherché par l'analyse de l'étendue de cette notion à une échelle macro-économique, est d'arriver à expliquer la forte liaison existante entre la performance technologique et la performance énergétique des pays.

À travers le processus de conversion technologique transformant l'énergie primaire en énergie secondaire et l'énergie secondaire en énergie finale, les efforts technologiques visent principalement l'augmentation des outputs (énergies secondaires et/ou finales) du processus tout en maintenant ou en baissant le niveau des inputs (énergies primaires).

À une échelle plus large et donc au niveau des nations, le ratio de l'efficacité énergétique implique la comparaison entre les inputs qui sont les consommations énergétiques (mesurées

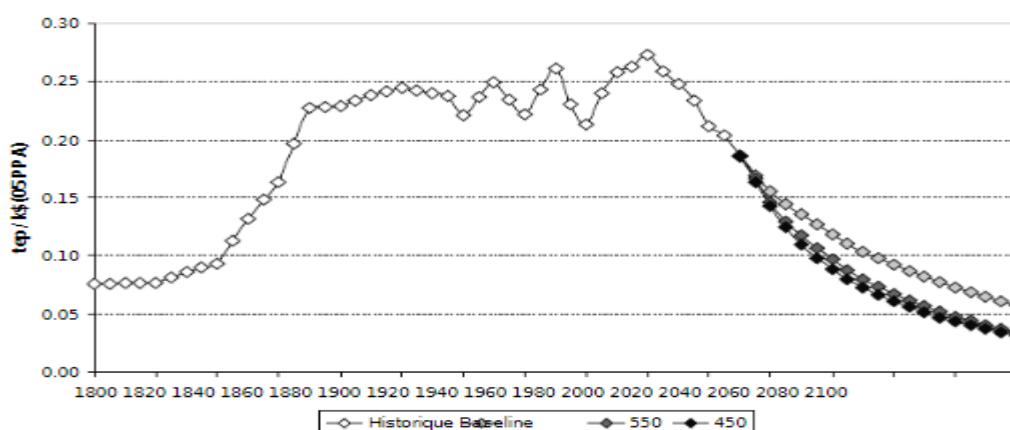
³⁶⁴ Ibid.Op. Cit.p114.

³⁶⁵ Ibid.Op. Cit.p72.

en unité physique M TEP³⁶⁶) de l'ensemble des secteurs d'activité (industries, ménages, transport, etc.) avec les outputs représentés principalement par les niveaux d'activité (PIB) (mesuré en unité monétaire Millions de dollars par exemple). C'est ce qui est nommé « *l'intensité énergétique* » ou « *le contenu énergétique de la production* ». L'existence de ratios différents entre les pays, ou les périodes pour le même pays, s'explique par la variation des quantités nécessaires d'énergie à produire le même dollar de PIB.

L'évolution de cet indicateur dans le monde depuis 1800 est présentée dans la figure n° 38 ci-dessous.

Figure n° 38 : Évolution de l'intensité énergétique mondiale du PIB, (1800-2100)



Source : Criqui et Kitous, (2012, P 15)³⁶⁷

En abscisse, sont représentées les périodes (années) et en ordonnées, il s'agit des intensités énergétiques de ces pays.

Le graphique laisse apparaître principalement quatre (04) phases d'évolution de l'indice d'intensité énergétique :

- a- Avant 1800 :** nous remarquons un faible niveau d'intensité énergétique. Ceci peut s'expliquer par la dominance du secteur agricole ne nécessitant pas une consommation importante en énergie.
- b- Entre 1840 et 1870 :** la forte progression de l'intensité énergétique durant cette période reflète une croissance économique accrue associée à une augmentation de la consommation énergétique. Le résultat s'explique par l'expansion assez rapide du

³⁶⁶ MTEP (Million de Tonne Equivalent Pétrole) est un coefficient de conversion permettant la conversion des unités de mesure de l'ensemble des formes d'énergie (solides, gazeuses, ou liquide) selon leur pouvoir calorifique. Le but par cette conversion est de pouvoir comparer les productions et consommations des différentes formes d'énergie.

³⁶⁷ Criqui.P, Kitous.A, 2012, « 2010-2020 : une décennie décisive pour l'avenir du climat planétaire », Economie appliquée LXV, n° 02, « questions pour Rio+20 », (2012) 47-76.

secteur industriel nécessitant un recours important aux énergies fossiles notamment le charbon.

c- Entre 1870 et 1980 : une stabilisation est enregistrée reflétant l'impact de l'avancement technologique des pays développés permettant l'offre des équipements moins énergivores et donc une réduction de la consommation nationale de ces pays associée à une augmentation du PIB.

d- À partir de 2000 : Cette période est caractérisée par une fluctuation du niveau de l'intensité énergétique marquée par l'émergence de nouvelles économies, et dont la forte croissance a impliqué un recours plus important aux sources d'énergie fossiles.

L'évolution prévue après 2020 laisse apparaître une diminution du ratio. Celle-ci met en avant l'engagement de nombreux pays du monde à recourir aux sources d'énergies renouvelables dans le but d'atténuer la pression sur le climat.

De manière générale, la lecture de la baisse du ratio d'intensité énergétique, démontre que les pays enregistrant une efficacité énergétique affichent en parallèle un accroissement marquant du progrès technologique. C'est ce qui est représenté par un taux d'intensité énergétique en baisse. Autrement dit, les capacités de production augmentent par l'adoption de nouveaux équipements technologiquement plus performants. Ces mêmes performances technologiques permettent une réduction de la consommation énergétique. Ainsi, le ratio consommation énergétique/PIB tend à la baisse avec le temps.

Cette relation entre la croissance économique et les efforts des pays pour l'efficacité énergétique est assez étroite. D'un côté, les niveaux économiques avancés des pays industrialisés, leur assure une facilité pour l'allocation des fonds importants destinés à soutenir des programmes nationaux de R&D nécessaires à la transition énergétique. Et d'un autre côté, de tels efforts, associés à des mécanismes de gestion appropriés, conduisent à leurs tours, à des systèmes technologiques avancés. La mise en place d'un tel cercle vertueux, nécessaire à l'orientation de la trajectoire énergétique des pays n'est pas aussi simple pour les pays en voie de développement. En effet, la courbe de l'intensité énergétique reflète clairement la nécessité pour les pays en pleine croissance économique d'augmenter leur consommation énergétique notamment dans les secteurs clés comme l'industrie lourde (sidérurgie, ciment, aluminium, etc.) considérés comme particulièrement énergivores. À l'opposé, le secteur de services est peu consommateur d'énergie.

Les différences dans les consommations énergétiques entre les branches d'activité font naître les ratios d'intensité énergétique par branche permettant de présenter une analyse plus

ciblée. Ainsi, afin de proposer une analyse encore plus représentative, il est très important de retenir le poids de la catégorie de consommation énergétique dans la consommation globale.

En effet, les structures de consommation énergétique diffèrent d'un pays à l'autre et d'une période à l'autre ce qui dépend d'une part de l'évolution des secteurs industriels et de l'autre du degré de développement des usages domestiques de l'énergie (climatisation pour les habitats, besoins des appareils électroménagers, etc.). Et tout autant de la place du secteur de transport dans la consommation énergétique globale.

Il est à préciser en outre que l'analyse simplifiée de l'indicateur de l'intensité énergétique n'est pas toujours significative et ne permet qu'une analyse partielle de l'efficacité d'un système énergétique mondial. C'est ce qui est démontré par Percebois, (1979)³⁶⁸. En effet, l'auteur met en avant l'existence de deux niveaux d'énergie dont la prise en compte affecte la pertinence de l'analyse de l'intensité énergétique des pays, soit le niveau de l'énergie appelée et le niveau de l'énergie utile.

Par « énergie appelée », l'auteur désigne l'énergie primaire saisie à l'entrée des appareils utilisateurs d'énergie. Il s'agit dans ce cas-là de l'énergie finale mise à la disposition du consommateur final. « L'énergie utile » quant à elle, signifie l'utilisation réelle de l'énergie prenant en compte les pertes d'utilisation.

La substitution de « l'énergie appelée » par « l'énergie utile » dans l'analyse de l'efficacité énergétique mène à prendre conscience du rendement du système énergétique. Ainsi, même si la calorie fournie par le pétrole ou par le charbon est la même, l'efficacité de ces deux formes d'énergie pour la même utilisation finale n'est pas identique. Il est question à ce niveau d'analyser les rendements réels de chaque forme d'énergie, niveau où intervient le rôle du progrès technique.

Le but recherché par cette différenciation est de proposer une analyse plus poussée de l'évolution de la demande énergétique des pays tout en tenant compte de l'ensemble des éléments qui la composent.

De ce fait, l'analyse de l'évolution des technologies énergétiques dans les pays en voie de développement ne devrait pas être calquée sur celle afférente aux pays avancés, du fait des différences existantes. Celles-ci peuvent concerner les activités de R&D, le poids des institutions mais aussi celui des activités entrepreneuriales.

³⁶⁸ Percebois.J, « Le concept d'intensité énergétique est-il significatif », Revue d'économie politique, n°04, Octobre 1979.

Qui plus est, le faible coût d'accès à l'énergie fossile de certains pays en voie de développement, leur facilite le recours aux énergies fossiles et limite par conséquent, leurs efforts de soutien à la transition énergétique, comme c'est notamment le cas pour l'Algérie.

Toutefois, l'orientation de ces consommations est cruciale pour le développement économique. En d'autres termes, les pays en voie de développement doivent adopter des mesures incitant l'émergence du secteur industriel créateur de richesse et d'emplois. Ainsi que nous l'observons pour l'Algérie, où le secteur résidentiel, non générateur de valeur, représente plus de 40 % de la consommation finale globale³⁶⁹.

D'autre part, l'avancement technologique des pays industrialisés permettra aux pays en voie de développement l'importation du savoir-faire assurant une réduction dans la consommation et/ou une orientation vers les énergies propres. Mais encore faut-il que le climat d'affaires soit favorable au transfert.

4-De la coopération internationale comme solution pour combler les écarts technologiques des pays :

La connaissance est considérée comme étant une composante fondamentale du système d'innovation technologique énergétique. Elle est aussi la conséquence d'un cumul d'apprentissage des acteurs activant dans ce système. Son expansion est cependant parfois confrontée à de nombreuses barrières. C'est particulièrement le cas des pays en voie de développement. En effet, l'instabilité des politiques dans ces pays amplifie le risque de sa déperdition.

Parallèlement à ce constat, force est de constater que la génération des nouvelles connaissances ne se limite pas à assurer une base d'information. Il s'agit plutôt d'assurer les capacités des acteurs à assimiler et à adopter les informations disponibles. Ainsi, l'expansion de la connaissance dans les pays en voie de développement exige un minimum de connaissances et de capacités d'absorption. Cet objectif est garanti par les expériences tirées des différents processus de production mais aussi par les formations professionnelles et académiques continues.

Et c'est dans cette logique d'organisation, que les politiques et instruments publics de ces pays doivent s'aligner afin de faciliter l'apprentissage de l'ensemble des acteurs (firmes, universités, centres de recherche, etc.).

Aussi et afin d'assurer une expansion de la connaissance dans le système, les mesures visant à la bonne diffusion des nouvelles technologies doivent être combinées d'une part, par

³⁶⁹ À partir des bilans énergétiques algériens publiés sur le site du ministère de l'énergie.

une bonne analyse de la nature des connaissances disponibles, et de l'autre par l'analyse des barrières empêchant l'adoption des nouvelles connaissances. GEA, (2012)³⁷⁰

Aussi, et tel que nous l'avons évoqué plus tôt, un groupe important de technologies est nécessaire dans la chaîne de production des énergies solaires photovoltaïques. Il est alors important d'analyser le champ de la technologie dans lequel il faille axer l'effort. A ce stade, est alors posée la question de la production locale ou importée. Car l'analyse des avantages comparatifs permet aux décideurs de déterminer ce qui peut être produit localement, et ce, qui doit être importé.

En revanche, il est très important de préciser que les capacités d'apprentissage des acteurs ne peuvent pas être importées et doivent être générées par la pratique « Learning by doing » afin de cumuler l'expérience. GEA, (2012)³⁷¹

La coopération internationale dans ce cas-là reste une nécessité. Elle permet de faciliter l'accès aux nouvelles connaissances liées aux nouvelles technologies. Ces nouvelles connaissances ont la particularité d'être moins tacites et difficiles à reproduire, notamment avec les moyens financiers limités des pays en voie de développement. GEA, (2012)³⁷²

La coopération internationale est favorisée par le partage des potentiels naturels et technologiques des pays. Les pays développés sont caractérisés par un développement technologique, et les pays en voie de développement le sont par un potentiel naturel non encore (ou peu) exploité, auquel il faut ajouter un coût abondant de la main d'œuvre. Toutefois, les pays en voie de développement doivent assurer les conditions propices afin de profiter pleinement du potentiel économique à tirer de ces coopérations internationales.

Les retombées des innovations technologiques énergétiques renouvelables sur l'économie sont dépendantes de plusieurs facteurs tant locaux qu'internationaux. Les connaissances qui y réfèrent sont elles aussi inscrites dans cette même dimension internationale. D'ailleurs, la mise en place des instruments publics visant à l'émergence de ces technologies doit prendre en compte ce paramètre.

Cela est d'autant plus vrai pour les pays en voie de développement, pour qui l'émergence de ces nouvelles technologies nécessite une restructuration importante des mécanismes de marché existants, mais aussi d'importantes allocations financières que le niveau de développement économique ne peut assurer.

³⁷⁰ Ibid.Op. Cit.p110.

³⁷¹ Ibid.Op. Cit.p110.

³⁷² Idem.

Le transfert du savoir-faire entre les firmes de plusieurs pays, par le biais du commerce international, est l'un des mécanismes sur lequel l'accent doit être mis dans ces cas-là. En effet, de nombreux rapports et travaux internationaux confirment que l'internationalisation des efforts en R&D augmentera significativement le potentiel de croissance de ces technologies, et ce, pour l'ensemble de ces pays. Ceci est toutefois conditionné par :

- une amélioration des conditions d'émergence de ces technologies dans les pays en voie de développement, à travers l'amélioration des mécanismes d'apprentissage des firmes,
- l'instauration de mesures publiques d'incitation à la R&D,
- la mobilisation graduelle des ressources financières nécessaires,
- l'assurance d'un cadre institutionnel favorable. GEA, (2012)³⁷³.

Par ailleurs, la coopération internationale influence les opportunités d'activités industrielles permettant la réalisation des objectifs de croissance renouvelable des pays. Carvalho, (2015)³⁷⁴ Ainsi, ce sont les firmes qui représentent le levier du transfert des flux de connaissance entre les différents pays. Cette configuration pousse alors les politiques publiques dans les pays en voie de développement à s'aligner avec cette vision.

Au final cela ne traduit pas pour autant l'importance des collaborations internationales entre les institutions publiques dans le domaine de l'expansion des connaissances liées aux nouvelles technologies énergétiques. Ces dernières sont destinées à assurer une large diffusion des informations et des standards internationaux. Nous pouvons alors citer quelques exemples de ces institutions, dont le poids est non négligeable dans ce secteur d'activité : AIE (Agence Internationale de l'Energie), IRENA (International Renewable Energy Agency), Bloomberg, etc.

CONCLUSION

Nous avons traité à travers ce troisième chapitre les conditions d'émergence des énergies renouvelables dans les systèmes d'innovation mondiaux.

Pour ce faire, nous avons abordé à travers la première section quelques fondamentaux relatifs aux processus technologiques afférents au secteur des énergies renouvelables. Notamment les énergies solaires dont nous avons observé l'évolution du bouquet énergétique mondial.

³⁷³ Ibid.Op. Cit.p110.

³⁷⁴ Carvalho.M.D, 2015, « The internationalisation of green technologies and the realisation of green growth », the London school of economics and political science. Thèse soutenue le 28/04/2015.

Chapitre 3 Évolution des systèmes d'innovations technologiques énergétiques mondiaux

La lecture de la composition du marché international pour les technologies solaires a été également nécessaire. Elle nous a permis de mettre en avant les différences entre les pays dans la maîtrise des nouvelles technologies énergétiques solaires, et ce, en fonction des principales phases de la chaîne de valeur de ces technologies (upstream, midstream et downstream).

Les divergences constatées au sein de la première section nous ont conduit à articuler dans la suivante un panorama certes non exhaustif, des expériences stratégiques adoptées par les pays pionniers et leaders du solaire sur le marché mondial. C'est ainsi que nous avons opéré une analyse des conditions d'évolution des systèmes d'innovation de certains pays sélectionnés en fonction de leur niveau de développement en la matière.

Nous sommes ainsi arrivées à la conclusion qu'il n'existe pas une stratégie unique commune mais bien au contraire une stratégie globale devant prendre en considération, intégrer, les spécificités naturelles et économiques de chaque pays.

Cette stratégie devant être articulée autour d'une vision d'ensemble assurant une certaine dynamique entre les fonctions contenues dans le système d'innovation.

La mobilisation des ressources financières ainsi que le développement de la connaissance représentent les différences pouvant exister entre les stratégies des pays développés et des pays en voie de développement. C'est dans cette optique, que la coopération internationale a été proposée au dernier point comme solution pouvant combler ces écarts technologiques.

Encore faut-il assurer un climat d'affaires favorable, un cadre réglementaire assurant le transfert du savoir-faire, des instruments publics (incitatifs et restrictifs) ciblant simultanément l'offre et la demande. Tout cela associé à une stabilité de la stratégie globale.

CHAPITRE 4

LE SYSTEME D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE POUR LES ENERGIES SOLAIRES EN ALGERIE

INTRODUCTION

Tenter de tracer les éventuels liens entre l'activité de recherche et les différents paramètres économiques, tel a été le défi de nombreuses économies.

L'un des paramètres ayant contribué à l'émergence des travaux traitant l'innovation technologique, est la nature collective des activités existantes dans le système. Cette nature collective renvoie à une complexité de l'analyse de par le nombre d'acteurs qu'elle intègre mais aussi l'étendue des interactions entre ces acteurs.

L'analyse des expériences internationales dans l'élaboration et / ou la modification des politiques publiques de l'innovation technologique pour promouvoir le secteur des énergies solaires a été détaillée dans le troisième chapitre. Elle nous a conduit au nécessaire corollaire du présent chapitre. Celui-ci s'appuiera sur l'approche de l'analyse par les fonctions déjà analysée au sein du chapitre 2 de la présente recherche. L'objectif ultime étant d'évaluer le système d'innovation technologique énergétique algérien, ses différentes composantes, les interactions existantes entre elles mais aussi et plus fondamentalement les réalisations obtenues depuis le lancement du programme national en 2011.

Notre questionnement s'articulera autour des interrogations suivantes :

- quelle est la nature des interactions pouvant exister entre les acteurs du S.I.T.E en matière de solaire algérien ?
- quelle est la méthode de mesure et d'évaluation la plus appropriée à même d'en mesurer les interactions ?
- quels sont les indicateurs les plus pertinents susceptibles de mesurer l'impact des politiques publiques d'innovation quant aux défis centraux des économies tels que la sécurité énergétique ?

L'analyse des composants d'un système d'innovation passe nécessairement par celle du choix des indicateurs référant à chacun des composants. Ces indicateurs permettront de mesurer :

- dans un premier temps le poids du composant,
- dans un second temps l'intensité des relations avec d'autres composants.

Le principal objectif étant l'analyse des différentes fonctions au sein du système. L'objectif premier d'une telle démarche sera de dresser un tableau du système d'innovation actuel afin de se positionner sur les mesures adéquates à adopter dans le futur.

Section 1 : Vers un choix des indicateurs appropriés pour l'évaluation du S.I.T.E solaire algérien

Introduction

L'intérêt porté sur la mesure de l'innovation et de son impact sur la croissance économique remonte à la fin des années 70, suite aux travaux initiés par l'OCDE. Ces travaux ciblaient un objectif principal celui de pouvoir mesurer les activités de R&D, d'invention, ainsi que la diffusion de l'innovation pour aider les décideurs à évaluer l'efficacité de leurs efforts et dépenses inscrits dans leurs politiques socio-économiques à moyen et long terme.

Plusieurs manuels ont été élaborés dans ce sens. Nous pouvons citer à ce titre :

- le manuel BPT³⁷⁵ dont l'objet était de traiter des échanges internationaux portant dans le domaine de la technologie,
- le manuel d'Oslo³⁷⁶ qui présentait les principes directeurs du recueil et de l'interprétation des données sur les enquêtes d'innovation,
- le manuel Brevet³⁷⁷ qui lui intervient en tant qu'outil d'information pour l'obtention et l'analyse des données relatives au processus d'innovation et de diffusion technologique.

Ces manuels sont orientés vers la présentation et l'analyse des indicateurs mesurant les retombées et l'impact de la R&D, soit les extrants. Contrairement aux manuels de Frascati³⁷⁸ qui eux mesuraient les intrants de la R&D.

Prendre la décision de mesurer le poids des différents programmes et mesures concernant les activités d'innovation sur la croissance économique, doit passer par une prise en considération de la complexité de la démarche qui est étroitement liée à la complexité du système qui la gouverne, mais aussi à la difficulté lors du choix des indicateurs appropriés.

Nous tentons de présenter les différentes lacunes rencontrées lors du choix, du recueil mais aussi du traitement des indicateurs de mesure. Aussi, la prochaine section positionnera sur cette base de recherche notre approche analytique.

De nombreuses méthodes existent destinées à mesurer et analyser les innovations technologiques énergétiques. Appliquées à une échelle macro, ces méthodes sont inscrites pour un objectif d'aide à la décision au service des décideurs politiques. La répartition de ces

³⁷⁵ Balance des paiements technologiques : élaboré en 1990 par l'OCDE. Il présente une base d'information pour toutes les enquêtes portant sur les échanges techniques internationaux.

³⁷⁶ Manuel élaboré par l'OCDE en 1992 (avec plusieurs éditions)

³⁷⁷ Manuel élaboré par l'OCDE en 1994 (avec plusieurs éditions)

³⁷⁸ Le manuel est le résultat des réunions établies entre les experts de nombreux pays dans la ville de Frascati (Italie) en 1963 pour traiter de la question des statistiques de la recherche et du développement expérimental R&D.

indicateurs varie d'une approche à une autre, répartition que nous tenterons de résumer dans les points qui suivent.

1-Répartition des indicateurs selon l'approche classique (input – output-outcome) :

Le processus d'innovation technologique est divisé en plusieurs étapes allant de l'idée pour arriver à la diffusion et l'utilisation du bien, en passant par la conception technique et le développement industriel. Les interactions reliant les phases de ce processus et les différents types de R&D (recherche fondamentale, recherche appliquée, recherche expérimentale) sont multiples, et ne peuvent pas intervenir d'une manière séparée et individuelle. En effet, les types de R&D peuvent contribuer à toutes les étapes du processus. Un exemple réside en la recherche expérimentale nécessaire lors de la conception technique d'un produit, mais qui le sera également après sa mise sur le marché pour des améliorations techniques lui permettant de s'adapter à la nature changeante de la demande.

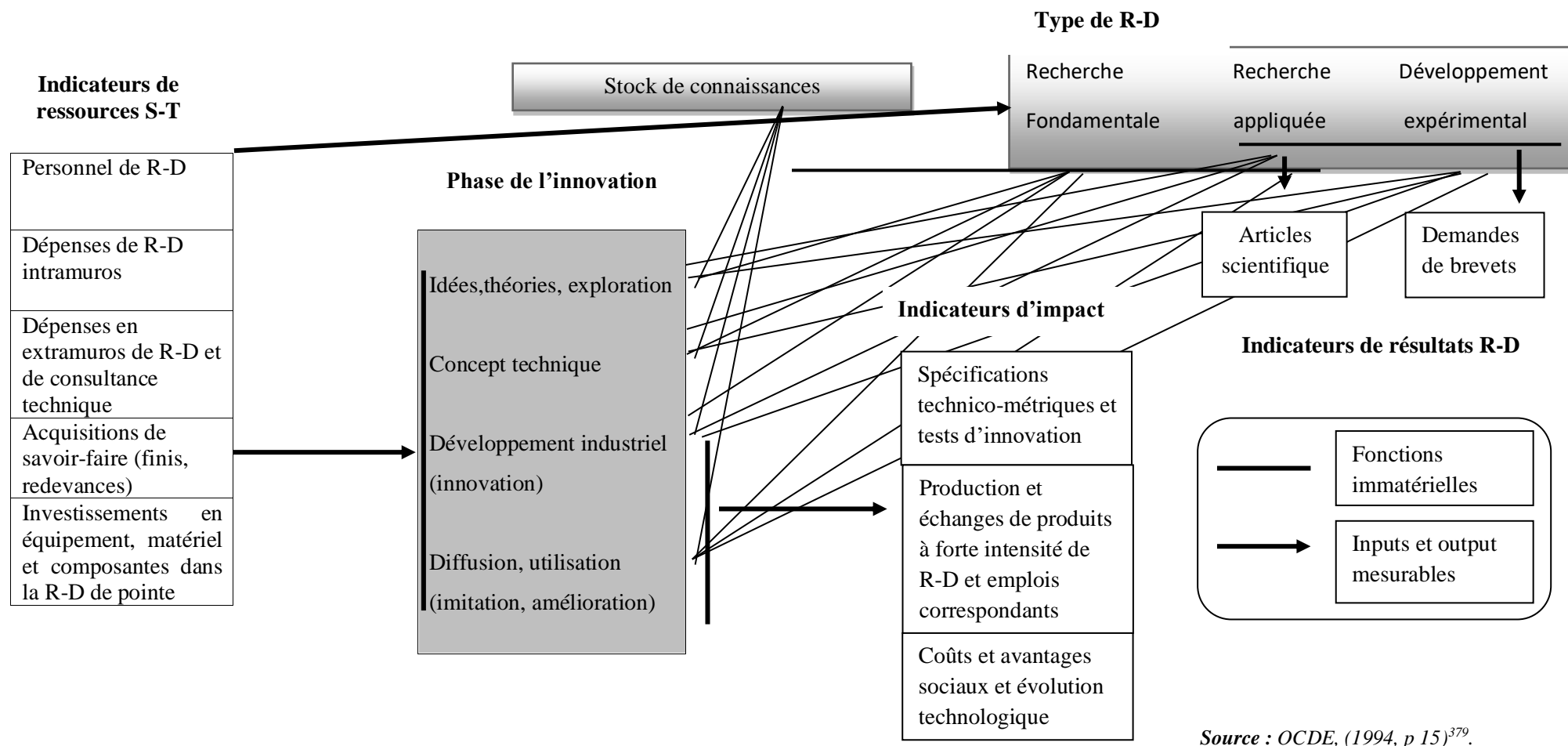
Dans cette première approche, le choix des indicateurs appropriés pour la mesure de l'innovation s'articule selon les multiples liaisons existantes entre les différentes phases du processus.

Il existe des interactions entre la nature des brevets et les différents types de recherche. En effet, un brevet peut être lié à une recherche fondamentale comme il peut concerner une innovation radicale mise sur le marché et sera donc lié à une recherche expérimentale.

Le brevet figure parmi les indicateurs principaux de mesure du résultat de la R&D, ce qui reflète son rôle prédominant dans l'ensemble du processus d'innovation. Toutefois, il est complété par d'autres indicateurs tels que : les personnels de recherche, les dépenses (en R&D, en équipements, frais d'acquisitions de savoir-faire, etc.) définis comme des indicateurs de ressources S-T (Sciences et Techniques), mais également les échanges internationaux des produits à forte intensité de R&D, les coûts et les avantages liés aux événements technologiques définis quant à eux comme des indicateurs d'impact S-T.

L'ensemble des liaisons existantes entre les indicateurs de mesure de l'innovation ainsi que les différentes phases sont représentées schématiquement à travers la figure n° 39 ci-dessous :

Figure n°39 : Répartition des indicateurs selon les phases du processus d'innovation



Source : OCDE, (1994, p 15)³⁷⁹.

³⁷⁹ Ibid.Op. Cit.p17.

1-1-Les indicateurs de ressources (input) :

Les indicateurs d'input tentent de mesurer les contributions dans le processus de l'innovation. Notre base d'appui pour le choix des indicateurs mesurant les intrants (inputs) de la R&D sera principalement « les manuels de Frascati », établis dans ce même sens par l'OCDE. Ces manuels incarnent pour plusieurs pays une référence sûre en termes de recueil des données relatives à la R&D.

La mesure des inputs de la R&D implique le recours à la mesure des apports des institutions chargées d'exécuter ou de financer la R&D. Nous pouvons citer à ce titre les centres de recherche, les institutions de l'État, les entreprises publiques ou privées, les établissements d'enseignement supérieur, mais aussi les institutions internationales contribuant au financement des différents projets de recherche.

Deux grandes catégories d'input sont largement reconnues et utilisées :

- les dépenses en R&D : cette catégorie est représentée en tant qu'indicateur de référence utilisé afin de mesurer l'intensité de recherche d'une économie. Cet indicateur demeure la base de toutes les études comparatives entre pays.
- le personnel de recherche : cette catégorie concerne les ressources humaines engagées dans la participation directe aux activités de R&D. L'analyse de cette deuxième catégorie est d'autant plus importante que les dépenses en R&D. Ainsi, la quantification de l'ensemble des éléments de cet indicateur permettra d'évaluer le poids ressources humaines employées dans l'aboutissement des objectifs nationaux.

Nous tentons à travers le tableau n°11 ci-dessous de présenter l'ensemble des informations pouvant être liées à ces deux grandes catégories, et ce, pour les trois (03) acteurs clés du système d'innovation : les centres de recherche, les universités et les entreprises publiques et privés.

Tableau n°11 : Répartition des indicateurs de ressources (input)

Catégories d'indicateurs (input)	Centres de recherche
Les dépenses en R&D	<p>Dépenses de main d'œuvre liées au personnel de R&D</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Dépenses courantes - Salaires, primes, congés payés, cotisations sociales avec répartition des salaires à temps plein, et les salaires à temps partiel. - Dépenses de formation de personnel (stages et formations courte durée et longue durée). ➤ Dépenses non courantes - Les coûts liés aux personnes non employées mais offrant des services rentrant dans le cadre des projets ou activités de R&D. - Les présalaires pour doctorants, stagiaires, ou assistants chercheurs n'occupant pas une fonction permanente. <hr/> <p>Dépenses liées aux acquisitions matérielles</p> <ul style="list-style-type: none"> - Valeurs nettes des terrains, constructions, machines, équipements, logiciels, brevets. - Dépenses de consultance technique - Frais d'équipement de laboratoire (produits chimiques (importés ou produits en Algérie) - Frais de redevances et licence autorisant l'exploitation des brevets étrangers. (Dépenses d'acquisition du savoir-faire) - Frais de location des biens (outillage de construction pour les besoins des projets de R&D - Coûts des logiciels acquis pour les besoins des projets de recherche.
Observations	<ul style="list-style-type: none"> - Il est primordial de dissocier le coût exact des personnels exerçant dans deux fonctions R&D et une autre, et ce, afin de déterminer le coût réel des dépenses en R&D. - La ventilation de ces dépenses par catégories de personnel est toute aussi importante ; (chercheurs, techniciens, ingénieurs, personnel assimilé, autre catégorie de personnel de soutien)
Le personnel de R&D	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre du personnel de recherche internes : permanents, occupés d'une manière permanente, rémunérés par des salaires. - Nombre de personnel de recherche externes : exerçant des services temporaires, rémunérés par des honoraires ; contribuant aux activités de R&D du centre sans qu'ils y soient rattachés. - Le flux de personnel, autrement dit, le taux de rotation prenant en compte ; les nouvelles recrues d'un côté, et les personnes partantes (démission, retraite) de l'autre côté.
Observations	<ul style="list-style-type: none"> - Le but recherché par l'indicateur est d'évaluer le niveau de stabilité du personnel - La ventilation du personnel par tranche d'âge, par sexe, par niveau d'études, et par fonction assurée au sein du centre permet d'offrir des informations supplémentaires. - L'indicateur du flux de personnel nous permet d'évaluer l'ancienneté des centres et laboratoires de recherche

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir des manuels de Frascati

Tableau n°11 : Répartition des indicateurs de ressources (input) -suite-

Catégories d'indicateurs (input)	Universités
Les dépenses en R&D	<p>Dépenses de main d'œuvre liées au personnel de R&D</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dépenses de formation des enseignants chercheurs (traitant des problématiques liées aux énergies renouvelables) - Stages et/ou formation courte durée - Stage et/ou formation longue durée - Bourses d'étude. - Subventions de recherche.
	<p>Dépenses liées aux acquisitions matérielles</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dépenses d'acquisition de matériel de recherche. - Dépenses de consultance technique - Frais d'équipement de laboratoire (produits chimiques (importés ou produits en Algérie) - Frais de redevances et licence autorisant l'exploitation des brevets étrangers. (Dépenses d'acquisition du savoir-faire) - Frais de location des biens (outillage de construction pour les besoins des projets de R&D) - Coûts des logiciels acquis pour les besoins des projets de recherche. - Dépenses liées à l'échange du savoir-faire avec les autres universités à travers le monde.
Observations	La répartition de ces dépenses par branche d'activité. (Chimie, sciences de la matière, etc.) est importantes pour voir quel domaine est plus actif.
Le personnel de R&D	<ul style="list-style-type: none"> -Nombre des enseignants chercheurs dans les laboratoires de recherche traitant des problématiques liées aux énergies renouvelables. -Part des enseignants chercheurs adhérant aux laboratoires de recherche -Répartition des chercheurs dans les laboratoires de recherche ; recrutés, non recrutés et si non recrutés (Master ou doctorat). - Nombre des enseignants chercheurs à la retraite continuant à mener des travaux de recherche (contractuels) et répartition par grade (professeurs ou autre)
Observations	<p>Deux autres indicateurs sont indispensables à l'analyse du système d'innovation :</p> <ul style="list-style-type: none"> -évolution du nombre des laboratoires de recherche rattachés aux universités. -répartition des laboratoires de recherche par branche d'étude et par localisation régionale. -la répartition des enseignants chercheurs par tranche d'âge, sexe, et niveau de grade offre des informations supplémentaires.

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir des manuels de Frascati

Tableau n°11 : Répartition des indicateurs de ressources (input) -suite-

Catégories d'indicateurs (input)	Entreprises (publiques et privées)
Les dépenses en R&D	<p>Les financements publics</p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> -Les aides financières, les subventions de recherche (avec ou sans contrepartie) -Les subventions fiscales, financières pour inciter les entreprises à recruter des chercheurs permanents. -Le recours ou non aux fonds nationaux destinés à financer les énergies renouvelables - La part des institutions financières (crédits, crédits bonifiés, subventions ..., etc.) dans le financement des activités de R&D. <p>Les dépenses en R&D peuvent être réparties selon plusieurs paramètres et offrir un complément d'informations non négligeable Parmi ces paramètres :</p> <ul style="list-style-type: none"> -l'activité principale des entreprises (secteur économique) -la situation géographique (région pour tenter de faire le lien avec le potentiel énergétique de la région) -le domaine technologique spécifique -le capital privé, public, mixte. -la nationalité des associés (avec pays de résidence) -la taille des entreprises (CA, nombre d'employés), La date de création des entreprises.
Observations	/
Le personnel de R&D	/
Observations	/

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir des manuels de Frascati³⁸⁰

³⁸⁰ Ibid.Op. Cit.p20.

1-2-Les indicateurs de résultats (output) :

Lors de toute étude portant valuation d'un système d'innovation, mesurer les outputs permet d'enrichir la réflexion sur le sort des pratiques et des activités scientifiques et technologiques entamées dans le but de l'amélioration des indicateurs économiques.

Pour les trois acteurs (centres de recherche, universités, entreprises), les indicateurs d'output les plus utilisables dans la mesure et l'évaluation de l'innovation sont principalement les suivants :

- les brevets d'invention déposés,
- les publications scientifiques indexées,
- les projets de recherche et de développement.

Nous pouvons ajouter à ceux-là trois (03) autres indicateurs :

- l'orientation principale des travaux de recherche entre recherche fondamentale, recherche appliquée et/ ou recherche expérimentale,

- l'évolution du nombre d'étudiants dans les universités s'engageant dans les formations de Master et de Doctorat (classique / LMD) traitant de la problématique des énergies renouvelables avec répartition par branche (chimie, ingénierie, etc.),

- les dépenses en R&D des entreprises : à la différence des centres de recherches et universités, les dépenses en R&D des entreprises peuvent être analysées en input mais aussi en output. Analysées en output, ces dépenses reflètent le niveau d'implication et d'engagement des acteurs privés dans la stratégie globale du pays. Ceci peut être interprété comme conséquences aux différents instruments d'incitation ou de réglementation lancés par les pouvoirs publics.

Parmi l'ensemble de ces indicateurs, le brevet prend une part très importante dans les travaux de recherche traitant la question de la mesure de l'innovation. C'est pour cette raison que nous le détaillerons davantage dans le point qui suit en essayant de mettre en avant ses principales caractéristiques, avantages ainsi que les limites qui obligent à recourir à d'autres indicateurs complémentaires.

1-2-1-Le brevet :

Depuis plusieurs années, le brevet a constitué avec les dépenses de R&D, la seule mesure de l'activité inventive. Il détient une part importante dans les diverses enquêtes élaborées dans plusieurs pays industrialisés présentant un double enjeu économique :

- d'une part, à l'échelle micro économique en liant les stratégies des firmes avec les décisions de dépôts de brevets

- d'autre part, à une échelle macroéconomique, pour mesurer l'innovation. Kabla, (1994)³⁸¹

Le brevet d'invention couvre un large éventail de droits de propriété intellectuelle. Le Manuel Brevet³⁸² les répartit en deux grandes catégories : Kabla, (1994)³⁸³

- propriété industrielle, essentiellement dans les inventions techniques, les marques déposées et les dessins industriels et,

- les droits d'auteurs, principalement dans les œuvres littéraires, musicales, artistiques, photographiques et audiovisuelles, y compris certains logiciels.

Afin de cibler d'avantage notre recherche, nous traitons des brevets liés à la propriété industrielle.

- ***Avantages de l'indicateur de brevet :***

Recourir à l'indicateur brevet pour analyser le processus d'innovation et plus précisément mesurer les outputs de l'activité technologique offre de multiples avantages qui le positionnent comme un indicateur de référence.

En premier lieu, son importance réside dans le nombre appréciable d'informations pouvant être récupérées d'un document-brevet, et nous pouvons citer notamment : "le type de technologie dont il est fait état dans la revendication, le nom et la nationalité de l'inventeur (personne physique, organisme public ou société privée), les liens entre le nouveau brevet et les connaissances contenues dans des brevets antérieurs et des publications scientifiques, le secteur économique dans lequel l'invention prend sa source, et les domaines et marchés couverts par les brevets ». OCDE, (1994)³⁸⁴.

³⁸¹ Kabla, I, 1994. Un indicateur de l'innovation : le brevet. In : Économie et statistique, n°275-276. France-Allemagne : des indices de prix plus comparables. pp. 95-109.

³⁸² Ibid.Op.Cit. p.176

³⁸³ Ibid.Op.Cit.

³⁸⁴ Ibid.Op. Cit.p17.

De nombreuses études ont d'ailleurs observé que 70% des informations technologiques disponibles sur le brevet ne peuvent être tirées d'aucune autre source d'information. Gallagher et Holdren, (2008)³⁸⁵

Cette principale caractéristique simplifie l'accès à l'information à des fins d'études statistiques et économiques qui sont liées à son champ de couverture. En effet, à l'exception des inventions de logiciels qui sont couvertes par des droits d'auteurs, tous les domaines technologiques sont couverts par le brevet.

- ***Limites de l'indicateur de brevet :***

La relation entre l'invention technologique et le brevet est un peu complexe. En effet, plusieurs raisons poussent les inventeurs à demander des brevets pour leurs découvertes, soit pour les protéger de l'imitation en affirmant leurs propriétés, soit pour profiter des droits d'exploitation à travers des contrats de transfert locaux ou internationaux.

D'un autre côté, toutes les inventions technologiques n'aboutissent pas forcément à des demandes de brevets, et certaines inventions même si couvertes par des brevets ne déclenchent pas forcément des débouchés commerciaux et ne font pas naître ainsi des innovations. Ceci est justifié par le fait que les firmes sont incapables d'évaluer avec précision la valeur qui sera dégagée éventuellement par une invention à un niveau précoce de son cycle de vie. Alors que, les dépôts brevets doivent être effectués plutôt pour prévenir du risque de fuite de l'information et d'imitation par les concurrents.

Il existe un autre cas de figure où des firmes sont conscientes que la mise sur le marché d'inventions particulières ne leur assurera pas de rentabilité, mais décident cependant de les breveter intentionnellement dans le but de bloquer la concurrence. Ce type de brevet figurant dans des stratégies illégales par ces firmes est appelé « *le brevet dormant* ».

Dans tous ces cas-là, prendre le brevet comme indicateur unique pour la mesure de l'innovation présente des soucis de pertinence d'analyse. De ce fait, il est nécessaire que le brevet soit complété par d'autres indicateurs tels que : les dépenses en R&D, le nombre de chercheurs et personnels de recherche, les données sur la balance de paiement technologique notamment.

Sa limite se fait observer également dans certains domaines d'activité, notamment dans le secteur informatique et des TIC qui connaissent des mutations fort rapides. Le rythme d'innovation des brevets réduit le degré de protection des nouvelles inventions technologiques.

³⁸⁵ Gallagher.K.S, Holdren.J.P, 2008, « Energy Technology Innovation », Annual Review of Environment and Ressources, January 2008

En effet, les firmes œuvrant dans ce secteur recourent à d'autres pratiques qui leurs offrent la protection souhaitée sans recourir à des demandes de brevets qui peuvent être coûteuses et contraignantes. Nous pouvons citer par exemple le fait de garder au secret de nouvelles inventions ou leur lancement rapide sur le marché à des prix bas mettant les challengers dans de faibles positions concurrentielles. Dans ces cas-là, le pouvoir de protection des brevets se retrouve remplacé, rendant les bases des données des brevets incomplètes et peu pertinentes car ne pouvant refléter une image fidèle de la situation réelle.

Le paramètre coût du brevet a toute son importance dans l'analyse des raisons qui dissuadent les firmes de demander des brevets pour leurs inventions technologiques, limitant ainsi la pertinence de l'indicateur pour mesurer et évaluer l'innovation dans un secteur ou une économie donnée.

Kabla.I (1994)³⁸⁶, présente trois éléments qui composent les coûts d'un brevet :

- le coût, direct et incontournable, relatif à l'acquisition du titre et à son maintien en exercice,
- le coût supplémentaire éventuel d'un procès en contrefaçon,
- le coût indirect, difficile à chiffrer, du bénéfice que retire la concurrence de la divulgation d'informations entraînée par la publication du brevet.

La relation entre le coût et la valeur économique d'un brevet est un sujet qui a fait l'objet de plusieurs études empiriques notamment celle de Schankermann & Pakes. Pour ces auteurs, une étude rétrospective a démontré que la plus forte valeur économique dégagée n'est liée qu'à un nombre réduit de brevets³⁸⁷. Ce décalage se justifie par le caractère incertain et risqué des éventuelles innovations technologiques. De ce fait, et pour décider de recourir ou non à breveter leurs inventions, les firmes doivent établir un arbitrage entre l'éventuelle perte lors d'un échec sur le marché et entre l'éventuel risque de la non protection pour les innovations qui se révéleront importantes. Cette position des firmes fragilise la pertinence de l'indicateur brevet. Dans ces situations, il est ainsi primordial d'incorporer d'autres indicateurs dans le but de compléter les informations. Notamment, les dépenses en R&D engagées par ces firmes qui peuvent refléter leurs stratégies adoptées.

La prise en compte unique de l'indicateur brevet est également remise en cause lors d'un traitement de plusieurs domaines techniques simultanés. Des travaux viennent confirmer ceci

³⁸⁶ Ibid.Op. Cit.p184

³⁸⁷ In Kabla. I, 1994. Un indicateur de l'innovation : le brevet. In: Economie et statistique, n°275-276. France-Allemagne : des indices de prix plus comparables. p98.

en démontrant que la différence d'orientation des firmes varie selon les domaines techniques qui présentent des niveaux d'efficacité de protection différente³⁸⁸.

Cette situation est également le cas pour des analyses comparatives des pays qui présentent des tailles différentes. Ceci étant, l'indicateur brevet ne peut être pris seul sauf s'il est associé à des indicateurs d'inputs et d'outputs pouvant révéler le degré de performance des programmes de R&D de ces pays au-delà de leurs tailles, de leurs localisations géographiques mais aussi de la nature de leurs systèmes juridiques régissant les règles et conditions de délivrance des brevets.

Cinq (05) exigences doivent être réunies pour qu'une invention soit brevetable, IRENA, (2013)³⁸⁹ :

- elle doit être définie brevetable par la législation nationale en vigueur car les champs des brevets varient d'un pays à un autre,
- elle doit présenter une nouvelle caractéristique non encore connue des connaissances existantes,
- elle doit inférer à une application industrielle, fournissant ainsi des informations pratiques de son utilisation,
- elle doit être divulguée en entier et avec suffisamment d'informations simplifiant sa mise en pratique,
- elle doit impliquer une activité inventive (c'est-à-dire non évidente). Elle ne doit pas être facilement déduite par une personne ayant une connaissance moyenne dans le domaine technique.

Les brevets sont de nature territoriale, c'est-à-dire que leurs valeurs n'est reconnue que dans le pays dans lequel ils ont été signalés. Ceci renvoie à la nécessité d'enregistrer l'invention dans plusieurs pays (en s'adaptant à la législation de chaque pays) pour une protection globale.

Toutefois, cette contrainte a été relevée par de nombreuses institutions comme PCT (Patent Coopération Treaty)³⁹⁰. Une telle institution offre la possibilité aux inventeurs désirant protéger leurs inventions dans de nombreux pays à la fois, de procéder à l'enregistrement en une seule étape. IRENA, (2013)³⁹¹.

La protection internationale des inventions présente d'autres contraintes, notamment celle du coût. Néanmoins, les contraintes qui y sont liées peuvent être allégées dans le cas où le pays de résidence de l'inventeur est intégré dans des coopérations internationales ou régionales.

³⁸⁸ Ibid.

³⁸⁹ Ibid.Op. Cit.p162

³⁹⁰ Entité administrée par WIPO (*World Intellectual Property Organization*)

³⁹¹ Ibid.Op. Cit.p162

1-3-Les indicateurs d'impact (outcome) :

Une troisième catégorie d'indicateurs est également avancée par quelques travaux. Gallagher et Holdren (2008)³⁹², Wilson (2012)³⁹³. Il s'agit des indicateurs d'impact qui concernent :

- la taille du marché des énergies renouvelables (total des capacités installées),
- le taux de réduction du coût de la technologie,
- l'intensité des émissions énergétiques,
- la taille et nombre de programmes lancés.

2-Répartition des indicateurs selon l'approche par les fonctions :

Procéder à une évaluation du système d'innovation technologique dans le secteur de l'énergie en se basant sur les inputs et les outputs reste insuffisant, car ne s'adaptant pas avec la nature complexe du système d'innovation. En effet, d'autres paramètres doivent être inclus notamment, le processus de diffusion des nouvelles technologies ainsi que le poids des institutions assurant les liaisons entre les différents composants du système.

Comme stipulé par Carlsson et al, (2002)³⁹⁴ la mesure de la performance du système technologique doit passer par la mesure de la performance de ces composants mais aussi par la mesure et l'analyse des interrelations existantes entre eux.

En nous appuyant sur la lecture des principales fonctions d'un système d'innovation proposée par plusieurs auteurs au chapitre 2, nous aborderons dans ce point le choix et la répartition des indicateurs de mesure qui permettrait de cerner lesdites fonctions. Pour ce faire nous nous baserons sur la recherche de Miremadi et al (2018)³⁹⁵ que nous jugeons la plus récente et englobant de même l'ensemble des travaux traitant de la question.

La lecture des différents indicateurs selon cette approche permet d'évaluer d'une manière plus pointue les conditions de création, de développement et de diffusion des technologies renouvelables au sein d'un système d'innovation technologique.

En effet, la répartition des différentes fonctions offre la possibilité de cerner l'analyse sur la phase de développement du processus de changement technologique, permettant ainsi aux décideurs une meilleure allocation des efforts et des ressources.

³⁹² Ibid.Op. Cit.p185

³⁹³ Wilson.C, 2012. Input, output, & outcome metrics for assesing Energy Technology innovation, Historical case studies of energy of energy technology innovation », in: Chapter 24, The Global Energy Assessment. Grubler A., Aguayo, F., Gallagher, K.S., Hekkert, M., Jiang, K., Mytelka, L., Neij, L., Nemet, G. & C. Wilson. Cambridge University Press: Cambridge, UK.

³⁹⁴ Ibid. Op. Cit.p78.

³⁹⁵ Miremadi.I, Saboohi.Y, Jacobsson.S, 2018, « Assessing the performance of energy innovation systems: Towards an established set of indicators », Energy Research & Social Science 40, p 159–176

Tableau n°12 : répartition des indicateurs selon l'approche par les fonctions

Fonctions	Indicateurs	Références
Développement de la connaissance	<ul style="list-style-type: none"> -Financement de la phase de R&D (recherche fondamentale) - Activités de brevets et de publications scientifiques - Recherche et produits technologiques - Démonstration et projets pilotes -Apprentissage par la pratique et apprentissage par l'utilisation - Financement et activités de R&D - Les réseaux de recherche 	Bergek et al, 2008 Hekkert et al, 2007 Truffer et al, 2012
Diffusion de la connaissance	<ul style="list-style-type: none"> -Taille du réseau et intensité - Activités des clusters -Liens entre les principaux intervenants -Echange de connaissance dans les réseaux -Conférences et workshop -Echange de connaissances nationales entre organisations -Echange de connaissances internationales 	Bergek et al, 2008 Truffer et al, 2012 Vasseur et al, 2013
Orientation de la recherche	<ul style="list-style-type: none"> -Objectifs fixés par le gouvernement -Changements dans les cadres réglementaires -Nombre d'articles de presse suscitant des attentes -Articulation d'intérêt par les principaux consommateurs -Perspectives futures des alternatives -Orientation du développement vers des alternatives technologiques spécifiques -Attentes et avis des experts (positifs /négatifs) 	Bergek et al, 2008 Truffer et al, 2012 Vasseur et al, 2013
Activités entrepreneuriales	<ul style="list-style-type: none"> -Nombre des nouveaux entrants -Nombre des activités de diversification et incubateurs -Nombre d'expériences -Activités d'expérimentation et de démonstration -Nombre de compagnies Entrant / Sortant du marché - Taille des entreprises - Etudes, pilotes de démonstration et essais sur le terrain - Activités d'exportation 	Hekkert et al, 2007 Vasseur et al, 2013 Bento et Wilson, 2016
Formation du marché	<ul style="list-style-type: none"> -Nombre de marchés de niche -Régimes et règlements fiscaux spécifiques -Facteurs déterminants de la formation du marché (ex : programmes de soutien) -Taille et type de marchés formés -Incitations sur les marchés financiers (régulation / programmes de stimulations) -Réglementation / régimes fiscaux -Part d'importation - Les politiques qui stimulent la formation et l'expansion du marché -Les ventes -Les capacités installées 	Bergek et al, 2008 Vasseur et al, 2013 Bento et Wilson, 2016
Mobilisation des ressources	<ul style="list-style-type: none"> -Disponibilité des compétences / capital humain -Des atouts complémentaires pour les acteurs clés -Ressources financières (ex : subventions pour les investissements en technologie) -Ressources physiques -Investissements directs étrangers (IDE) 	Bergek et al, 2008 Hekkert et al, 2007 Truffer et al, 2012
Création de légitimité	<ul style="list-style-type: none"> -Montée et croissance des groupes d'intérêt et de leurs activités de lobbying -Débat politique au parlement et dans les médias -Reconnaissance des avantages sociaux de la technologie (mesure pour laquelle la technologie est promue par les organisations et le gouvernement ex : prix, brochures, concours) -Activités de lobby pour / contre la technologie -Etudes d'évaluation technique - Alignement de la politique scientifique et technologique 	Bergek et al, 2008 Hekkert et al, 2007 Truffer et al, 2012 Vasseur et al, 2013

Source : Miremedi et al, (2018, p171)³⁹⁶

³⁹⁶ Ibid.Op. Cit.p188

Section 2 : Évaluation par les fonctions du Système d'innovation technologique de l'énergie solaire en Algérie

Introduction

Nous avons présenté au sein du chapitre 2, les différentes approches ayant permis l'analyse du changement technologique dans un système d'innovation tel que traité par la littérature spécialisée dans le domaine. À savoir les approches statique et dynamique.

Nous avons également démontré les limites de l'approche statique en mettant en avant la véritable dimension du processus de changement technologique dans un système d'innovation dépassant les frontières géographiques.

Le travail effectué dans le deuxième chapitre sera notre appui afin de préparer la démarche d'évaluation du système d'innovation dans le secteur des énergies renouvelables et plus particulièrement celle de l'énergie solaire. En effet, l'analyse par les fonctions à plus fort impact dans le déclenchement du processus d'innovation d'une technologie particulière, nous permet de tracer l'évolution des agents et des institutions dans la diffusion du savoir lié à ces technologies. Mais aussi, à identifier les actions clés pouvant amener à la constitution d'un tissu qui permettra le déclenchement du processus de transformation.

Par ailleurs, l'analyse par les fonctions nous a orientée, à travers la première section du présent chapitre, vers une sélection des indicateurs de mesure (quantitatifs et qualitatifs) les plus appropriés.

Il est à rappeler que le changement technologique intervient dans une économie exclusivement lorsqu'une certaine qualité d'interactions entre les différentes fonctions est atteinte. Cet enchaînement (circuit) d'interactions assure la constitution d'un cercle vertueux enclenchant la dynamique de la « *destruction créatrice* » et assurant ainsi la continuité du processus sur le moyen et le long terme.

1-Les activités entrepreneuriales (fonction 01) :

L'évaluation de l'innovation technologique dans le secteur de l'entreprise est primordiale dans toute étude portant analyse de changement et de transition économique des pays.

En effet, l'entreprise a toujours été considérée comme le noyau dur de l'économie. Ainsi, sa contribution dans le système d'innovation technologique se répercute directement sur le niveau des richesses des nations. Ceci est d'autant plus confirmé dans les pays industrialisés

où les dépenses en R&D des entreprises représentent une part importante dans les dépenses globales. OCDE, (2015)³⁹⁷

1-1-Composition de l'industrie algérienne de l'énergie solaire photovoltaïque :

Nous nous intéressons à présent à la composition de l'industrie algérienne solaire photovoltaïque, et souhaitons relever à travers le tableau n° 13 ci-dessous, l'évolution du nombre des entreprises lancées sur le marché, la nature de leurs activités mais aussi le niveau des technologies assurées.

Pour la collecte des données nécessaires à ce point, nous nous sommes appuyée sur la base d'informations disponibles sur le site internet du cluster algérien de l'énergie solaire CES³⁹⁸, mais aussi sur nos déplacements et entrevues assurés au niveau des expositions, notamment au niveau des éditions des salons ERA « Énergies Renouvelables Algérie » organisés chaque année au niveau de la ville d'Oran depuis 2010.

Nous regroupons dans le tableau ci-dessous, l'ensemble des informations collectées relatives aux entreprises activant dans le marché du solaire photovoltaïque en mettant aussi en avant leurs dates de création et la nature précise de leurs activités.

Il est important de souligner que sur ce tableau, seules les entreprises activant directement dans l'industrie solaire photovoltaïque sont recensées. Ainsi ne sont pas concernées par cette synthèse, les entreprises dont les activités touchent à l'électricité générale, et la télécommunication³⁹⁹.

³⁹⁷ Ibid.Op. Cit.p20.

³⁹⁸ Cluster Energie Solaire

³⁹⁹ L'ensemble des entreprises recensées sont de nationalité algérienne.

Tableau n°13 : Composition de l'industrie algérienne de l'énergie solaire photovoltaïque, (1995-2018)

Nom de l'entreprise	Capital	Date de création	Activités principales	Observations
SCET ENERGIE ALGERIE	Privé	1995	Distribution en gros d'équipements électriques et solaires	L'offre des produits d'énergie solaire rentre dans le cadre de stratégie de diversification de l'activité.
MILLETECH	Privé	2004	Installation et intégration de réseaux de télécommunication mobiles	L'activité d'assemblage a démarré en 2018
LAGUA SOLAIRE	Privé	2005	Montage et paramétrage des luminaires solaires	L'activité d'assemblage a démarré en 2019
IRIS JC Industrial	Privé	2008	Conseils, études de projets solaires, commercialisation, montage et maintenance	-
EVERLITE	Privé	2009	Ingénierie, installation, et intégration des systèmes solaires photovoltaïques.	Unité de fabrication LED et kits solaires prévue en 2020.
ALGERIAN PV COMPANY ALPV	Privé	2010	Fabrication des modules PV à base de cellules cristallines	Technologie utilisée poly-cristalline
CONDOR ELECTRONICS	Privé	2013	Fabrication des panneaux PV	L'activité rentre dans le cadre d'une diversification de l'activité
ENIE	Public	2015	Fabrication et installation des panneaux PV	L'activité rentre dans le cadre d'une diversification de l'activité
INNOVA CONTRACTING	Privé	2015	Construction, génie civil, exploitation, maintenance des installations PV, ingénierie des projets PV, Construction des centrales	-
GUIDOUM SOLAR	Privé	2015	l'étude, l'exploitation, importation fourniture, installations et maintenance des systèmes solaires photovoltaïques et thermiques	-
NIGASOLAR	Privé		Importation d'équipements solaires	-
MEKENERGIE	Privé	2015	Vente et installation du matériel pour l'énergie solaire	-
SUNGY	Privé	2015	Bureau d'études et de développement de projet d'énergie solaire	-
ARMOR GREEN ENERGY	Privé	2016	Réalisation de projets en énergie solaire PV	-
ZERGOUNE GREEN ENERGY	Privé	2017	Fabrication et assemblage des panneaux PV	L'activité rentre dans le cadre d'une diversification de l'activité
AURES SOLAIRE	Privé	2017	Fabrication des panneaux solaires PV	-
ALGERIAN ENERGY COMPANY	Privé		Equipements de production d'énergie électrique	
PODIUM SUD SOLAR	Privé		Fabrication de fournitures industrielles, pétrolières, solaires	L'offre des produits solaires rentre dans le cadre d'une activité de diversification
INNOVA SOLAR	Privé	2018	Fabrication de panneaux photovoltaïques	-

Source : Construction personnelle de l'auteure

Le tableau fait ressortir un potentiel industriel qui ne cesse de croître d'année en année composé principalement d'entreprises privées. Les activités dominantes demeurent l'importation des composants et l'assemblage et fabrication des panneaux PV⁴⁰⁰. En effet, sur l'ensemble des entreprises listées, une seule axe son activité sur la fabrication des modules PV (ALPV).

De ce fait, nous pouvons dire que l'industrie algérienne de l'énergie solaire PV se limite principalement à la phase « midstream » qui se caractérise, comme nous l'avons évoqué au troisième chapitre, par un niveau moyen de technologies.

Aussi, le tableau relève des diversifications d'activités sur quelques entreprises. L'orientation de ces entreprises et notamment ENIE, grande entreprise publique, vers les énergies solaires, reflète davantage la volonté des décideurs politiques à exploiter le potentiel naturel du pays.

En ce qui concerne les capacités de production de panneaux solaires photovoltaïques de certaines de ces entreprises⁴⁰¹, nous les résumons dans le tableau n° 14 ci-dessous :

Tableau n°14 : Capacité de production de panneaux solaires photovoltaïques en Algérie, (2020)

Capacités de production	ALPV	AURES SOLAIRE	CONDOR ELECTRONICS	ENIE ELECTRONICS	MILLETECH	ZERGOUN GREEN ENERGY	TOTAL
Capacité de production annuelle (MW)	12	30	130	18	100 (En cours)	160 (En cours)	450
Capacité produite (MW)	-	18,9	15	-	-	-	33,9

Source : Construction personnelle de l'auteure d'après le rapport CEREFÉ, (2020, page 62)⁴⁰²

⁴⁰⁰ Les acteurs majeurs du marché sont ; Algérienne PV Company, SCET Energie Algérie et Aurès Solaire. Mordor Intelligence, 2018, « Algeria solar energy market- segmented by type- growth, trends and forecast (2019-2024).

⁴⁰¹ Les informations disponibles et publiées sur le rapport du CEREFÉ ne concernent que les entreprises membres du cluster algérien des énergies solaires (CES) que nous détaillerons par la suite.

⁴⁰² Commissariat aux Énergies Renouvelables et à l'Efficacité Énergétique CEREFÉ, 2020, « Transition Énergétique en Algérie : Leçons, État des Lieux et Perspectives pour un Développement Accéléré des Énergies Renouvelables », Edition 2020.

Le tableau fait ressortir une utilisation non optimale des capacités de production de ces acteurs. En effet, sur les 190 MW de capacités déjà opérationnelles, seules 33,9 MW ont été explorées. Nous pouvons lier cela principalement à la maturité des activités de fabrication des panneaux photovoltaïque au sein de ces entreprises. En effet, nous constatons qu'à l'exception de l'ALPV, les activités d'assemblage au sein de ces entreprises sont assez récentes. Ajoutons à cela, la faible demande sur le marché local en raison du coût encore assez important.

2-Le développement de la connaissance (fonction 02) :

2-1-Les réseaux de recherche :

Le programme algérien de la recherche pour les énergies renouvelables lancé en 2011, axe ses efforts sur les activités au sein des centres de recherche, des universités mais aussi des entreprises.

2-1-1-Les centres de recherche :

À travers le tableau n°15 ci-dessous, nous établissons une synthèse de l'ensemble des unités de recherche activant en Algérie. L'objectif d'une telle synthèse est de faire ressortir le rythme de lancement, mais aussi la part des activités d'innovation relatives à l'énergie solaire.

Cette synthèse est le produit d'une compilation de plusieurs lectures portant sur l'ensemble des centres et entités de recherche toutes spécialités confondues. Elle fait ressortir les entités dont les activités (principales et secondaires) sont axées sur le développement des technologies énergétiques renouvelables.

Pour ce faire, nous nous sommes appuyée sur une base de données visible sur les sites internet du ministère de l'enseignement supérieur (MESRS) et de l'agence thématique de recherche en sciences et technologies (ATRST).

Tableau n°15 : Réseau de recherche sur les énergies renouvelables en Algérie, (1982-2004)

Établissements	Date de création	Observations
Les centres de recherche		
CDTA (Centre de Développement des Technologies Avancées)	1982	Centre de Développement des Techniques Avancées au sein du Commissariat aux Énergies Nouvelles (CEN). Il est devenu par la suite établissement public à caractère scientifique et technique (EPST) à partir de 1999.
CERIST (Centre de Recherche sur l'Information Scientifique et Technique)	1985	Rattaché au haut-commissariat de la recherche en 1986 et devenu établissement public à caractère scientifique et technique (EPST) à partir de 2003
CRTI (Centre de Recherche en Technologies Industrielles)	1985	Crée sous l'appellation ; laboratoire de soudage et de contrôle non destructif. Il est devenu un établissement public à caractère scientifique et technique à partir de 2003.
CDER (Centre de Développement des Énergies Renouvelables)	1988	Établissement public à caractère scientifique et technique (EPST). C'est l'entité chargée de la mise en œuvre des programmes publics de la recherche et le développement scientifique et technologiques liés à l'exploitation des énergies renouvelables.
CRTSE (Centre de Recherche en Technologies des Semi-conducteurs pour l'Énergétique)	2012	Crée sur la base du prolongement des entités comme UDTS (Unité de développement de la technologie de silicium), LMS (Centre de développement des matériaux), LCCM (Laboratoire des cristaux et des couches minces), Centre des sciences et de la technologie nucléaire, et le laboratoire de physique.
Les entités de recherche rattachées aux centres de recherche		
UDES (Unité de Développement des Équipements Solaires)	Créée en 1988 et intégrée le CDER en 2007	Unité de recherche rattachée au CDER
URERMS (Unité de Recherche en Énergies Renouvelables en Milieu Saharien)	Créée en 1988 et intégrée le CDER en 2004	Unité de recherche rattachée au CDER
URAER (Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables)	Créée en 1999	Unité de recherche rattachée au CDER
UDCMA (Unité de Développement des Couches Minces et Applications)	Créée en 2012	Unité de recherche rattachée au CRTI
Unités de recherche rattachées aux universités et écoles		
URMER (Unité de Recherche Matériaux et Énergies Renouvelables)	Créée en 2004	Unité rattachée à l'université de Tlemcen, créée en prolongement du laboratoire LMER (Laboratoire Matériaux et Énergies Renouvelables)

Source : Construction personnelle de l'auteure

La première lecture de cette synthèse fait ressortir un élément marquant à savoir l'ancienneté des principaux centres et unités de recherche. En effet, nous observons que la majorité des centres et unités de recherches - à l'exception du CRTSE (Centre de Recherche en Technologies des Semi-conducteurs pour l'Énergétique), UDCMA (Unité de Développement des Couches Minces et Applications), et l'URMER (Unité de Recherche Matériaux et Énergies Renouvelables) - existent déjà depuis plusieurs décennies. Toutefois, l'étendue de leurs activités n'a démarré qu'après 2011 date du lancement du programme national des énergies renouvelables.

2-1-2-Les laboratoires de recherche affiliés aux universités :

La lecture des informations relatives aux laboratoires de recherche rattachés aux universités, nous a conduit à relever l'évolution du nombre et rythme de création des laboratoires orientés vers l'enrichissement de la base des connaissances tournées vers le domaine des énergies renouvelables et solaires, photovoltaïques plus spécifiquement.

La base de données qui nous a été utile pour la présentation de ces informations est celle de l'Agence Thématique pour la Recherche Scientifique et Technologique (ATRST)⁴⁰³ affiliée à la DGRSDT (Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique) car représentant la seule base dont nous avons pu disposer. Cette base prend en considération l'ensemble des laboratoires de recherche en Algérie dans cinq (05) domaines :

- le domaine de recherche en sciences de la santé,
- le domaine de recherche en science de la nature et de la vie,
- le domaine de recherche en biotechnologie et sciences agroalimentaires,
- le domaine de recherche en sciences et technologie,
- le domaine de recherche en sciences sociales et humaines.

La particularité du domaine de l'énergie à regrouper plusieurs sciences à la fois (chimie, sciences des matériaux, physique, ingénierie, etc.) rend l'analyse complexe. C'est dans ce sens, que nous procéderons dans un premier temps à une comparaison du poids de chaque domaine, puis seulement après à l'analyse du domaine particulier de la recherche en sciences et technologie.⁴⁰⁴

Tableau n°16 : Effectif des laboratoires et entités de recherche affiliés aux universités en Algérie (période 2000 à 2016)

Domaine de recherche	Sciences et Technologie	Sciences Sociales et Humaines	Sciences de Nature et de la Vie	Biotechnologie et Sciences Agroalimentaires	Sciences de la Santé	Total
Nombre total	648	517	106	86	79	1.436
Pourcentages	45,12 %	36%	7,38%	6%	5,50%	100%

Source : Construction personnelle de l'auteure d'après la base de données de l'ATRST⁴⁰⁵

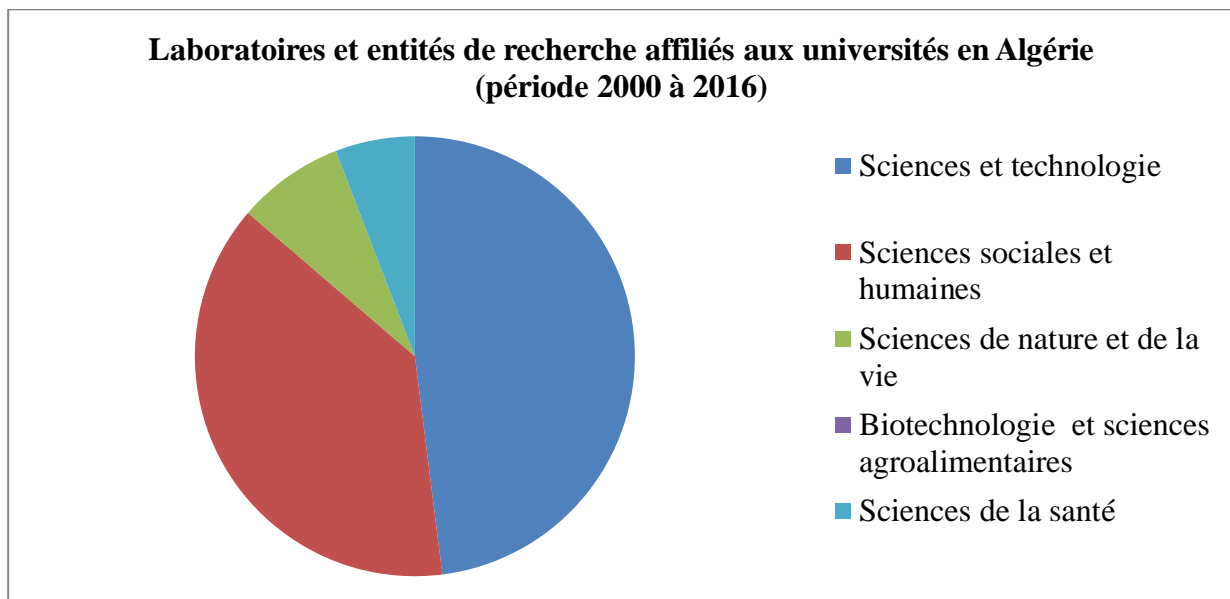
La représentation graphique de cette répartition est détaillée sur la figure ci-dessous :

⁴⁰³ Liste des laboratoires de recherche affectés aux agences téléchargeable sur le site : <https://atrst.dz/laboratoires-de-recherche/>, consulté le 22/09/2021

⁴⁰⁴ Une rubrique « Annuaire des laboratoires de recherche » existe sur le site internet de la DGRSDT. Néanmoins, elle est non opérationnelle.

⁴⁰⁵ Ibid.Op. Cit

Figure n°40 : Répartition des laboratoires de recherche en Algérie (période 2000 à 2016)



Source : Construction personnelle de l'auteure d'après la base de données de l'ATRST⁴⁰⁶

Il ressort de ce tableau et représentation graphique que c'est le domaine de recherche en Sciences et Technologie qui regroupe le plus d'entités avec 648 créés entre les années 2000 et 2016 soit environ (45,12 %). Les Sciences Sociales et Humaines sont aussi relativement bien loties puisqu'elles suivent avec pas moins de (36%) du total des structures de recherches. Les parents pauvres de ces domaines incarnent les Sciences de Nature et de la Vie (7,38%), la Biotechnologie et les Sciences Agroalimentaires (6%) et les Sciences de la Santé (avec à peine 5,5%).

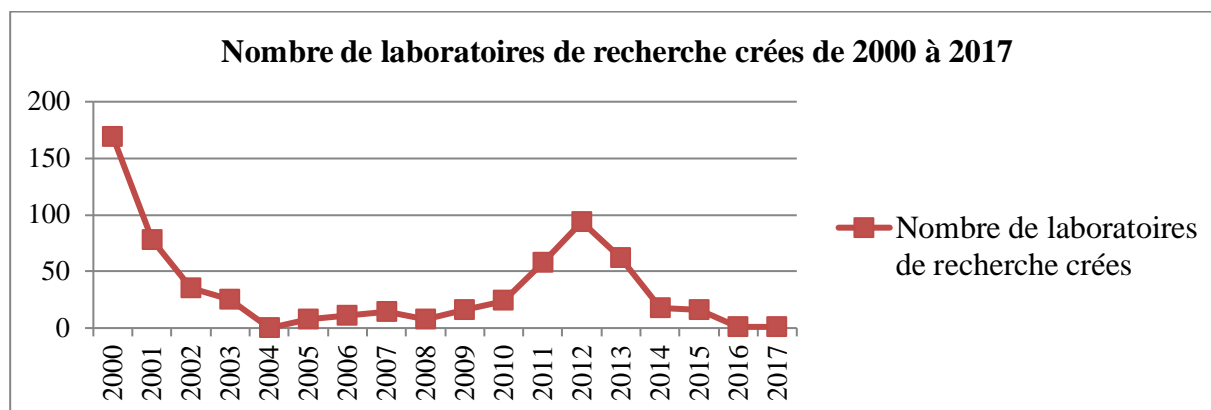
L'objet de notre recherche résidant en l'énergie solaire, ce sont en conséquence les entités de recherche ayant trait au domaine des sciences et technologies qui retiendront toute notre attention. Dans ce contexte de recherche il paraît difficile de compartimenter clairement les recherches touchant aux énergies et énergies renouvelables puisqu'elles peuvent être intégrées dans le domaine technique mais aussi biotechnologique tels que l'énergie biomasse.

L'énergie solaire sur laquelle nous nous penchons réfère ainsi aux entités de recherche impliquées dans le domaine des sciences et de la technologie. Mais il est tout de même assez complexe de séparer de manière tranchée le poids de cette énergie solaire d'avec les autres sources d'énergie.

L'évolution du nombre de laboratoires de recherche en Sciences et Technologie sur la période définie entre 2000 et 2017 apparaît ainsi dans la figure n° 41 suivante :

⁴⁰⁶ Ibid.Op. Cit.p196.

Figure n°41 : Évolution des laboratoires de recherche en sciences et technologie entre 2000 et 2017



Source : Construction personnelle de l'auteure d'après la base de données de l'ATRST⁴⁰⁷

L'évolution montre une tendance à la hausse à partir de 2010 avec un fléchissement à partir de 2014.

Il est important de noter que des mesures d'évaluation ont été menées durant l'année 2018 conduisant à de grands changements dans l'effectif de ces laboratoires de recherche. En effet, les évaluations concernant les activités de ces laboratoires sur une durée de trois (03) ans ont amené à la dissolution de certains laboratoires de recherche du fait des dysfonctionnements et des lacunes ayant marqué leurs travaux et leurs résultats. APS, (Décembre 2018)⁴⁰⁸. Il est à noter que ces mesures d'évaluation sont périodiques et ne se limitent pas sur une seule année.

L'état des lieux réalisé par la DGRSDT, (2017)⁴⁰⁹, affiche pour l'année 2016 un taux d'acceptation de 70%, signifiant que 70% des laboratoires de recherche évalués ont présenté des bilans positifs. Nous constatons par ailleurs que le taux de rejet est beaucoup moins signifiant pour les domaines des sciences dures ; (physique 3%, chimie 5%, sciences de l'ingénieur 10%, Maths 10%), et ce, à l'opposé des sciences humaines et sociales où le taux de rejet dépasse les 50%⁴¹⁰.

2-1-3-Les laboratoires de recherche affiliés aux entreprises :

À partir de nos recherches sur les activités d'innovation au sein des entreprises algériennes activant dans le domaine des énergies renouvelables, nous observons que les activités de recherche et de développement sont limitées au niveau des entreprises publiques. Ceci peut s'expliquer par le coût et les risques importants que ces activités impliquent.

⁴⁰⁷ Ibid.Op. Cit.p196.

⁴⁰⁸ APS, 2018, <http://www.aps.dz/sante-science-technologie/82547-recherche-scientifique-ouverture-de-81-nouveaux-laboratoires-de-recherche> consulté le 09 12 2019

⁴⁰⁹ Conseil National d'Evaluation de la recherche, DGRSDT, 2017, « Etat des lieux de la recherche scientifique et le programme de la DGRSDT pour l'année 2018 », Alger 23 décembre 2017.

⁴¹⁰ Tableau détaillé en annexe n° 01.

En effet, les subventions et allègements fiscaux⁴¹¹ accordés aux investissements privés visant au développement de la recherche dans les entreprises demeurent très en deçà des besoins réels pour l'intégration des activités de recherche. Sehraoui, (2014)⁴¹².

De plus, les activités de R&D font face à des résistances à l'intérieur même de ces entreprises, puisque ces activités viennent bouleverser les normes de travail, la hiérarchie des valeurs, les critères d'évaluation et la progression de carrière. Des lacunes qui ne font pas le poids face à des résultats, de leur point de vue, fort douteux. Ouchalal et Ferfera (2020)⁴¹³

Nous observons par ailleurs, que l'orientation des entreprises publiques vers les énergies renouvelables est récente et ne fait pas partie de leurs activités principales. Ceci reflète d'un côté, l'intérêt croissant que portent les pouvoirs publics sur l'émergence des énergies renouvelables et le solaire d'une manière plus accentuée, et de l'autre côté, l'absence sur le marché d'une entreprise publique spécialisée dans les énergies solaires photovoltaïques.

Les entreprises publiques en question sont :

- **Le groupe SONATRACH** : à travers la « *division laboratoires* », issue de la réorganisation, en 2009, du CRD (Centre de Recherche et de Développement). Il s'agit d'une structure rattachée à l'activité amont de l'entreprise. Elle cible prioritairement les travaux de prestations d'études d'essais et d'expertises dans le domaine pétrolier. Salami, (2010)⁴¹⁴

Depuis 2018, la SONATRACH s'est lancée dans la réalisation d'un laboratoire solaire intelligent, dédié ainsi spécialement au développement des énergies solaires. Ce laboratoire rentre dans le cadre d'une coopération internationale avec l'entreprise italienne ENI et ciblera le développement des applications innovantes destinées à des utilisations dans des installations Oil & Gas au niveau de la wilaya d'Ouargla (Bir Flebaâ). L'objectif d'un tel projet est la création d'une synergie avec les opérations en cours. Litamine, (2018)⁴¹⁵

- **Le groupe SONEGAS** : à travers son Centre de Recherche et de Développement de l'Électricité et du Gaz (CREDEG) qui a été filialisé en 2005.

« *Le centre a pour principale vocation la recherche appliquée, le développement technologique, l'expertise des équipements industriels et l'analyse des comportements des*

⁴¹¹ Exonération des droits de douanes sur l'importation des équipements destinés aux activités de R&D

⁴¹² In Ouchalal.O.H, Ferfera. M, 2020, « Le système national de recherche scientifique en Algérie est – il au service du développement et d'innovation technologique ? », Revue des Sciences Economiques, de Gestion et Sciences Commerciales, Volume :31. / N° : 02 (2020), p 225-346.

⁴¹³ Ouchalal.O.H, Ferfera. M, 2020, « Le système national de recherche scientifique en Algérie est – il au service du développement et d'innovation technologique ? », Revue des Sciences Economiques, de Gestion et Sciences Commerciales, Volume :31. / N° : 02 (2020), p 225-346.

⁴¹⁴Salami.Youcef, 2010, « les laboratoires de sonatrach redéployés, analyse géologique et chimique, études pluridisciplinaires », publié dans la Tribune 19 07 2010, <https://www.djazairress.com/fr/latribune/37362> consulté le 16/12/2019

⁴¹⁵Litamine.K, 2018, « Sonatrach et ENI, signent un contrat pour la réalisation d'un laboratoire solaire intelligent », 24 novembre 2018, <https://www.algerie-eco.com/2018/11/24/sonatrach-et-eni-signent-un-contrat-pour-la-realisation-dun-laboratoire-solaire-intelligent/> consulté le 16/12/2019

équipements, et matériaux en phase d'exploitation et de fabrication dans le domaine des métiers de base des sociétés du Groupe SONELGAZ. »⁴¹⁶

Le centre s'est lancé depuis 2018 dans la création d'un laboratoire d'homologation des équipements intégrés dans les centrales solaires. Atcha, (2018)⁴¹⁷. Les équipements en question sont destinés à assurer des tests et des essais sur les installations solaires autonomes ou connectées au réseau.

-ENIE : à travers son laboratoire de recherche axé sur les technologies électroniques mais aussi sur l'étude du rendement des projets photovoltaïques, la performance électrique des panneaux photovoltaïques, ainsi que la conception et la réalisation de prototype⁴¹⁸

Cette lecture laisse apparaître un intérêt récent sur les énergies renouvelables et notamment solaires dans les décisions de ces laboratoires de recherche. Cela reflète nettement une certaine volonté à conquérir un marché en plein essor associé à un grand potentiel naturel.

Elle laisse apparaître également une place importante pour les activités de R&D au sein des entreprises publiques.

Néanmoins, à l'instar des entreprises privées, ces activités font également face à de nombreux blocages comme :

- l'instabilité du personnel scientifique et des staffs de direction,
- l'absence d'autonomie dans la prise des décisions à risque.

Ces blocages font que les activités de R&D trouvent une meilleure place dans les organigrammes que dans les faits. Khelifaoui et al, (2007)⁴¹⁹

2-2-Les contributions scientifiques indexées :

Le premier impact du programme national de recherche en énergies renouvelables, se fait sentir sur le nombre de contributions scientifiques indexées⁴²⁰. Sur la base des données publiées par le CDER (Centre de Développement des Énergies Renouvelables), nous observons depuis 2011 une augmentation très marquante du nombre des contributions scientifiques indexées, et ce, concernant le domaine des énergies renouvelables.

⁴¹⁶ CREDEG, www.credeg.com/ consulté le 16/12/2019

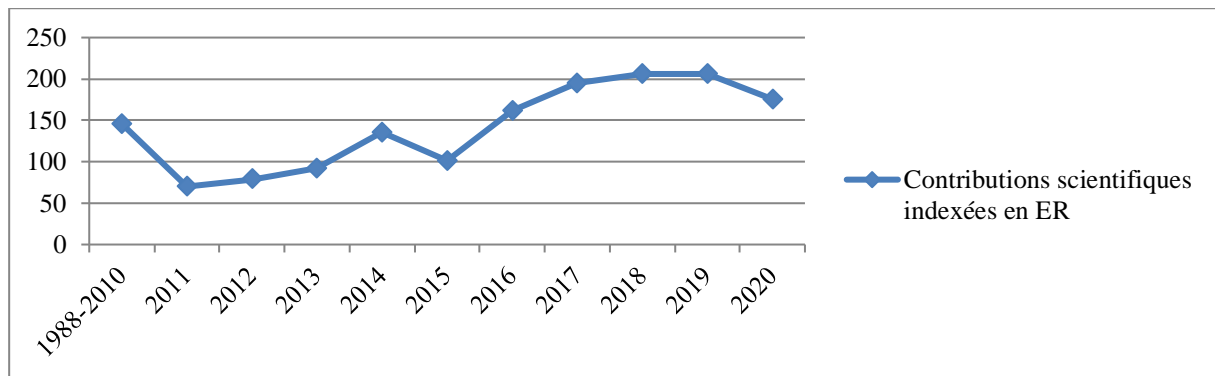
⁴¹⁷ Atcha.E, 2018, « Algérie : Sonelgaz lance un projet de laboratoire d'homologation des équipements de centrales solaires », <https://afrique.latribune.fr/entreprises/industrie/energie-environnement/2018-11-30/algerie-sonelgaz-lance-un-projet-de-laboratoire-d-homologation-des-equipements-de-centrales-solaires-799423.html> consulté le 16/12/2019

⁴¹⁸ ENIE, <http://www.enie.dz/?portfolio=laboratoire-des-systemes-des-energies-renouvelables>, consulté le 16/12/2019

⁴¹⁹ Khelifaoui.H, Ferfera.Y, Ouchalal.H, 2007, « Accès aux technologies et pratiques de la R & D dans les entreprises publiques algériennes », Cahiers du CREAD n°8182,2007, pages 99128.

⁴²⁰ L'indexation au niveau de la base de données Scopus et WoS (Web of Science).

Figure n°42 : Évolution du nombre de contributions scientifiques en EnR indexées, (1988-2020)



Source : Construction personnelle de l'auteure à partir des données publiées sur le site du CDER⁴²¹

En effet, le nombre de publications pour la seule année 2020 est estimé à 175, alors que pendant toute la période allant de 1988 à 2010, le nombre était de 146.

L'augmentation importante des contributions indexées durant la période 2012-2014 s'explique par deux raisons :

- la première, concerne l'instauration d'une charte d'écriture unique⁴²² des affiliations des auteurs dans les publications scientifiques du CDER ainsi que ses trois unités de recherche. Cette mesure a nettement abaissé le taux de déperdition moyen de 75% durant toute la période 1990-2012 pour atteindre une moyenne de 42% durant l'année 2014,

- la deuxième raison expliquant la hausse des contributions scientifiques indexées (notamment durant l'année 2014) est la consolidation des contributions des différentes unités de recherche du CDER.

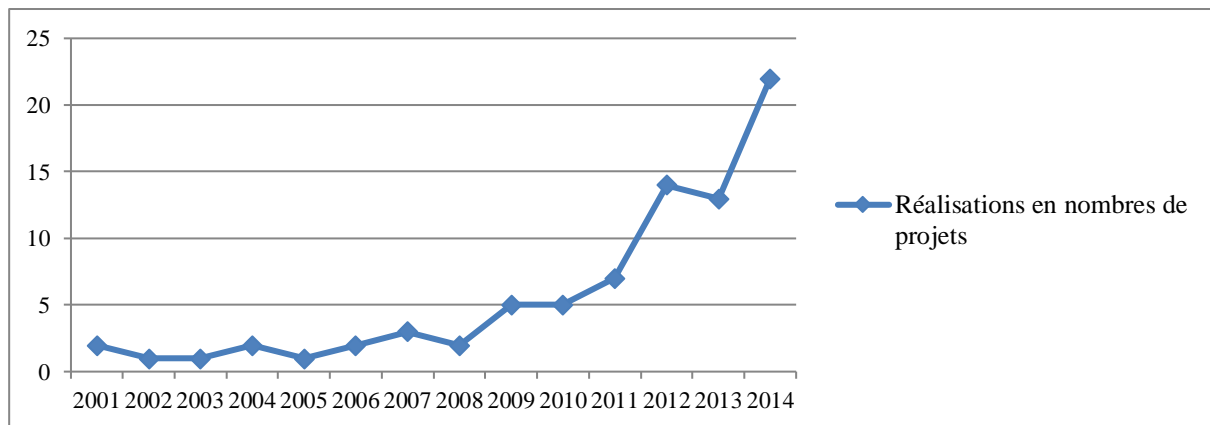
2-3-Les réalisations en nombre de projets de recherche en EnR :

L'analyse de la même base de données, nous démontre que le nombre de projets de recherche a lui aussi augmenté durant les dernières années : 22 projets de recherche sur les énergies renouvelables ont été réalisés durant l'année 2015, alors que la moyenne était de 2,4 projets durant la période 2001-2010.

⁴²¹ CDER, Rubrique « contributions scientifiques », <https://www.cder.dz/spip.php?rubrique323> consulté le 17/08/2021. Le graphique représente les informations disponibles sur le site internet du CDER (arrêtées à 2017)

⁴²² Il s'agit d'une valorisation des travaux existant en les adaptant aux normes d'écriture de Scopus et Web of Science.

Figure n° 43 : Réalisations des projets de recherche pour l'Algérie, (2001-2014)



Source : Construction personnelle de l'auteure à partir des données publiées sur le site du CDER⁴²³

➤ **Répartition des projets de recherche par secteur d'activité :**

À partir de la lecture des fiches relatives aux 88 projets de recherche domiciliés au CDER et ses filières, nous constatons que plus de 65% de ses projets traitent de l'énergie solaire photovoltaïque et thermique, 11% de la biomasse, 10 % de l'éolien et un très faible taux est partagé entre la géothermie, les installations hybrides et les projets traitant de l'efficacité énergétique.

Le poids important du solaire s'observe également dans le type de projet. En effet, nous observons que les projets traitants l'éolien sont encore en phase d'essai, contrairement aux projets liés au solaire, qui sont majoritairement en phase de réalisation de prototypes.

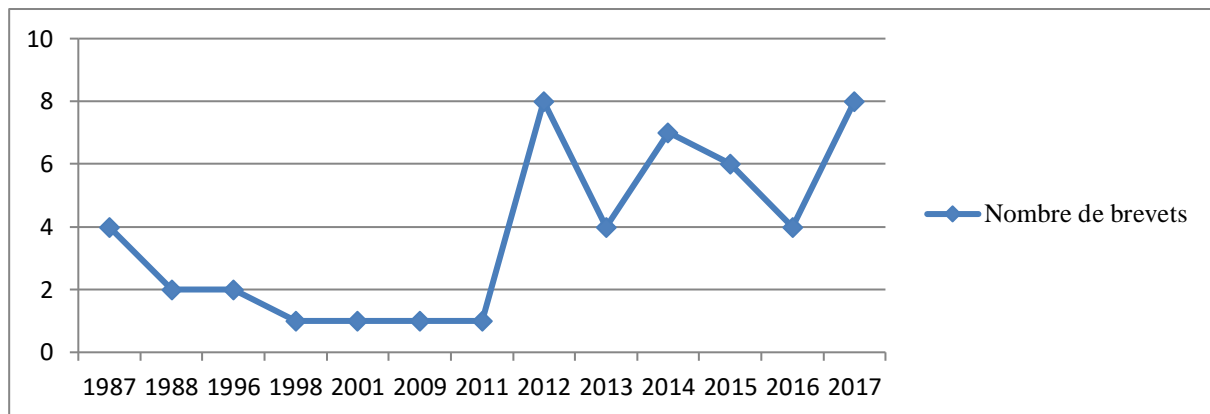
Il est à préciser que la base de données du CDER prend en compte les projets de recherche autour des énergies renouvelables sur l'ensemble des entités de recherche à l'échelle nationale.

2-4-L'évolution du nombre de brevets en énergies renouvelables :

Le nombre des brevets ne suit pas la même tendance que les deux précédents indicateurs. En effet, nous observons un décollage assez marquant à partir de l'année 2012. Toutefois, l'évolution en dents de scie après cette année demeure assez timide ne dépassant pas les 08 brevets par an.

⁴²³ CDER, Rubrique « Réalisations » <https://www.cder.dz/spip.php?rubrique35>. Consulté le 05/12/2020. Le graphique représente les informations disponibles sur le site internet du CDER (arrêtées à 2015)

Figure n°44 : Évolution du nombre de brevet en EnR pour l'Algérie, (1987-2017)



Source : Construction personnelle de l'auteure à partir des données publiées sur le site du CDER⁴²⁴

Les tendances d'évolution des différents indicateurs de la production scientifique peuvent refléter un intérêt croissant à partir de l'année 2011. Ceci peut être traduit comme une première conséquence du lancement du programme national sur les activités de recherche d'une manière générale.

Néanmoins, l'évolution timide des indicateurs comme le brevet, référant au poids de la production scientifique dans l'économie, laisse apparaître de réelles lacunes.

En effet, depuis 2011 seulement 26% des projets de recherche en énergies renouvelables, sont associés à un brevet d'invention. Ce faible taux peut refléter un certain décalage entre le volet recherche et le volet industrialisation.

Cette situation ne date pas d'hier et continue de peser lourd sur l'économie algérienne, surtout sur des secteurs dits stratégiques comme c'est le cas pour les énergies renouvelables.

Les raisons de ce décalage entre recherche et industrialisation peuvent être multiples :

Pour Khalfaoui (2001)⁴²⁵, la politique algérienne bâtie depuis l'indépendance a donné naissance à un état favorisant le contrôle au détriment de la régulation et l'encouragement de l'initiative individuelle. Conséquence à cela, toutes les catégories innovatrices et entrepreneuriales se retrouvent confrontées au poids qu'impose la lourdeur de la sphère politico-administrative amenant à des résultats ne rentabilisant guère les importants fonds alloués, avec en addition des efforts de création de centres de recherche et des commissions qui se voient réduits à des structures sur papier et sans efficacité.

⁴²⁴ CDER, Rubrique « Brevets » <https://www.cder.dz/spip.php?rubrique483> consulté le 17/08/2021. Le graphique représente les informations disponibles sur le site internet du CDER (arrêtées à 2017)

⁴²⁵ Khalfaoui.H, 2001, « La recherche scientifique en Algérie : initiatives sociales et pesanteurs institutionnelles In : Où va l'Algérie ? Aix-en-Provence : institut de recherches et d'études sur les mondes arabes et musulmans, 2001. <http://books.openedition.org/ireman/419>. consulté le 23/09/2021.

Une autre raison pouvant justifier ce décalage est la faible attractivité des centres de recherche vis-à-vis des chercheurs, pesant lourd sur la capacité du pays à prendre en charge des projets ambitieux comme c'est le cas pour le Programme National des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique (PNEREE). En effet, les avantages offerts pour les statuts de chercheur permanent ou de personnel de soutien provoquent un départ massif vers des carrières purement universitaires ou pour le secteur privé. Rapport CEREFÉ (2020)⁴²⁶

Quant à la désirabilité de brevetage, elle est étroitement liée également aux bénéfices financiers pouvant être récoltés des royalties lorsque les brevets seront destinés aux laboratoires privés. De ce fait, l'orientation des chercheurs pour le brevetage pour les universités publiques se voit vite remise en question. Pénin (2011)⁴²⁷

Par ailleurs, pour réduire le décalage « recherche-industrie », surtout dans un domaine comme celui des énergies solaires photovoltaïques, prendre en compte l'orientation de la recherche est d'une importance cruciale. En effet, la recherche théorique ou fondamentale n'aidant pas à l'émancipation de connaissances techniques et technologiques réelles et nécessaires sur les terrains, pèse lourd sur l'émergence d'une industrie créatrice. D'autant plus que l'évaluation et la validation de ce type de recherche nécessite des moyens indisponibles pour le moment en Algérie. Rapport CEREFÉ (2020)⁴²⁸

Ceci ne réduit pas pour autant l'importance de la recherche théorique ou fondamentale pour une économie, mais il est question d'adapter -dans un premier temps- l'orientation des recherches vers les besoins primaires de l'économie réconciliant peu à peu la reconnaissance de la recherche des centres de recherche avec les besoins des entreprises sur le marché.

3-La diffusion de la connaissance (fonction 03) :

3-1-Activités des clusters :

Le cluster est un mécanisme établi et régi par l'État afin d'encourager les firmes en concurrence à se regrouper et partager leurs compétences et découvertes. Ce regroupement concerne un projet rapportant un intérêt commun à toutes les firmes et surtout un rendement social, tout en réduisant le risque financier que chaque firme supporterait si elle agissait seule.

Le CES « Cluster algérien des énergies solaires » est le premier et unique cluster algérien. Il a été créé en Mai 2017 sans capital social, avec principal objectif la création d'un réseau d'entreprises et d'acteurs nationaux exerçant dans la chaîne de valeur du solaire. Les

⁴²⁶ Ibid.Op. Cit.p193

⁴²⁷ Pénin.J, 2011, « Sur les conséquences du brevet d'invention dans la science : résultats d'une enquête auprès des inventeurs académiques français », L'Actualité économique, vol. 87, n° 2, 2011, p. 137-173.

⁴²⁸ Idem

Chapitre 4 Le système d'innovation technologique pour les énergies solaires en Algérie

activités de cette chaîne concernent⁴²⁹ : la fabrication des équipements de production, de stockage, de transformation, d'évacuation, de contrôle, de gestion, d'installation jusqu'à l'exploitation et la maintenance de systèmes et centrales photovoltaïques.

Les différents membres de ce cluster ainsi que leurs activités respectives sont représentés à travers le tableau n°17 ci-dessous :

Tableau n°17 : Composition du Cluster algérien des Énergies solaires (arrêté à Avril 2018)

	Membres	Activité principale / contribution dans la chaîne de valeur du photovoltaïque en Algérie
Membres fondateurs (MF)	<ul style="list-style-type: none"> -ALPV -Amimer energie -Aurés solaire -Condor Electronics -Enie -ER2 -Innova contracting -Innova solar -Iris Jc -Mekenergie -Sungy 	<ul style="list-style-type: none"> - Fabrication de modules PV - Fournisseur d'équipements électriques- études - Fabrication de panneaux solaires -Fabrication de panneaux PV -Fabrication de panneaux PV- installation -Etudes et réalisations en énergies renouvelables - Construction, exploitation et maintenance -Fabrication de modules photovoltaïques - Commercialisation de composants- assemblage - Vente et installation matériel énergie solaire -Etudes – installation – exploitation
Membres associés (MaS)	<ul style="list-style-type: none"> -CDER -CRTSE -DG PME au MIM 	<ul style="list-style-type: none"> -Centre de développement des énergies renouvelables - Centre de recherche en technologies des semi-conducteurs pour l'énergétique
Membres adhérents (MaD)	<ul style="list-style-type: none"> -ABB Algérie - Armorgreen Algérie - Zergoun Green Energy - Constalica Algérie - Emergy - Milletech 	<ul style="list-style-type: none"> -Distribution des produits électriques - Réalisation des projets en énergie solaire PV -Assemblage de panneaux PV - Fabrication et assemblage des panneaux PV - Cabinet de consulting au service des entreprises - Fournisseur de produits et services de télécommunication

Source : Construction personnelle de l'auteure

⁴²⁹ CES : <http://www.ces-algeria.com/>, consulté le 16/12/2020.

Nous observons que le cluster rassemble des entreprises de production, de services, des centres de recherche et des cabinets de consulting mais aussi une entité du ministère de l'industrie et des mines.

L'activité du cluster s'articule autour des plans d'actions. Seules les actions du premier plan 2017/2018 sont communiquées sur le site officiel du cluster. Il s'agit d'assurer quatre (04) groupes de travail dont l'objectif est de traiter : le programme national des énergies renouvelables, la réglementation, le financement et la compétitivité.

3-2-Organismes d'appui à la diffusion de la connaissance :

3-2-1-L'institut national Algérien de la propriété industrielle INAPI :

Établissement public à caractère industriel et commercial installé en 1998, et dont la mission principale est la mise en œuvre de la politique nationale de la valorisation des résultats de la recherche scientifique et technologique, et ce, en soutenant la performance des entités de recherche à travers l'attribution et la gestion des brevets.

3-2-2-Les Centres d'Appui à la Technologie et à l'Innovation CATI :

Projet initié par l'organisation mondiale de la propriété intellectuelle OMPI conjointement avec l'INAPI dans le but de créer une plateforme assurant la diffusion de l'information technique. Un outil destiné aux chercheurs leur offrant toutes les informations nécessaires à la rédaction et la protection de leurs brevets. Le réseau CATI s'étend sur tout le territoire national, en s'associant avec les universités. Il élargit ainsi leurs missions pour les étudiants et doctorants porteurs d'idées de projets innovants. Aujourd'hui (32) centres sont enregistrés sur tout le territoire national toutes spécialités confondues.

3-2-3-Les Centres d'Innovation et de Transfert de Technologies CITT :

Établissements scientifiques, rattachés aux universités, qui œuvrent pour rapprocher les entités de recherche et les entreprises. L'objectif principal de ces établissements est d'assurer un transfert de technologie et permettre ainsi une meilleure exploitation des brevets. Aujourd'hui quatre (04) centres sont enregistrés sur le territoire national.

3-2-4-Les incubateurs :

Nouvelles structures d'aide destinées aux entrepreneurs porteurs de projets innovants. À travers des formations sur les brevets ainsi que sur l'utilisation des bases de données, mais aussi le financement des projets, l'entité assure un accompagnement de ces entrepreneurs jusqu'à création de leurs entreprises. Aujourd'hui quatre (04) incubateurs sont enregistrés sur le territoire national.

3-3-Liens entre les principaux intervenants :

La lecture des interactions entre les principaux acteurs dans le système d'innovation technologique solaire algérien revêt une importance majeure. Il s'agit d'un indicateur qui fait ressortir la force de la diffusion des connaissances entre les acteurs mais aussi la clarté de la stratégie fixée par les pouvoirs publics.

La lecture des sites internet des différentes entreprises et entités de recherche algériennes nous a aidée à relever l'ensemble des coopérations existantes dans le domaine des énergies renouvelables et notamment solaire PV qu'elles soient nationales ou internationales. Nous les listons ci-dessous :

3-3-1-Les coopérations nationales :

-les coopérations scientifiques entre l'entreprise nationale ENIE et le centre de recherche CDTA (Centre de Développement des Technologies Avancées), la DGRSDT (Direction Générale de la Recherche Scientifique et de Développement Technologique), mais aussi l'université de Sidi Bellabes.

Ces différentes coopérations s'articulent autour des actions d'accompagnement et soutien scientifique, technologique et industriel de l'unité solaire de l'entreprise. Elles visent également l'accompagnement des étudiants de Master et Doctorat dans la réalisation de leurs projets de recherche en bénéficiant de l'appui technique de l'entreprise tout en partageant les connaissances acquises,

-les coopérations scientifiques entre le CDER (Centre de Développement des Énergies Renouvelables) et les acteurs socio-économiques comme la SONELGAZ et ses filiales, CEEG (Compagnie d'Engineering de l'Électricité et Gaz), SIM (Semoulerie Industrielle de la Mitidja), CONDOR, CEVITAL, mais aussi les institutions publiques comme l'APRUE (Agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie), le CREDEG (Centre de Recherche et Développement de l'Électricité et du Gaz), et le ministère de l'énergie et des mines.

Ces coopérations portent principalement sur des études de faisabilité, de conception, d'installation, mais aussi des formations assurées aux personnels.

3-3-2-Les coopérations internationales :

- coopération scientifique entre le CDER (Centre de Développement des Énergies Renouvelables) et l'université de Sharjah (Émirats Arabes Unis) pour le développement de

projets de recherche en énergies renouvelables présentant des intérêts communs. Cette coopération comprend également la prise en charge des chercheurs des deux institutions.

- coopération internationale en recherche entre l'entreprise nationale SONELGAZ et l'organisation allemande DII Desert Energy.

- coopération scientifique entre SONATRACH et l'entreprise italienne ENI

4-L'orientation publique de la recherche (fonction 04) :

4-1-Les objectifs fixés par le gouvernement :

4-1-1-Le programme national des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique (PNEREE) :

Le programme a été lancé en 2011, il s'articule autour de trois (03) chapitres : les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique ainsi que le développement des capacités industrielles.

Le chapitre des énergies renouvelables s'inscrit dans une vision de transition énergétique à l'horizon 2030 en mettant en valeur les ressources renouvelables dont dispose le pays ce qui permettra de réduire la pression sur le gaz naturel et assurera une économie de l'ordre de 300 milliards de M³. Il vise l'installation d'une capacité de 22 000 MW dont 12000 MW qui seront dédiés à la consommation nationale et 10 000 MW dédiés à l'exportation. MEM, (2011)⁴³⁰.

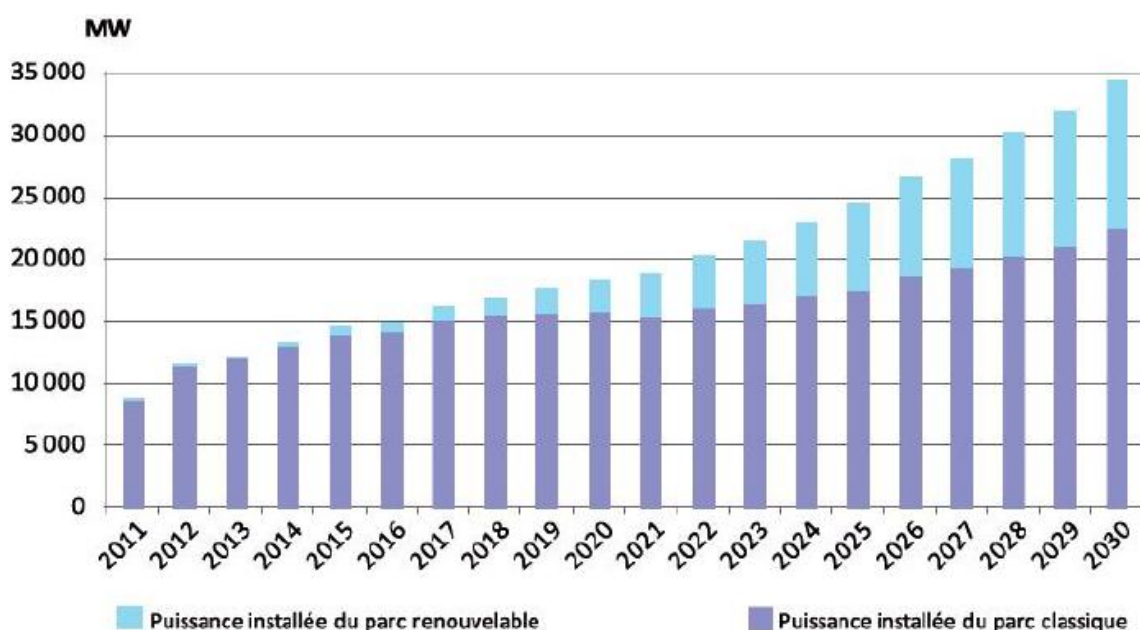
Ces objectifs ont été établis sur la base des estimations qui tenaient compte de l'évolution de la puissance à installer du parc classique préalablement établie. Rapport CEREFÉ (2020)⁴³¹

La figure n° 45 ci-dessous présente l'évolution prévue de la part de la puissance installée du parc renouvelable par rapport à la puissance installée du parc classique :

⁴³⁰ Ibid.Op. Cit.p03

⁴³¹ Ibid.Op. Cit.p193

Figure n° 45 : Évolution estimée du parc national de production d'électricité, (2011-2030)



Source : Rapport CEREFÉ (2020)⁴³²

Les capacités installées du parc renouvelable devraient atteindre 40% des capacités installées globale à l'horizon 2030. Pour réaliser ces objectifs, le programme a été réparti en quatre (04) phases. Les objectifs de réalisation par phase sont détaillés dans le tableau n°18 ci-dessous :

Tableau n°18 : Plan de réalisation du programme PNEREE (version 2011, en MW)

Étape	Action
2011-2013	Réalisation de projets pilotes totalisant une capacité de 110 MW pour tester les différentes technologies.
2014-2015	Début du déploiement du programme avec l'installation d'une puissance totale de près de 650 MW.
2016-2020	Déploiement à l'horizon 2020 d'une capacité minimale de 4600 MW, dont 2600 MW sont destinés au marché intérieur et 2000 MW à l'exportation.
2021-2030	Déploiement à grande échelle du programme en vue d'atteindre à l'horizon 2030 les objectifs respectifs de 12 000 MW, prévus pour la consommation locale et 10 000 MW à mettre sur le marché international.

Source : Rapport CEREFÉ (2020, p 47)⁴³³

Sur les 12 000 MW prévus pour alimenter le marché national à l'horizon 2030, le solaire CSP détenait la part majoritaire avec 7.200 MW (représentant 60%), suivi du solaire

⁴³² Ibid.Op. Cit.p193

⁴³³ Idem

photovoltaïque avec 2.800 MW (représentant 23%) et en dernier l'éolien avec 2.000 MW (représentant 17%). Rapport CEREFÉ (2020)⁴³⁴

Néanmoins, le programme a connu une réactualisation des objectifs en 2015. Cette réactualisation a revu essentiellement les phases de lancement du programme, en raison du retard de lancement, mais aussi la répartition des capacités à installer par source d'énergie.

Cette révision a pris en considération l'évolution des coûts d'investissement et de production de l'électricité à partir des sources d'énergies renouvelables sur le marché mondial. Ainsi, la forte chute du prix du Kwh⁴³⁵ produit par le solaire photovoltaïque comparé à celui du solaire CSP (Concentrated Solar Power) a fortement motivé ces révisions. Rapport CEREFÉ (2020)⁴³⁶

Le plan d'exécution du programme selon les révisions de 2015 est détaillé dans le tableau n°19 ci-dessous :

Tableau n°19 : Plan d'exécution du PNEREE révisé en 2015 (en MW)

	1ère phase 2015- 2020	2ème phase 2021- 2030	Total
Photovoltaïque	3 000	10 575	13 575
Éolien	1 010	4 000	5 010
CSP	-	2 000	2 000
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1 000
Géothermie	05	10	15
Total	4 525	17 475	22 000

Source : Rapport CEREFÉ (2020, p50)⁴³⁷

L'énergie solaire photovoltaïque prend désormais la part la plus importante dans les objectifs du programme (plus de 60%) avec un objectif de 13 575 MW, l'énergie éolienne prend la deuxième position avec un objectif de 5010 MW. Pour l'énergie thermique à concentration (CSP), un objectif de 2000 MW est assigné.

De plus, nous constatons que le lancement de projets CSP n'a été reporté qu'à partir de la deuxième phase du programme, soit après 2021.

⁴³⁴ Ibid.Op. Cit.p193

⁴³⁵ Comme nous l'avons présenté au troisième chapitre de notre travail.

⁴³⁶ Ibid.Op. Cit.p193

⁴³⁷ Idem

Dans ce programme, la recherche et développement ainsi que les coopérations scientifiques entre les différents acteurs (centres de recherches, universités et entreprises) sont mentionnées comme étant des leviers pour la réalisation des différents objectifs.

4-1-2-Le programme national de recherche en énergies renouvelables (PNRER) :

Ce programme s'inscrit comme soutien au programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Il incarne le principal programme algérien lancé dans le cadre de la promotion de l'innovation technologique pour les énergies renouvelables. Son lancement fin 2010 revient à la Direction Générale de la Recherche Scientifique et le Développement Technologique DGRSDT et vise l'évaluation du gisement énergétique y afférent, développer les techniques, les procédés, les matériaux ainsi que la maîtrise des systèmes. CDER, (2010)⁴³⁸

L'élaboration et la mise en pratique de ce programme est à la charge du CDER (Centre de Développement des Énergies Renouvelables), et ce, à travers le déploiement des projets pilotes sur le territoire national.

Ce programme définit les domaines de recherche à cibler par ordre d'importance (solaire, éolien, géothermique, bioénergie, hydrogène et piles à combustible, et d'autres sources d'énergies renouvelables multiples). Chacun de ces domaines est détaillé en axes, les axes en thèmes et les thèmes en projet de recherche. Pour ce qui est du domaine énergie solaire, il est divisé en trois (03) axes :

Tableau n°20 : Répartition des thèmes de recherche par axes dans le domaine de l'énergie solaire, (2011)

Domaine	Axes de recherche	Thèmes de recherche
Energie solaire	Gisement solaire	1-Instrumentation et mesures radiométriques 2- Évaluation du gisement solaire 3- Étude de faisabilité et incidence financière
	Technologie photovoltaïque	1-Matériaux photovoltaïques (cristallogène, filières cristallines et en couches minces des matériaux classiques et nouveaux ...) 2- Procédés technologiques de la cellule solaire 3-Modules photovoltaïques 4- Systèmes et application photovoltaïques (éclairage, protection cathodique, télécommunication, pompage, froid, toit solaire, applications spatiales ...) 5- Centrales photovoltaïques 6- Contrôle, régulation et asservissement 7- Stockage électrochimique
	Technologie thermo solaire	1-Matériaux solaires 2-Capteurs solaires hélio thermiques (plans, concentrateurs ...) 3-Systèmes et applications thermiques (chauffage, séchage, serre, froid thermique, dessalement, distillation ...) 4- Centrales thermodynamiques 5-Habitat solaire (passifs, actifs, matériau, ...) 6-Stockage thermique

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir du site internet du CDER

⁴³⁸ CDER : programme national de recherche PNR en énergies renouvelables, 09 Octobre 2010.

4-2-Les changements dans le programme et le cadre réglementaire :

La première lecture de l'exposé des indicateurs avancés plus haut démontre, d'ores et déjà, l'existence d'une volonté publique pour atteindre les objectifs fixés. Néanmoins, certaines lacunes sont enregistrées depuis le lancement du programme laissant apparaître un manque de synergie et de vision globale à long terme par les décideurs politiques ; notons au début le retard enregistré pour lancer le programme en 2011, pour le reporter à quatre (04) années plus tard (2015).

Nous observons par ailleurs, une indécision des décideurs dans le lancement des projets ambitieux pouvant apporter un élan significatif au programme. Nous pouvons citer l'exemple du grand projet « Atlas 1 » en cours de lancement depuis 2016, relatif à la réalisation de centrales solaires d'une capacité globale de 4050 MW, avec également la production des équipements industriels les concernant. Une telle réalisation aurait assuré à l'Algérie l'atteinte de ces objectifs pour la première phase du programme. Toutefois, le projet en question a connu certaines lenteurs législatives, réglementaires, mais aussi financières compte tenu de l'importance de son coût estimé à quatre (04) milliards de dollars. Rabah, (2017)⁴³⁹. Nous mentionnons par ailleurs, qu'à travers des appels d'offre nationaux et internationaux, les enjeux de tels projets ambitieux, présentent la possibilité de rapatriement de la technologie ainsi que le savoir-faire pour la gestion et la maintenance des installations.

Une indécision sur les mesures incitatives favorables aux acteurs privés est également constatée. Citons le cas de la formule des tarifs d'achat garantis lancée en 2014 puis annulée et remplacée par le système des appels d'offre en 2016, soit deux ans (02) plus tard. La particularité de cette formule est qu'elle offre une garantie aux acteurs privés pour vendre leurs produits sans qu'ils soient concernés par les fluctuations incertaines du marché. Cette annulation renvoie à un climat instable pour les acteurs désirant investir et allouer des fonds pour la recherche et le développement.

La réticence des entreprises algériennes pour se lancer dans la réalisation des projets s'est observée lors de la publication de l'appel d'offre de la Commission de Régulation de l'Électricité et du Gaz (CREG) pour la réalisation de 150MW publié à la fin de 2018. Malgré l'objectif assez modeste du projet, seuls 50 MW (soit le tiers) ont pu trouver preneur. Rajoutant à cela, les lenteurs pour le lancement des travaux même après la validation technique et financière opérée à la fin 2019. CEREFÉ (2020)⁴⁴⁰

⁴³⁹ Rabah.S, 2017, « Appel d'offres énergies renouvelables : lobbying et ballets diplomatiques », liberté, 23/03/2017. <http://www.liberte.dz/environnement/lobbyings-et-ballets-diplomatiques-266765/print/1> consulté le 17/12/2019

⁴⁴⁰ Ibid.Op. Cit.p193.

Cette instabilité dans les prises de décisions importantes est d'autant plus cruciale lorsqu'il s'agit de promouvoir les énergies renouvelables qui sont considérées comme des innovations technologiques radicales, GEA, (2012)⁴⁴¹, car l'adoption de ces innovations technologiques durables prend du temps et nécessite une certaine stabilité dans les mesures publiques.

5-La formation du marché (fonction 05) :

5-1-Le cadre réglementaire :

5-1-1-La loi sur l'innovation technologique :

L'orientation de la recherche scientifique et le développement technologique a fait l'objet de la loi n ° 15-21 promulguée en date du 30 décembre 2015⁴⁴². Elle a pour but de combler l'écart entre la recherche scientifique et le secteur socio-économique. Elle offre la priorité aux programmes ayant une stratégie de développement durable, tels que les projets d'énergies renouvelables. Cette loi vise la programmation, l'évaluation ainsi que la valorisation des activités scientifiques de recherche, mais aussi les affectations financières aux entreprises porteuses de projets innovants, pour leur assurer un soutien à toutes les étapes.

Un résumé des teneurs de cette loi est présenté à travers le tableau n° 21 ci-dessous :

⁴⁴¹ Ibid.op. Cit.p110

⁴⁴² Journal Officiel De La Republique Algerienne N° 71, loi n° 15-21 du 18 Rabie El Aouel 1437 correspondant au 30 décembre 2015 portant loi d'orientation sur la recherche scientifique et le développement technologique.

Tableau n°21 : Résumé des teneurs de la loi algérienne n° 15-21 du 30 décembre 2015

Axe	Eléments traités
<p>Programmation nationale des activités de recherche scientifique et de développement technologique</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Une stratégie nationale globale axée sur le lancement de programmes. - Les activités de recherches scientifiques sont organisées en PNR (programmes nationaux de recherche). - Chaque programme est subdivisé en domaines, les domaines en axes, les axes en thèmes et les thèmes en projets. - Les axes de recherche affectés de leurs thèmes font l'objet de soumission auprès du conseil national de la RSDT - Les priorités du gouvernement en termes de stratégie de développement durable définit l'ordre de priorité des programmes -Les ressources humaines, matérielles, financières nécessaires à la mise en œuvre des programmes sont fixées par voie réglementaire
<p>Évaluation des activités de RSDT</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Les activités de RSDT sont évaluées périodiquement par rapport à l'activité des chercheurs, des entités de recherche et les programmes de recherche
<p>Valorisation- services scientifiques et techniques</p>	<ul style="list-style-type: none"> -La valorisation des résultats de la RSDT est à la charge de l'État. -Les établissements de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique peuvent créer des structures de valorisation des études. -Les entreprises innovantes peuvent bénéficier d'un fond d'amorçage. -Des incitations pour les brevets susceptibles d'applications industrielles peuvent être octroyées. -Des facilités pour la prise en charge en milieu professionnel des thèses de doctorat. -Faciliter et encourager les publications scientifiques, la protection des résultats, production et diffusion de périodiques S&T -La mise en place d'un réseau national de transfert de l'information scientifique et technique
<p>Cadre organisationnel</p>	<ul style="list-style-type: none"> -La mise en place d'organes chargés de l'orientation et la direction des activités de RSDT -Charger l'ATRST d'assurer l'intermédiation et la coordination des activités de RSDT -La création des établissements publics à caractère scientifique et technologique pour l'exécution des activités de recherche -Création des établissements de valorisation, d'innovation et de transfert technologique (ex : CITT) -La mise en place de réseaux et services communs de recherche pour favoriser le travail collectif
<p>Développement des ressources humaines</p>	<ul style="list-style-type: none"> -L'accroissement du potentiel chercheur à plein temps dans les structures de recherche -L'implication accrue des enseignants chercheurs dans les établissements d'enseignement supérieur -La mise a contribution des chercheurs exerçant à l'étranger -simplifier les modalités de mobilité des chercheurs et enseignants entre les établissements de recherches, les universités et les entreprises.
<p>Dispositions financières</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Les moyens matériels et financiers nécessaires pour assurer les activités de RSDT sont assurés par l'Etat. -Allocation des crédits pour les PNR, aux établissements de recherche, aux universités et centres de formation, et aux entreprises nationales publiques ou privées -L'utilisation de ces crédits obéit à des règles de contrôle financier à posteriori.

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir de la lecture de la loi n° 15-21 du 30 décembre 2015

5-2-Les règlements fiscaux spécifiques :

5-2-1-Les tarifs d'achats garantis :

Ce modèle d'incitation s'appuie sur l'obligation d'achat par l'État de l'électricité produite à partir des sources renouvelables des différents opérateurs privés, et ce, avec des tarifs fixés d'avance. Cet accord est notifié par des contrats d'achats allant jusqu'à vingt (20) ans. Cette forme d'incitation est couverte par le Fonds National pour les Énergies renouvelables (FNER).

Ces tarifs sont fixes sur la première phase du contrat qui est de cinq (05) ans, avec des possibilités de révision à partir de la sixième année. Ces révisions éventuelles, assurées par la CREG⁴⁴³, prennent en considération l'évolution de l'installation et du potentiel réel mesuré. Plus précisément, la puissance de l'installation (calculée en MW), la performance technologique des équipements utilisés, mais aussi le potentiel du site d'installation. Ainsi, plus la puissance de l'installation est importante plus les tarifs le seront également.

Le photovoltaïque, et l'éolien sont les filières concernées par ces dispositifs, et ce, selon l'arrêté du 2 Rabie Ethani 1435 correspondant au 2 février 2014. Notons que cette mesure s'est faite remplacer en 2016 par le modèle des appels d'offres.

La lecture du cadre réglementaire ainsi que les instruments fiscaux mis en place nous révèlent une orientation des politiques publiques vers les producteurs de technologies tout en négligeant les consommateurs. Or, comme justifié par la littérature économique (au 1^{er} chapitre), les nouvelles technologies environnementales sur le marché sont stimulées à la fois par des politiques orientant l'offre (technology push) et des politiques incitant à la demande (demand pull). Ainsi, une vision unilatérale peut provoquer un dérèglement de la structure du marché amenant à la dispersion des efforts sans résultat significatif à moyen et long terme. Ceci est d'autant plus justifié lorsque la mise en place d'instruments favorisant l'offre s'appuie sur une allocation importante de ressources.

5-3-Les capacités installées :

Depuis le lancement du Programme National en Énergies Renouvelables et Efficacité Énergétique (PNEREE) en 2011, l'Algérie a réalisé un total de 410,7 MW en électricité

⁴⁴³ Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz

Chapitre 4 Le système d'innovation technologique pour les énergies solaires en Algérie

renouvelable. Ce total englobe les capacités installées connectées au réseau⁴⁴⁴ (représentant 95%) et les capacités installées hors réseau⁴⁴⁵ (représentant 5%).

À travers, le tableau n°22 ci-dessous, nous présentons les différentes réalisations en production d'électricité renouvelable (connectée au réseau) par rapport aux différentes phases du programme révisé.

Tableau n°22 : Objectifs et réalisations en production d'électricité renouvelable (connectée au réseau) pour l'Algérie (2011-2020)

Phases	Objectifs en MW		Réalizations en MW	
Phase 01 2015-2020	Photovoltaïque	3 000	Centrale pilote hybride solaire/gaz de Hassi R'mel (2011)	25
	Éolien	1 010	-----	
	CSP	-	Centrale pilote solaire de Ghardaïa (2014)	1,1
	Cogénération	150	-----	
	Biomasse	360	Ferme éolienne Kabértene Adrar(2014)	10,2
	Géothermie	5	-----	
			Programme SKTM (2014)	343

			Centrale solaire Sonatrach Bir Rebaa Nord Près d'Ourgla (2018)	10
	Total	4 525	Total	389, 3
Phase 02 2021-2030	Photovoltaïque	10 575		
	Éolien	4 000		
	CSP	2 000		
	Cogénération	250		
	Biomasse	640		
	Géothermie	10		
	Total	17 475		

Source : Construction personnelle de l'auteure d'après le rapport du CEREFÉ, (2020. Page 47)⁴⁴⁶

⁴⁴⁴ Appelées également installations « on shore »

⁴⁴⁵ Appelées également installations « off shore »

⁴⁴⁶ Ibid.Op. Cit.p193

Chapitre 4 Le système d'innovation technologique pour les énergies solaires en Algérie

Nous relevons trois (03) projets réalisés entre 2011 et 2014. Ces projets représentent des projets pilotes avec une puissance globale de 36,3 MW sur un objectif de 110 MW initialement prévu, avant les révisions, lors de la première phase (2011-2013). Ces projets sont :

- la centrale hybride (gaz-solaire thermique) de Hassi-Rmel, avec 25 MWc de solaire thermique à concentration CSP (mise en service en 2011),
- la centrale photovoltaïque (PV) de 1.1 MWc de Ghardaïa, englobant les quatre technologies PV, avec et sans poursuite du soleil (mise en service en 2014),
- la centrale éolienne de 10.2 MWc de Kabertène (Adrar), englobant 12 aérogénérateurs de puissance nominale de 850 KW chacun (mise en service en 2014).

Pour la phase de déploiement, nous relevons deux projets :

- EPC (Engineering, Procurement & Construction), a été mis en service en 2014 par la SKTM⁴⁴⁷ totalisant 343MW. Ce projet est constitué de :
 - dix (10) centrales solaires photovoltaïques totalisant 265 MW et partitionnées en trois lots (Est, Centre et Ouest) réalisées au niveau des hauts plateaux,
 - dix (10) centrales dans le cadre du lot sud (78 MW),
- centrale solaire Sonatrach de 10 MW à Bir Rebaa Nord près d'Ourgla, a été mise en service en 2018. Rapport CEREFÉ (2020, P47)⁴⁴⁸

Pour ce qui est des réalisations en électricité renouvelable non connectée au réseau⁴⁴⁹, il demeure difficile de faire un inventaire précis, car cela doit rassembler également les installations autonomes des ménages mais aussi les entreprises privées. Néanmoins, le rapport du CEREFÉ, (2020)⁴⁵⁰, a procédé à un recensement auprès des institutions publiques plus au moins concernées. Elles sont résumées dans le tableau n°23 ci- dessous :

⁴⁴⁷ SKTM (Sharikat Kahrab wa Takat Moutadjadida) : filiale de production d'électricité de Sonelgaz

⁴⁴⁸ Ibid.Op. Cit.p193

⁴⁴⁹ Ce type d'installations est appliqué aux zones isolées pour qui le raccordement au réseau Sonelgaz est difficile et coûteux.

⁴⁵⁰ Ibid.Op.Cit. P 193.

Tableau n°23 : Objectifs et réalisations en production d'électricité renouvelable (non connectée au réseau) pour l'Algérie (2011-2020)

Secteurs recensés	Capacités installées (en MW)
Ministère de la Défense Nationale	3,859
Ministère de l'Intérieur des Collectivités Locales et de l'Aménagement Territorial	9,146
Ministère de l'Energie	0,344
Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural	4,197
Ministère de la Poste et de la Télécommunication	0,937
Ministère de l'Habitat de l'Urbanisme et de la Ville	0,256
Ministère du Tourisme de l'Artisanat et du Travail Familial	0,612
Ministère de la Culture	0,020
Ministère du Transport et des Travaux publics	1,721
Ministère des Ressources en Eaux	0,244
Ministère de Commerce	0,027
Ministère de l'Enseignement et de la Formation Professionnelle	0,012
Total	21,375

Source : Rapport CEREFÉ, (2020 pages 55)⁴⁵¹

Le tableau n° 23 fait ressortir la forte participation du Ministère de l'intérieur avec plus de 9 MW. Les installations en question concernent l'éclairage public, les installations pour les écoles et les foyers des zones isolées, mais aussi à quelques bornes de rechargement électrique installées au niveau de quelques plages⁴⁵².

Le ministère de l'agriculture enregistre également une forte participation comparée aux restes avec plus de 4 MW. Sa participation concerne particulièrement les kits solaires distribués aux zones isolées, mais aussi les systèmes de pompage d'eau en faveur des agriculteurs. Les systèmes en question sont à base de solaire, d'éolien mais aussi hybrides (solaire PV, diesel)⁴⁵³.

Ces réalisations (hors réseau) même si mineures peuvent représenter un réel potentiel pour l'atteinte des objectifs. D'autant plus qu'elles offrent des substitutions rationnelles aux

⁴⁵¹ Ibid.Op. Cit.p193.

⁴⁵² Le détail des réalisations par le ministère de l'Intérieur est présenté en annexe n° 02

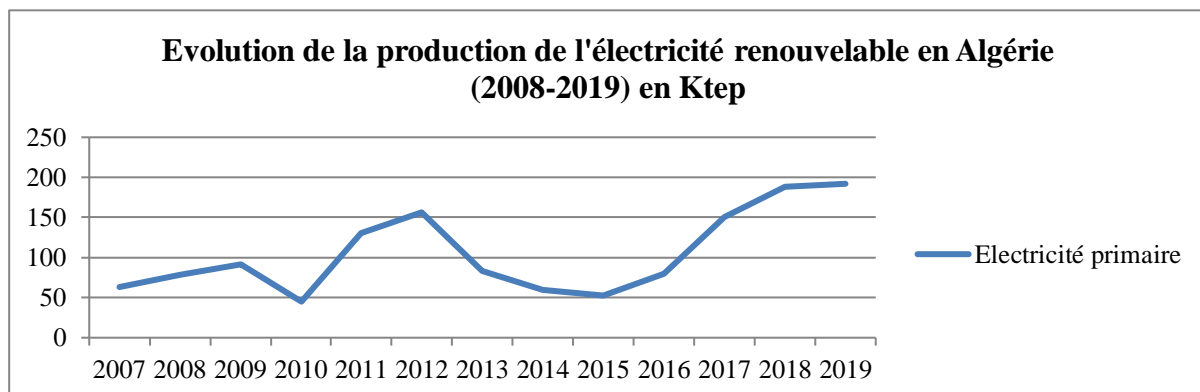
⁴⁵³ Le détail des réalisations par le ministère de l'Intérieur est présenté en annexe n° 03

coûts de raccordement au réseau national. Néanmoins, nous relevons une absence d'un cadre réglementaire régissant ces activités.

En parallèle à cela, la lecture du bilan énergétique pour l'année 2019, fait ressortir un total de 192 Ktep de production d'électricité d'origine renouvelable (toutes sources confondues). Cela représente un taux de 1,04 % de la production d'électricité globale. Ce chiffre place le pays assez loin de l'objectif fixé d'atteindre les 40% d'électricité d'origine renouvelable à l'horizon 2030.

De plus, en observant l'évolution de la production de l'électricité renouvelable sur les bilans énergétiques pour la période s'échelonnant de 2008 à 2019⁴⁵⁴, il ressort une réelle instabilité dans le rythme d'installation des capacités de production.

Figure n°46 : Évolution de la production de l'électricité renouvelable en Algérie (2008 à 2019) en Ktep



Source : Construction personnelle de l'auteure à partir des bilans énergétiques nationaux 2008-2019

Le taux le plus important a été enregistré durant les années 2012 (157 Ktep) et 2019 (192 Ktep) ce qui reflète un rythme d'installation assez instable.

Le premier rapport du CEREFÉ, (2020)⁴⁵⁵ explique que les raisons justifiant de tels retards sont d'ordre technique et économique à la fois en précisant à côté de cela, que tout développement massif des énergies renouvelables doit nécessairement être appuyé par un support de réseau électrique de dimension appropriée.

De son côté, l'électricité d'origine fossile ne cesse d'augmenter d'année en année pour atteindre (18 331 Ktep) en 2019. Cette tendance d'augmentation est justifiée par l'augmentation sans cesse de la demande. Cette situation a permis l'atteinte anticipée des objectifs du pays en

⁴⁵⁴ Bilans énergétiques nationaux des années 2008-2019, ministère de l'énergie et des mines.

<https://www.energy.gov.dz/?article=bilan-energetique-national-du-secteur> consulté le 16/09/2022.

⁴⁵⁵ Ibid.Op. Cit.p193.

électricité fossile. En effet, selon le même rapport, le seuil de 20 000 MW prévu pour 2028 (revoir figure n° 45 à la page 209) a été franchi en 2019 avec 20 963 MW.

Une telle conséquence, aussi évidente, renvoie d'un autre côté à une augmentation dans les investissements fossiles retardant davantage l'orientation publique vers les sources renouvelables pour la génération électrique.

6-La mobilisation des ressources (fonction 06) :

Dans une quête d'aboutissement de tout programme national de recherche, la mobilisation des ressources financières et humaines revêt une importance cruciale.

Nous aurions souhaité présenter à travers ce point, l'évolution des indicateurs proprement liés au secteur des énergies renouvelables. Néanmoins, les informations auxquelles nous avons pu accéder sont liées à l'ensemble des domaines de recherche en Algérie. Ceci ne réduit pas pour autant le poids de l'analyse car, comme nous l'avons déjà évoqué plus tôt, le domaine des énergies renouvelables rassemble un nombre important de domaines de recherche.

Ainsi, en se focalisant sur les grands domaines des sciences dures comme les sciences de l'ingénierie et sciences physiques, nous pouvons rapprocher l'interprétation des résultats sur la base de données disponibles avec le domaine particulier des énergies solaires photovoltaïques.

6-1-Disponibilité des compétences/ capital humain :

Nous présentons à présent, un état des lieux du capital humain activant dans le domaine de la recherche scientifique et technique au niveau des universités, des centres de recherche mais aussi au niveau des entreprises.

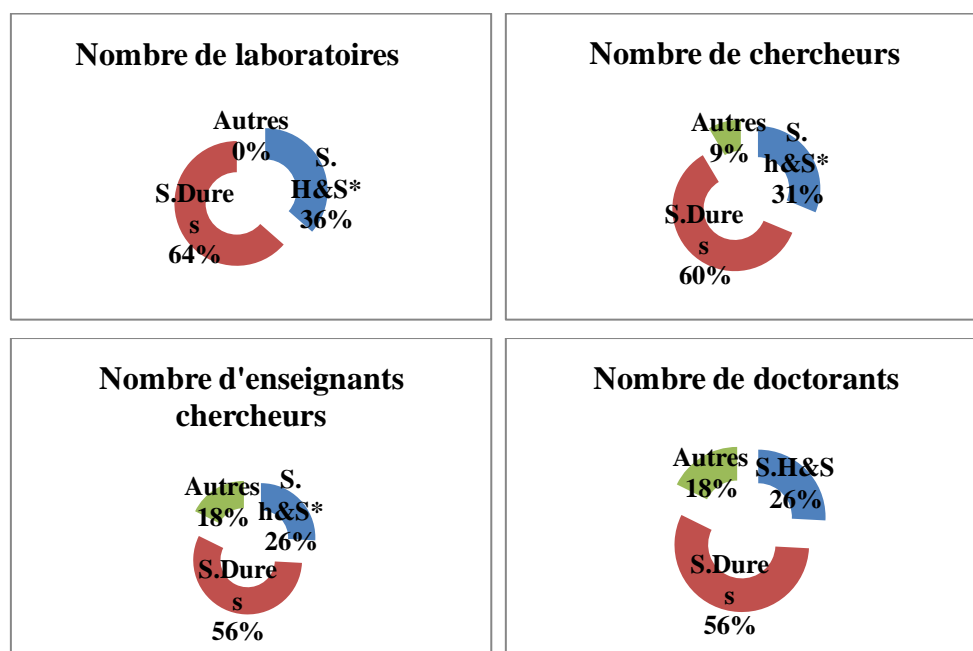
Pour ce faire, nous nous appuyons sur un rapport établi par le Conseil National d'Évaluation de la recherche rattachée à la DGRSDT. Ce dernier est publié sur le site internet de la DGRSDT et est relatif à l'année 2016. DGRSDT, (2017)⁴⁵⁶.

6-1-1-Le capital humain au niveau des universités :

Nous présentons à travers le tableau ci-dessous, le nombre ainsi que la répartition des chercheurs selon la nature des sciences, et ce, pour l'année 2016 :

⁴⁵⁶ Ibid.Op. Cit.p198.

Figure n°47 : Répartition de l'effectif de personnel de recherche selon nature des sciences en Algérie pour l'année 2016



* S. h&S : Sciences humaines et sociales

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir du rapport DGRSDT, 2017, page 03⁴⁵⁷.

La lecture de cette série de graphiques fait ressortir une dominance des sciences dures dans le nombre de laboratoires (63%), le nombre des chercheurs (60%), le nombre d'enseignants chercheurs (56%) ainsi que dans le nombre de doctorants (56%). Cette position est suivie par Les sciences Humaines et Sociales avec des parts plus réduites (36 % pour le nombre de laboratoires, 36% pour le nombre de chercheurs, 26% pour le nombre d'enseignants chercheurs et 26 % pour le nombre de doctorants).

Cette dominance se fait sentir également sur les niveaux de grade des chercheurs dans les laboratoires de recherche. En effet, le même rapport présente un taux de 50% correspondant aux chercheurs affiliés aux laboratoires de recherche ayant un rang magistral tous domaines confondus. Les domaines affichant les taux les plus importants sont la physique, la chimie, et les sciences de l'ingénierie⁴⁵⁸.

Nous retrouvons encore une fois, cette dominance dans la concentration des doctorants par laboratoires de recherche où les domaines de l'ingénierie et de la chimie ressortent en tête avec des taux de 71% et 65% respectivement⁴⁵⁹.

⁴⁵⁷ Ibid.Op. Cit.p198.

⁴⁵⁸ Tableau détaillé en annexe n°04

⁴⁵⁹ Tableau détaillé en annexe n° 05

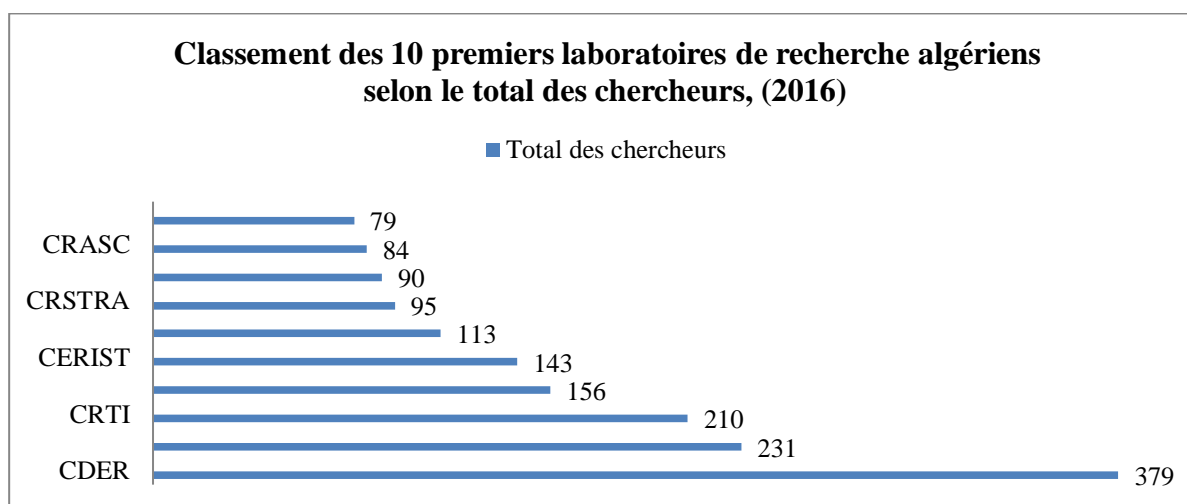
L'importance de ces taux est expliquée par la nature des recherches dans ces domaines, recherches principalement expérimentales et nécessitant le recours aux équipements disponibles en laboratoires, à l'opposé de ce qui peut exister dans les autres sciences.

6-1-2-Le capital humain au niveau des centres de recherche :

Le même rapport présente un tableau détaillant les effectifs et grades des chercheurs affiliés aux différents centres de recherche à l'échelle nationale⁴⁶⁰.

Sur ce tableau, le CDER affiche l'effectif le plus important de chercheurs pour l'année 2016, soit un total de 379. Il est suivi en deuxième position par le CDTA avec un total de 231 chercheurs et le CRTI avec 210 chercheurs.

Figure n°48 : Classement des 10 premiers laboratoires de recherche algériens selon le total des chercheurs, (2016)



Source : Construction personnelle de l'auteure à partir du rapport DGRSDT, 2017, page 08⁴⁶¹.

Ceci reflète encore une fois l'intérêt porté sur les domaines de recherche relatifs aux sciences techniques d'une manière générale et les sciences liées aux énergies renouvelables d'une manière particulière.

6-1-3-Le capital humain au niveau des entreprises :

- Les centres de formation professionnelle au profit des entreprises :

Le développement d'une industrie orientée vers le secteur stratégique des énergies renouvelables renvoie à la nécessité de développer un potentiel humain professionnel qualifié pouvant exercer dans les domaines associés aux énergies renouvelable. Ainsi, le développement d'un cadre de formation professionnelle pouvant s'adapter aux mutations très rapides des technologies renouvelables est cruciale.

⁴⁶⁰ Tableau détaillé en annexe n° 06

⁴⁶¹ Ibid.Op. Cit.p198

Au travers du tableau n°24 nous présentons la nature des formations professionnelles proposées sur le marché algérien des énergies renouvelables ainsi que le nombre de diplômés annuels.

Tableau n°24 : Bilan des diplômes liés aux énergies renouvelables et l'efficacité énergétique délivrés par les centres de formation professionnelle en Algérie (2017-2018)

Diplôme	Spécialité	Nombre
BT (Brevets de Technicien)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bâtiment et travaux publics : Isolation thermique et acoustique ➤ Installation et maintenance : Installation et maintenance des panneaux solaires photovoltaïques Installation et maintenance des panneaux solaires thermiques Installation et maintenance des éoliennes 	40
BTS (Brevets de Technicien Supérieur)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bâtiment et travaux publics : Optimisation énergétique des bâtiments Énergies renouvelables appliquées au bâtiment ➤ Industrie : Efficacité énergétique et automatisme industriel Maintenance des systèmes éoliens. 	46
CAP (Certificat d'Aptitude Professionnelle)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Électricité - Électronique – Énergétique : Installation panneaux solaires photovoltaïques et thermiques (Partenariat entre l'Algérie et la France assuré par l'entreprise Schneider) 	268
TOTAL		354

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir du rapport du CEREFÉ, (2020, page 61)⁴⁶²

Sur un total de 495 spécialités, 09 spécialités sont destinées à procurer une main d'œuvre spécialisée dans le domaine des énergies renouvelables. Le tableau n° 24 relève par ailleurs un nombre total de 354 de diplômés pour l'année de formation (2017-2018).

Dans leur rapport, le CEREFÉ, (2020)⁴⁶³ estime qu'un tel chiffre demeure insuffisant et loin de la masse critique nécessaire pour promouvoir le secteur des énergies renouvelables en Algérie. L'alignement de ce secteur avec la stratégie industrielle nationale est ainsi primordial.

- **L'emploi scientifique :**

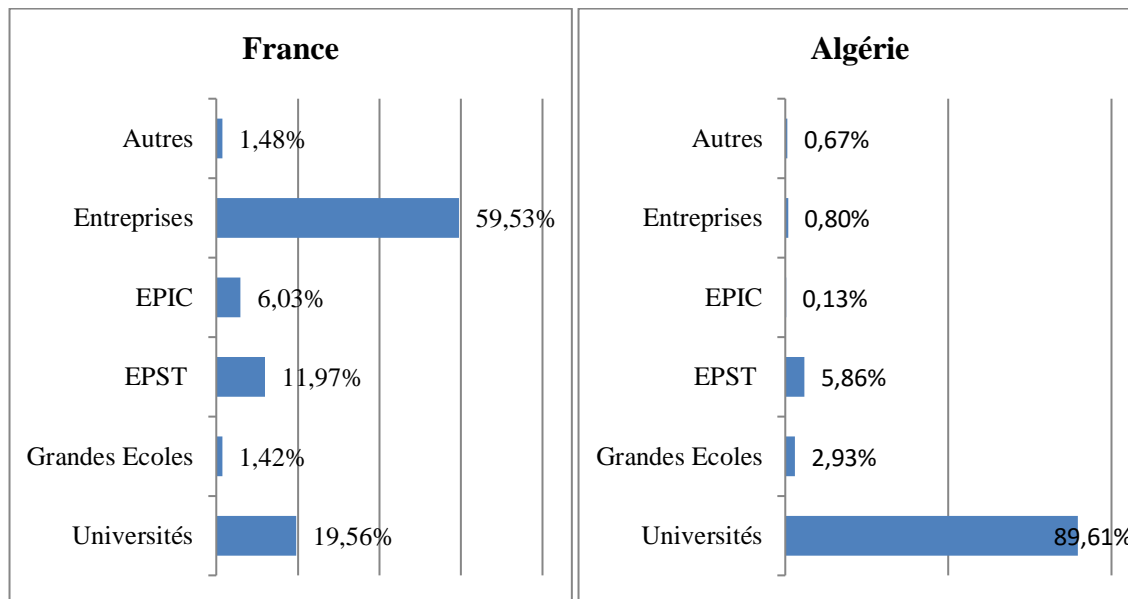
Dans une présentation comparative entre l'emploi scientifique entre l'Algérie et la France, établie dans le même rapport de la DGRSDT, (2017)⁴⁶⁴, il ressort ce qui suit :

⁴⁶² Sont exclues de cette synthèse les entités ne relevant pas du ministère de l'enseignement et de la formation professionnelle comme les instituts de formation rattachés aux entreprises.

⁴⁶³ Ibid.Op. Cit.p193.

⁴⁶⁴ Ibid.Op. Cit.p198.

Figure n°49 : L'emploi scientifique. Comparaison France-Algérie (en nombre de personnels scientifiques recrutés, année 2016)



EPST : Établissements Publics à caractère Scientifique et Technique.
 EPIC : Établissements Publics à caractère Industriel et Commercial.

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir du Rapport DGRSDT, (2017, page 04)⁴⁶⁵

Un décalage assez marquant est constaté entre les entreprises des deux pays (moins de 1% pour l'Algérie contre près de 60% en France), contrairement aux universités et Grandes Écoles où l'Algérie emploie la majorité de son personnel scientifique (92,54% contre 20,98% en France).

Les décalages existent également pour les EPST et les EPIC. Nous relevons 11,97% d'emplois scientifiques dans les EPST en France contre seulement 5,86% en Algérie et 6,03% dans les EPIC en France contre seulement 0,13% en Algérie.

Ceci justifie davantage les tendances démontrées à travers les précédents indicateurs reflétant un décalage entre le volet de la recherche et le volet de l'industrialisation. Il est alors plus que nécessaire de déployer des efforts afin d'aligner la stratégie industrielle nationale avec les projets de recherche dans les centres de recherche et les universités.

6-2-Les ressources financières :

La mobilisation des ressources financières allouées à la R&D est l'un des indicateurs majeurs pouvant refléter le poids de l'innovation dans une économie. Comme évoqué dans le précédent chapitre (page 97), cet indicateur rapporté au PIB d'une économie offre la possibilité de comparer l'intensité de recherche entre les pays.

⁴⁶⁵ Ibid.Op. Cit.p198.

Il a été néanmoins impossible pour nous d'accéder aux informations touchant aux aspects de cette question.

Cette contrainte nous a alors obligée à nous pencher plus spécifiquement sur une variante de cette question, celle des enveloppes budgétaires allouées à la recherche scientifique. Et ce, sous une optique globale bien plus que spécifique au secteur des énergies renouvelables.

Ces données peuvent à tout le moins positionner le degré de participation de l'État à la R&D. L'objectif à terme étant de tenter une comparaison de ces efforts avec d'autres pays à niveau de développement égal.

6-2-1-Le Fonds national pour les énergies renouvelables (FNER) :

Nous entamons ce point par la présentation du Fonds National pour les Énergies Renouvelables. Ce fonds a été créé en décembre 2009 selon la loi n° 09-09 portant loi de finances pour 2010. Il est destiné aux opérateurs du secteur public et privé. Les recettes de ce fonds représentent 0,5% de la redevance pétrolière. Quant aux dépenses liées aux financements des projets inscrits dans le cadre de la promotion des énergies renouvelables, elles sont soumises à l'approbation du ministre chargé de l'énergie.

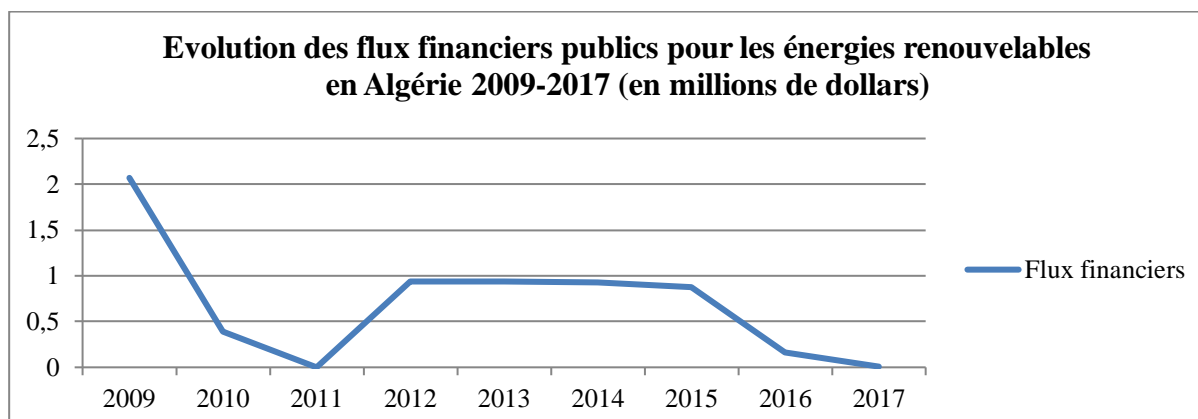
Le taux d'alimentation de ce fonds s'est vu augmenter en 2011 (Loi n° 11-11 du 18 juillet 2011 portant loi de finances complémentaire pour 2011) passant de 0.5 % à 1 % de la valeur des redevances pétrolières. Le champ d'application de ce fonds s'est également élargi aux activités de cogénération⁴⁶⁶.

Le schéma évolutif des dépenses en matière d'énergies renouvelables de l'Algérie s'est construit grâce à notre exploitation de la Base de données de l'IRENA, (2019 (a))⁴⁶⁷, où des rapports annuels diffusent les flux financiers consacrés à ce domaine. Il est nécessaire de préciser que ces valeurs réfèrent exclusivement aux projets d'installations et d'équipement pour la génération électrique. Ce que rapportent la figure n°50 et le tableau n° 25 suivants :

⁴⁶⁶ Activités consistant à générer de l'électricité et la chaleur simultanément.

⁴⁶⁷ IRENA, 2019, (a), Renewable Energy Statistics 2019, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Figure n° 50 : Évolution des flux financiers publics pour les énergies renouvelables en Algérie, (2009-2017) (en millions de dollars)



Source : Construction personnelle de l'auteure à partir des statistiques de l'IRENA, (2019 (a))⁴⁶⁸,

Tableau n°25 : Évolution des flux financiers publics pour les énergies renouvelables en Algérie 2009-2017 (en millions de dollars)

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Flux financiers	2.07	0.39	0.00	0.94	0.94	0.93	0.88	0.16	0.01

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir des statistiques de l'IRENA, (2019 (a))⁴⁶⁹,

Le graphique n°50 montre une régression significative des flux financiers publics affectés aux énergies renouvelables, et ce, sur toute la période d'observation. Nous relevons une augmentation marquante à partir de l'année 2012. Cette augmentation coïncide avec le lancement des projets pilotes entre la période 2011 et 2014 tel que précisé dans le point (5.3, page 213) relatif aux capacités installées. De plus, le fléchissement enregistré après 2014 s'accorde avec l'absence de réalisation durant cette période.

La baisse observée atteint ainsi 0.01 million de dollars en 2017 (ou 1.2 million de DA)⁴⁷⁰. Il ressort clairement que ce volume reste éloigné de l'assiette autorisée fixée à 1 % des redevances pétrolières. Il reflète également une indécision dans l'affectation des ressources et le lancement de projets⁴⁷¹.

⁴⁶⁸Ibid.Op.Cit. 225.

⁴⁶⁹ Idem

⁴⁷⁰ Reconversion faite en tenant compte du cours pour la journée du 07/01/2020.

⁴⁷¹ Il nous a été, malheureusement, impossible de présenter le volume des investissements fossiles, les informations disponibles sur les rapports internationaux concernent les investissements par région ou dans le monde mais pas par pays. En Algérie, seules des annonces de quelques installations de turbines existent, mais aucun chiffre officiel sur le volume alloué par an.

Le tableau n°26 suivant établit un comparatif de ce type de dépenses dans la région Maghreb :

Tableau n°26 : Énergies renouvelables. Comparatif de l'évolution des flux financiers publics en Algérie-Maroc-Tunisie (2009 à 2017 en millions de Dollars)

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Algérie	2,07	0,39	0,00	0,94	0,94	0,93	0,88	0,16	0,01
Maroc	115,28	8,32	208,68	987,16	5,67	1360,84	223,51	444,28	114,11
Tunisie	117,67	124,51	0,79	172,84	8,88	8,34	43,43	4,73	ND ⁴⁷²

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir des statistiques de l'IRENA, (2019 (a))⁴⁷³,

La comparaison à l'échelle maghrébine fait ressortir un décalage assez important notamment avec le Maroc. Néanmoins, il est nécessaire de souligner les différences existantes dans les modes de financement entre les deux pays. En effet, le Maroc a bénéficié depuis 2008 d'une ligne de financement pour l'énergie durable destinées aux entreprises marocaines. Le total des fonds alloués s'élève à 110 millions d'euros. Cette ligne appelée MORSEFF (MORoco Sustainable Energy Financing Facility) est soutenue par l'Union Européenne et développée par la Banque Européenne pour la Reconstruction et le Développement (BERD) en coopération avec la Banque Européenne d'Investissement (BEI), l'Agence Française de Développement (AFD) et l'Établissement de Crédit Allemand pour la reconstruction (Kreditanstalt für Wiederaufbau)⁴⁷⁴.

Ceci renvoie encore une fois à l'importance de la coopération internationale pour appuyer le secteur des énergies renouvelables pour les pays en voie de développement.

6-2-2-Le financement des Programmes nationaux de recherche :

Les budgets alloués aux programmes nationaux de recherche lancés fin 2010 et incluant le PNRER (Programme National de Recherche en Énergies Renouvelables) sont destinés à financer entre autres :

- la formation doctorale,
- les laboratoires d'excellence,
- la mobilité des chercheurs (manifestations scientifiques),
- les équipements scientifiques pour les entités de recherche,
- les projets de développement technologique (sous forme de contrat de recherche),

⁴⁷² Les données pour l'année 2017 concernant la Tunisie ne sont pas disponibles

⁴⁷³ Ibid.Op.Cit. 225.

⁴⁷⁴ <http://www.morseff.com/fr/> consulté le 07/01/2020

- la valorisation, incubation et création de start-up⁴⁷⁵ et de spin-off⁴⁷⁶.

Ces budgets peuvent prendre la forme des budgets de fonctionnement mais aussi des budgets d'équipement.

L'absence d'informations disponibles sur une longue période nous oblige à n'observer que les prévisions budgétaires de l'année 2018.

Le même motif d'indisponibilité de l'information spécifique aux énergies renouvelables elles-mêmes nous contraint d'évoquer les dépenses R&D de manière globale. Force est de constater que ces informations sont contrairement à l'Algérie toujours largement disponibles.

Tableau n°27 : Répartition prévisionnelle des allocations financières pour les programmes nationaux de recherche relatifs à l'année 2018

Formations doctorales	Entités de recherche	Mobilité des chercheurs	Projets de développement technologique	Laboratoires d'excellence	L'incubation et la création de start-up	Total
2,8 milliards de dinars	10 milliards de dinars	200 millions de DA ⁴⁷⁷	1,5 milliards de dinars	1 milliards de dinars	3,5 milliards de dinars	19Milliards de dinars

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir du rapport de la DGRSDT, 2017⁴⁷⁸

- l'allocation financière pour les doctorants tient compte du nombre des nouveaux inscrits pour l'année 2018, en addition aux inscrits en 2ème, 3ème et 4ème pour les sciences sociales et les sciences expérimentales. En sachant que le financement assuré pour les 04 premières années est comme suit :

- 50 000 DA- pour les doctorants inscrits en 1ère année,
- 100 000 DA- pour les étudiants inscrits entre 2ème et 4ème pour les sciences sociales,
- et 150 000 DA- pour les étudiants entre 2ème et 4ème année pour les sciences expérimentales,

- l'assiette consacrée aux entités de recherche est destinée d'un côté, à la mise à niveau des équipements scientifiques, et au soutien à l'activité de recherche (03 milliards), 06 milliards pour les nouvelles structures installées et 01 milliard pour la maintenance des infrastructures et équipements technologiques,

- les fonds alloués à la mobilité des chercheurs sont destinés à apporter un soutien aux réseaux scientifiques et à la coopération universitaire locale et étrangère,

⁴⁷⁵ Le terme renvoie aux nouvelles entreprises novatrices lancées dans le domaine des T.I.C.

⁴⁷⁶ Le terme renvoie aux entreprises dont les activités sont dérivées d'anciennes entreprises.

⁴⁷⁷ DA: Dinars Algériens

⁴⁷⁸ Ibid.Op. Cit.p198.

- pour ce qui est des fonds consacrés au développement des projets technologiques, ils visent principalement les projets faisant appel à des collaborations entre le secteur académique et le secteur socio professionnel. Les projets s'étalent sur une durée de 03 ans et bénéficient d'un financement en tranches,

- les laboratoires d'excellence « TAMAYOUZ » sont des laboratoires associés à des structures permanentes de recherche et bénéficient d'un label d'excellence provenant des centres de recherches étrangers tel que CNRS en France ou National Lab aux États Unis. Les financements de ces entités prévus pour l'année 2018 se sont élevés à 1 milliard de dinars,

- les financements octroyés pour la dernière catégorie ciblent la valorisation des travaux de recherche au niveau des entreprises économiques, Les financements concernent également la mise en place des laboratoires de fabrication à la disposition des étudiants diplômés pour les accompagner dans le lancement de leurs start-ups.

Le total des fonds programmés pour l'année 2018 s'élève à 19 milliards de dinars soit un peu plus de 142 millions d'euro⁴⁷⁹. Ceci s'accorde avec la décision prise par le gouvernement fin 2017, de porter le budget alloué à la R&D à 20Milliards de dinars par an, et ce, pour la période allant de 2018 à 2023, quadruplant ainsi le budget initial⁴⁸⁰. Rapport DGRSDT, (2017)⁴⁸¹. Ceci reflète encore une fois l'intérêt croissant des pouvoirs publics pour l'amélioration de la recherche scientifique.

Un tel engagement financier est considéré par les responsables comme une preuve de l'importance qu'accorde l'État à la recherche pour l'économie algérienne, notamment dans une période de crise. Cette enveloppe est consacrée à trois (03) domaines jugés prioritaires par les pouvoirs publics : la sécurité alimentaire, la santé du citoyen, et la sécurité énergétique.

Parler du volume des dépenses en R&D demeure insuffisant dans une analyse économique. Ainsi, il est important de les situer dans le PIB du pays. A titre comparatif et à une échelle internationale, et en s'appuyant sur la base de données en ligne de l'institut national de l'UNESCO⁴⁸², il ressort ce qui suit :

- en moyenne sur plusieurs années, 80% des dépenses sont concentrées sur une dizaine de pays,

- en termes de part des dépenses en R&D sur le PIB, une disparité régionale est constatée : les pays de l'Amérique du nord et l'Europe occidentale affichent un taux de 2%, un taux de 1,5% concerne les pays d'Asie de l'est et Pacifique, 1% pour les pays d'Europe centrale

⁴⁷⁹ Conversion faite prenant le cours en date du 06/01/2020.

⁴⁸⁰ Selon ce rapport, les budgets alloués, n'excédaient pas les 05 milliards de dinars par an.

⁴⁸¹ Ibid.Op. Cit.p198.

⁴⁸² <http://uis.unesco.org/apps/visualisations/research-and-development-spending/#!lang=fr> consulté le 07/01/2020

et orientale. Les taux les plus faibles sont concentrés au niveau des pays d'Amérique latine, les États arabes, l'Afrique subsaharienne et l'Asie centrale,

- à l'échelle maghrébine, Maroc et Tunisie affichent, une fois de plus, un taux de dépenses en R&D sur le PIB, nettement supérieur à celui de l'Algérie : 0.7 % tant pour le Maroc que pour la Tunisie quand ce taux est 7 fois inférieur (0.1 %) pour l'Algérie.

Il reste que le financement des énergies renouvelables représente un levier de développement de ce secteur. Et ceci reste conditionné par une transparence dans la communication mais aussi la gestion des fonds alloués. Kadi, (2016)⁴⁸³.

7-La création de légitimité (fonction 07) :

7-1-Montée et croissance du lobbying :

L'existence d'un fort potentiel naturel solaire algérien reste indiscutable. La position géographique du pays lui assure un avantage concurrentiel non négligeable, et des possibilités d'exportations vers l'autre rive de la Méditerranée, mais aussi l'Afrique et les pays du Maghreb. Ouahib, (2019)⁴⁸⁴.

Malgré l'existence de tels avantages, l'Algérie peine cependant à décoller dans les énergies solaires. Et ce, même si on enregistre une avancée rapide des technologies à l'échelle mondiale dans ce domaine, avancée assurant une baisse de plus en plus rapide de leurs coûts de production.

À travers ce point, nous relevons l'impact de la force du lobbying national et international des énergies fossiles sur le retard enregistré dans les réalisations en énergies solaires mais aussi du flou installé autour de la stratégie globale.

La présentation du poids de ce lobbying est essentielle à notre analyse, car pouvant apporter de nombreuses explications aux lacunes rencontrées.

Pour ce faire, nous nous appuyons sur les positions de quelques experts en énergies renouvelables et en transition énergétique à ce sujet.

En premier lieu, évoquer le poids du lobbying des énergies fossiles renvoie à l'opération d'annulation du projet DESERTEC⁴⁸⁵ lancé en 2009. Celui-ci se donnait pour principal objectif

⁴⁸³ Kadi.L, 2016, « Algérie – Le financement est le principal déficit de la transition énergétique », Maghreb Émergent ,03 Mars 2016.<https://maghrebemergent.info/algérie-le-financement-est-le-principal-deficit-de-la-transition-energetique-lamine-kadi/> consulté le 07/01/2020.

⁴⁸⁴ Ouahib. S, 2019, « Le solaire présente un potentiel incroyable capable de satisfaire tous les besoins de l'Afrique, du Maghreb et de l'Europe », Journal El Watan du 24 Octobre 2019. <https://www.elwatan.com/pages-hebdo/magazine/le-solaire-presente-un-potentiel-incroyable-capable-de-satisfaire-tous-les-besoins-de-lafrique-du-maghreb-et-de-leurope-24-10-2019> consulté le 09/01/2020.

⁴⁸⁵ La fondation DESERTEC a vu le jour en 2003 en associant D ii GmbH et MedGrid. Le projet consistait à un partenariat entre l'Algérie et l'Allemagne.

la concentration de la production de l'électricité d'origine solaire dans la région MENA⁴⁸⁶ afin d'assurer l'alimentation d'une partie de l'Europe.

En effet l'existence de lobbyings dans ce domaine d'intervention est évoquée par un consultant en transition énergétique et le Président du Cluster algérien en solaire. Leurs nombreuses interventions dans les médias^{487 488 489} attestent largement de blocages de toute initiative désirant inscrire le pays dans une voie de transition énergétique. Ce choix est alors mis à mal par les lobbys pétroliers internationaux n'hésitant pas à allouer des fonds colossaux afin de maintenir le marché des hydrocarbures dans la région.

Toujours selon ces intervenants le lobby du carbone se manifeste de même à travers la position des décideurs algériens n'écartant pas l'hypothèse d'une éventuelle exploitation du gaz de schiste. Ceci accentue davantage le recul des décisions relatives à l'exploitation de l'énergie solaire notamment avec une période de crise financière qui nécessite, à notre sens, l'articulation d'une stratégie autour d'un seul grand secteur.

À côté de cela, évoquer la transition énergétique pour un pays producteur d'énergie fossile le place inévitablement face à des conséquences sur le plan géopolitique.

Même si une transition vers les énergies renouvelables peut prendre encore des années à se produire, la trajectoire des pays doit se tracer aujourd'hui. Les décisions d'aujourd'hui redessinent la carte géopolitique future. Smith et aliiiii, (2018)⁴⁹⁰

En effet, l'hypothèse d'une transition énergétique appliquée à une grande échelle mondiale peut présenter des gains pour certains pays en leur offrant de nouvelles opportunités géopolitiques, comme elle peut présenter des pertes pour d'autres.

Il est ainsi inéluctable de penser qu'un pays producteur d'énergie fossile comme l'Algérie, qui plus est avec une économie rentière en la matière, assistera à une baisse de ses avantages économiques sur le marché international d'une telle énergie. À l'opposé, un pays importateur d'énergie fossile sera déchargé d'une obligation financière lourde. Ne pas omettre

⁴⁸⁶ Middle East North Africa.

⁴⁸⁷ Ouahib. S, 2019, « Le solaire présente un potentiel incroyable capable de satisfaire tous les besoins de l'Afrique, du Maghreb et de l'Europe », Journal El Watan du 24 Octobre 2019. <https://www.elwatan.com/pages-hebdo/magazine/le-solaire-presente-un-potentiel-incroyable-capable-de-satisfaire-tous-les-besoins-de-lafrique-du-maghreb-et-de-leurope-24-10-2019> consulté le 09/01/2020.

⁴⁸⁸ <https://www.algerie-eco.com/2019/06/16/toufik-hasni-sur-le-retard-dans-l'exploitation-des-energies-renouvelables-il-y-un-lobby-qui-cherche-a-accorder-la-primeur-aux-energies-fossiles/>

⁴⁸⁹ <https://www.dzvid.com/2019/11/02/des-lobbys-ont-oeuvre-contre-le-projet-desertec/>

⁴⁹⁰ Smith.S.K, 2018, "Redrawing the Geopolitical Map: International Relations and Renewable Energies", chapter 3 in "The Geopolitics of Renewables", Contribution book, Lecture Notes in Energy 61, Daniel Scholten Editor

également les avantages économiques que pourra tirer un pays riche en ressources naturelles renouvelables, comme c'est le cas encore pour l'Algérie. Overland, (2019)⁴⁹¹

L'analyse de l'ensemble de ces conséquences a fait l'objet d'une étude⁴⁹² fort pertinente basée sur la construction d'un indice composé d'indicateurs significatifs en la matière. L'objectif ayant été d'analyser le futur d'une transition énergétique mondiale compte tenu des positions actuelles de 165 pays et de leur positionnement dans le domaine énergétique. Ces conséquences sont mesurées sur la base des forces existantes au sein des pays pouvant entraver ou faciliter une transition vers les énergies renouvelables.

L'objectif de cet indice est de fournir des indications utiles pour les décideurs politiques sur les choix stratégiques à prendre en matière de transition énergétique, mais aussi d'explorer les types de dépendances qui pourront exister lors d'un scénario « transition énergétique mondiale ». Smith et alii, (2018)⁴⁹³

Les indicateurs pris en compte pour le calcul de cet indice sont :

- le potentiel énergétique renouvelable, (R)⁴⁹⁴
- le nombre des mesures incitatives pour les énergies renouvelables, (P)⁴⁹⁵
- la force du lobbying des hydrocarbures⁴⁹⁶. (H)⁴⁹⁷

Ainsi selon cette étude, un pays « gagnant » est un pays avec un fort potentiel énergétique renouvelable, un fort appui sociopolitique combiné avec une faible force du lobby des hydrocarbures.

L'analyse de cette enquête fait ressortir une liste de "gagnants" et "retardataires" résultats des différents scores obtenus par application des indicateurs de mesure retenus. Il ressort de ces observations les conclusions consignées au sein du tableau n° 28 :

⁴⁹¹ Overland.I, Morgan.B, Talgat.L, Roman.V, Kirsten.w, 2019, "The GeGaLo index: Geopolitical gains and losses after energy transition", Energy Strategy Reviews 26 (2019) 100406

⁴⁹² Ibid.Op. Cit.p231.

⁴⁹³ Idem.

⁴⁹⁴ R: Raw Renewable energy potential variable

⁴⁹⁵ Political receptiveness indicator

⁴⁹⁶ L'hypothèse formulée pour cet indicateur suppose que plus les réserves en hydrocarbures sont importantes plus la dépendance aux hydrocarbures le sera.

⁴⁹⁷ Hydrocarbon lobby indicator

Tableau n°28 : Les gagnants et les retardataires géopolitiques avec (R : potentiel énergétique renouvelable + P : nombre de mesures incitatives pour les énergies renouvelables + H : force du lobbying des hydrocarbures) / 3

Winners (gagnants)	Points	Laggards (Retardataires)	Points
Uruguay	8,8	Afghanistan	5
Namibia	8,7	Burundi	4,6
Kenya	8,6	Swaziland	4,4
Mali	8,3	Czech Republic	4,3
Sweden	8	Gabon	4
Finland	7,9	Puerto Rico	4
France	7,4	Bangladesh	4
Nicaragua	7,4	Samoa	4
Honduras	7,3	Georgia	3,7
India	7,3	Belize	3,7
Jordan	7,3	Slovakia	3,6
Mongolia	7,1	Bhutan	3,6
Sri Lanka	7,1	Timor-Leste	3,4
China	7	Trinidad and Tobago	3,4
U.S.A	7	Kuwait	3,1
Algeria	6,8	Bahrain	3
Morocco	6,7	Qatar	2,5
Canada	6,7	N/A	N/A
Australia	6,7	N/A	N/A
Pakistan	6,3	N/A	N/A

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir de Smith et aliiiii, (2018, p86)⁴⁹⁸

En additionnant les 03 variables avec la présence d'un équilibre entre elles (R=P=H), l'Algérie ressort gagnante avec un score de 6,8 indiquant clairement l'importance de son potentiel naturel dans la formule globale. Néanmoins, l'augmentation de l'étendue de la troisième variable (H), correspondant au degré de pression du lobby des hydrocarbures dans le calcul, lui coûte sa place dans la liste des gagnants.

C'est ce qui est démontré à travers le tableau n°29 suivant :

⁴⁹⁸Ibid.Op. Cit.p231.

Tableau n°29 : Les gagnants et les retardataires géopolitiques avec (R : potentiel énergétique renouvelable +P : nombre de mesures incitatives pour les énergies renouvelables + 2H : force du lobbying des hydrocarbures) / 3

Winners (gagnants)	Points	Laggards (Retardataires)	Points
Uruguay	12,1	Afghanistan	7
Kenya	12	Swaziland	6,8
Mali	11,7	Cameroon	6,6
Namibia	11,3	Bhutan	6,1
Finland	11,3	Timor-Leste	6
Sweden	10,8	Gabon	5,9
Nicaragua	10,8	Bolivia	5,8
Honduras	10,6	Romania	5,5
Sri Lanka	10,2	Myanmar	5,4
Belgium	10	Trinidad and Tobago	5,2
Mongolia	9,8	Slovakia	5,1
Jordan	9,6	Bangladesh	5
Malta	9,3	Georgia	4,9
Fiji	8,7	Bahrain	4,6
Nepal	8,6	Venezuela	4,4
Maldives	8,5	Brunei	4,2
Lebanon	8,4	Kuwait	3,8
Canada	7,4	Qatar	2,5
U.S.A	7,3	N/A	N/A

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir de Smith et aliiiii, (2018, p87)⁴⁹⁹

Même si les résultats de cette étude sont à prendre avec prudence car ne se référant qu'à un nombre réduit d'indicateurs, il n'en demeure pas moins que le poids d'une pression lobby peut coûter cher à l'Algérie à une période où l'ensemble des efforts doivent être centrés sur une stratégie globale.

⁴⁹⁹ Ibid.Op. Cit.p231.

Section 3 : Quelle stratégie pour le S.I.T.E solaire algérien ?

Éléments de réponse

Introduction

Cette section se donne pour objectif de proposer une stratégie destinée au S.I.T.E (Système D'innovation Technologique Énergétique) en matière de solaire algérien. La proposition résultat de notre analyse de la question, est destinée à articuler la composition ainsi que la dynamique des principales fonctions dans le temps pouvant, à notre sens, assurer un développement des technologies énergétiques solaires PV en Algérie.

Cette proposition s'est articulée en nous référant aux recommandations d'Aghion et al (2009)⁵⁰⁰. Leur modèle avance les exigences à réunir dans les politiques publiques afin d'assurer un développement des nouvelles technologies propres à des fins de croissance durable.

Nous retenons ces recommandations car elles soulignent à notre sens des paramètres cruciaux tels que :

- la stabilité dans le temps des mesures adoptées,
- l'ordre entre l'initiative publique et l'initiative privée pour le financement des nouvelles technologies,
- la différence des niveaux de développement économique des pays et l'importance de la coopération internationale pour pallier les décalages technologies existants.

Ces recommandations ont composé notre base de travail. Celle-ci s'est élargie en prenant en considération l'évaluation des principales fonctions présentées au sein de la section précédente.

L'objectif final étant d'arriver à une proposition, celle d'une démarche méthodologique pour le S.I.T.E du solaire algérien en nous appuyant sur l'approche par les fonctions.

La proposition en question prend en considération les particularités du pays :

- un pays en voie de développement avec des ressources financières limitées,
- un marché axé principalement sur les exportations d'hydrocarbures,
- un enjeu social lié à la subvention pour le prix de l'électricité provenant du gaz naturel.

Ainsi, les problématiques de financement, de la création et diffusion de la technologie ainsi que le poids de participation des acteurs privés doivent s'adapter aux conditions particulières du pays.

⁵⁰⁰ Ibid.Op. Cit.p38.

1-Bâtir un S.I.T.E solaire : Quelles exigences pour les politiques publiques ?

Aghion et al (2009)⁵⁰¹ présentent dans leurs modèles trois (03) exigences devant être réunies dans les politiques publiques pour qu'une croissance durable puisse être garantie.

1-1-La stabilité dans le temps :

Une prise en considération du facteur d'innovation. Et ce, de manière permanente et non spontanée. Les innovations technologiques environnementales radicales sont le fruit d'un effort continu dont l'action ne doit en aucun cas être reportée sous prétexte que le coût de la lutte contre le changement climatique serait moindre dans le temps.

Dans cette optique, s'appuyant sur un modèle de croissance de l'innovation et de l'environnement, les auteurs développent une analyse où ils déterminent le timing idéal pour une intervention publique.

Le modèle en question explique comment le fait de retarder l'intervention publique conduit, d'une part à une détérioration additionnelle de l'état de l'environnement. Mais il crée cependant aussi d'autre part un décalage entre l'état d'avancement des technologies dites "propres" et celles dites "sales". Sans compter le temps qu'il faudra pour rattraper l'avancée des technologies "sales" impliquant à leur tour une croissance ralentie. Ce qui signifie que le coût supporté aujourd'hui pour mettre en place des instruments favorisant les innovations technologiques propres devient moindre comparé à celui qui sera engendré si les actions publiques étaient retardées.

1-2-Initiative publique et initiative privée :

Une initiative publique et privée sont toutes deux nécessaires afin d'assurer une croissance durable. Néanmoins, l'intervention publique devrait être initiée en premier lieu afin d'orienter le fonctionnement du marché avant que les forces du marché ne puissent prendre le dessus. Une telle régulation offre une sécurité aux firmes (surtout les plus petites) souhaitant investir dans les technologies propres.

1-3-Coopération internationale :

Une coordination mondiale de l'intervention publique est tout à fait justifiée. Soit une réponse aux dégradations environnementales touchant toute la planète.

La divergence des niveaux de croissance, et par conséquent de pollution, pousse la théorie économique à réfléchir sur le degré d'intervention publique à adopter par l'ensemble des pays. En effet, le taux d'efforts en innovations technologiques environnementales est bien plus important dans les pays développés et pays émergents que dans les pays en voie de

⁵⁰¹Ibid.Op. Cit.p38.

développement. Ces derniers préférant recourir aux innovations technologiques des pays développés afin de profiter du coût réduit.

Cette intervention unilatérale peut cependant causer un dérèglement des relations commerciales internationales en renforçant la compétitivité des firmes installées dans les pays en voie de développement qui n'exigeraient pas d'instruments restrictifs. Le résultat serait évidemment un mouvement de délocalisations géographiques (et économiques) des plus grandes firmes en direction de réglementations plus flexibles.

Néanmoins, les auteurs avancent qu'un effort massif des pays développés aboutira à des technologies propres plus disponibles et plus abordables pour l'ensemble des pays y compris les pays en voie de développement.

Ainsi, le poids des efforts des pays développés est crucial afin d'assurer une croissance durable, dans la mesure où ils sont considérés leaders dans les innovations technologiques et environnementales. Ils devraient ainsi faciliter la diffusion et l'accès des pays en voie de développement à ces nouvelles technologies.

En effet, la solidité économique des pays développés leur offre la possibilité d'opérer des compromis entre les coûts immédiats et les avantages à long terme plus spécifiquement dans tous les secteurs clés dont celui des énergies renouvelables.

2-Le solaire algérien : une stratégie pour le S.I.T.E

2-1- Revue de la littérature sur les feuilles de routes technologiques :

L'analyse du processus technologique et de son impact sur le développement économique s'appuie principalement sur des analyses de technologies orientées vers le futur (FTA)⁵⁰². Il s'agit des projections futures établies avec objectif principal d'assister les décideurs désireux de faire face aux diverses complexités affrontées. Ainsi, bien comprendre le problème permet de définir avec efficacité la stratégie et les éventuels ajustements nécessaires. Cagnin et al, (2013)⁵⁰³.

Malgré le fait qu'elles soient largement employées, ces analyses (FTA) ne s'appuient pas sur des fondements théoriques largement reconnus. Il s'agit plutôt d'un set de différentes approches présentant des suppositions qui sont articulées dans un horizon temporel donné. Ainsi, il n'existe pas un modèle de base s'adaptant à toutes les situations ou d'une méthode fixe offrant les réponses à n'importe quel besoin. Cagnin et al, (2013)⁵⁰⁴.

⁵⁰² FTA: Futur oriented Technology Analysis

⁵⁰³ Cagnin.C, Havas.A ,Saritas.O, 2013, "Future-oriented technology analysis: Its potential to address disruptive transformations", *Technological Forecasting & Social Change* 80 (2013) 379–385

⁵⁰⁴ Ibid.

L'approche de feuilles de routes technologiques (TRM⁵⁰⁵) représente un outil parmi les outils de (FTA) qui est devenu très populaire cette dernière décennie. Haddad et Maldonado, (2016)⁵⁰⁶

Cette approche tire ses racines à l'échelle micro, aidant au tout début les firmes comme MOTOROLA à la fin des années 70 et au début des années 80 à faire face à un environnement de plus en plus concurrentiel. Probert et Rednor, (2013)⁵⁰⁷

Pour l'ancien président de MOTOROLA, Robert Galvin :

« Une feuille de route est un regard étendu sur l'avenir d'un domaine d'enquête choisi, composé de la connaissance et de l'imagination collectives des plus brillants moteurs de changement ». Daim et Oliver, (2008, page 690)⁵⁰⁸

Il s'agit, d'une manière simplifiée, d'un outil indiquant où nous sommes maintenant, où nous voulons aller et comment pour y arriver. Daim et oliver (2008)⁵⁰⁹. Cet outil peut se présenter sous différents formats : monocouche, multicouche, en barre, tabulaire, en flux et aussi textuels. Pour assurer plus de clarté, la majorité des feuilles de route utilisent des illustrations graphiques et tableaux. Toutefois, plus de 40% des feuilles de route utilisent encore un format textuel. Geum et Park (2012)⁵¹⁰

Au début d'utilisation des feuilles de route, l'accent était mis sur le développement de nouveaux produits ou pour l'augmentation des capacités de production des firmes. Cette approche s'est vue adoptée par la suite au niveau des gouvernements, et ce, en raison de sa capacité à lier plusieurs paramètres à la fois : technologiques, politiques et économiques. Haddad et Maldonado, (2016)⁵¹¹

Néanmoins, l'analyse des caractéristiques de ces feuilles de route dans le champ académique se concentre davantage sur l'application à l'échelle de l'entreprise. Plusieurs raisons peuvent justifier cela : Geum et Park (2012)⁵¹²

⁵⁰⁵ TRM: Technology Roadmapping

⁵⁰⁶ Haddad.C.R,Maldonado.M.U, 2016, « A functions approach to improve sectoral technology roadmaps », Technological forecasting & social change. 2016

⁵⁰⁷ In Haddad.C.R,Maldonado.M.U, 2016, « A functions approach to improve sectoral technology roadmaps », Technological forecasting & social change. 2016

⁵⁰⁸ Traduit à partir de la version originale en Anglais dans Daim.T.U, Oliver.T, 2008, "Implementing technology roadmap process in the energy services sector: A case study of a government agency", Technological Forecasting & Social Change 75 (2008) 687–720

⁵⁰⁹ Daim.T.U, Oliver.T, 2008, "Implementing technology roadmap process in the energy services sector: A case study of a government agency", Technological Forecasting & Social Change 75 (2008) 687–720

⁵¹⁰ Geum.Y, Park.Y, 2012," The state-of-the-art of public-sector technology roadmaps: A taxonomical approach to energy technology roadmaps", Science and Public Policy (2012) pp. 1–13

⁵¹¹ Ibid.Op. Cit.P238.

⁵¹² Ibid

- difficulté de calquer les feuilles de route des entreprises car l'État n'offre pas de produit particulier,

- difficulté d'intégrer les paramètres sociaux,

- hétérogénéité dans les objectifs : certaines feuilles de route expriment une vision gouvernementale tandis que d'autres se concentrent sur l'action et la stratégie à accomplir,

En conséquence, la préconisation d'une feuille de route n'est jamais neutre tant politiquement, qu'économiquement, socialement ou d'un point de vue environnemental. Pour la simple raison que ces paramètres peuvent être convergents mais tout autant contradictoires. Nombre d'auteurs soulignent en effet, la pression du contrôle des forces politiques à l'échelle entreprise même si c'est en dernière instance (voire en première instance) le système économique qui contrôle l'efficacité de ces feuilles de route.

Dans la continuité de notre démarche méthodologique, nous nous pencherons davantage sur l'analyse de ces feuilles de route appliquées au secteur public et plus spécifiquement sur les résultats du travail de synthèse établi par Geum et Park (2012)⁵¹³. Ces auteurs ont identifié, sur la base d'une étude statistique, une taxonomie des feuilles de route technologiques établies dans le champ académique et traitant le secteur public, et ce, en présentant leurs caractéristiques ainsi que leurs structures.

Nous résumons cette taxonomie à travers le tableau n°30 ci-dessous :

⁵¹³ Idem.Op. Cit.p238.

Tableau n°30 : Taxonomie des feuilles de route technologiques du secteur public

	Caractéristiques	Structure
Feuilles de route technologiques basées sur les actions	<ul style="list-style-type: none"> -Mise en place de stratégie et un plan d'actions pour atteindre un but. -Importance des liens existants entre les priorités, les buts à atteindre et les actions à entreprendre. -Les actions à mener sont décrites en texte. -Implication rare des paramètres de la technologie, du marché, et des parties prenantes. - Intégration rare des différents scénarios. 	<ul style="list-style-type: none"> -Enchaînement dynamique des actions ; le choix de la prochaine action dépend du constat porté sur la précédente. -Prise en compte des atouts et barrières à chaque action. -La feuille de route n'est jamais fixe et finalisée.
Feuilles de route technologiques basées sur le parcours	<ul style="list-style-type: none"> -Le parcours particulier de la technologie est programmé d'une manière quantifiée et systématique. -Une rare prise en compte des barrières. - Plusieurs parcours sont possibles avec différents scénarios. 	<ul style="list-style-type: none"> -Utilisation fréquente des graphiques et des tableaux pour définir le parcours qu'il faut pour atteindre le but. - Chaque scénario est présenté par un graphique.
Feuilles de route technologiques basées sur la technologie	<ul style="list-style-type: none"> -Les paramètres de la technologie, du marché, des politiques et des parties prenantes représentent les principaux constituants de cette feuille de route. - Les parties prenantes et la réglementation sont essentielles dans cette feuille de route en raison de l'importance du volet de R&D. -Fortes similitudes avec les feuilles de route traditionnelles au niveau des firmes. 	<ul style="list-style-type: none"> -Utilisation de chronologies avec des tableaux ou figures. -Intégration des interactions existantes entre les règlements, les politiques et les parties prenantes impliquées dans la réalisation des objectifs.
Feuilles de route technologiques basées sur la vision	<ul style="list-style-type: none"> -La vision facteur primordial de la feuille de route. -La vision est planifiée à grande échelle selon plusieurs objectifs quantifiés. - Les objectifs fixés sont systématiquement liés. -Prise en compte du contexte social et politique. 	<ul style="list-style-type: none"> -La vision fait objet de planification. -Sous chaque vision, la technologie est planifiée selon plusieurs objectifs quantifiés.

Source : Construction personnelle de l'auteure à partir de Geum et Park (2012)⁵¹⁴.

Notons que cette taxonomie a été établie sur la base des caractéristiques communes à l'ensemble des feuilles de route publiées. Ainsi, il demeure possible de trouver des feuilles de routes rassemblant une ou quelques caractéristiques appartenant à plusieurs catégories à la fois.

L'approche des feuilles de route trouve, par ailleurs, une place importante à l'échelle sectorielle et plus particulièrement dans le secteur de l'énergie, où la recherche de nouvelles sources alternatives est conditionnée par l'émergence de nouvelles technologies.

En parallèle à ceci, l'introduction d'une vision systémique dans l'élaboration des feuilles de route technologiques a connu un intérêt croissant ces dernières années et en particulier au niveau sectoriel. Ainsi, élaborer une feuille de route tenant compte des

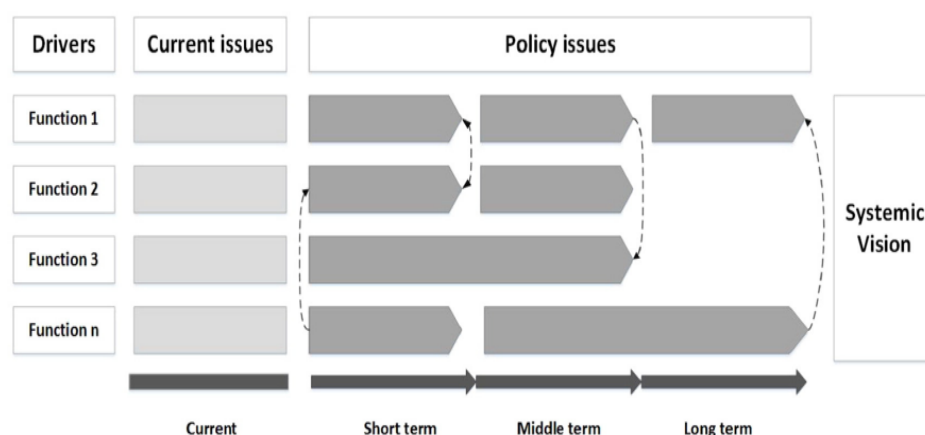
⁵¹⁴ Idem.Op. Cit.p238.

fonctions les plus significatives dans un système d'innovation donné à une échelle sectorielle, offre un ensemble plus riche des lignes directrices à suivre. Haddad et Maldonado, (2016)⁵¹⁵

En effet, les fonctions au sein du système sont considérées comme les moteurs assurant le changement technologique lorsque celles-ci sont articulées et développées autour d'une vision tournée vers l'avenir.

Haddad, Maldonado (2016)⁵¹⁶ proposent un modèle de feuille de route combiné avec l'approche par les fonctions. Ce modèle est illustré dans la figure n° 51 ci-dessous :

Figure n°51 : Structure de la feuille de route basée sur l'approche par les fonctions



Source : Haddad, Maldonado (2016, p 05)⁵¹⁷

Cette feuille de route présente les différentes fonctions dans un système d'innovation en alignant d'abord leur état actuel, puis en traçant leurs éventuelles évolutions. Ainsi, la feuille de route relève les interdépendances existantes entre les différentes fonctions mais plus fondamentalement de l'évolution de ces interdépendances dans le temps.

Par exemple, le développement de la fonction 02 « les activités entrepreneuriales » est conditionné par le développement de la fonction 04 « la formation de marché ». De tels changements vont affecter à leur tour, dans le temps, d'autres fonctions.

Ainsi que détaillé sur la figure ci-dessus, les rectangles apparaissent sous 2 formes :

- pleins : les actions à développer dans une fonction particulière,
- en tirets : les actions à développer et qui affecteront d'autres fonctions.

Pour revenir à la taxonomie des feuilles de routes présentée plus haut, ce modèle de feuille de route s'adapte à la troisième classification. Il s'agit en effet, d'une représentation des

⁵¹⁵ Ibid.Op. Cit.p238.

⁵¹⁶ Idem

⁵¹⁷ Ibid.Op. Cit.p238.

interactions existantes entre les paramètres de la technologie, du marché, des politiques mais aussi des parties prenantes. De plus, sa forme graphique s'appuie sur une représentation chronologique en intégrant les évolutions dans le temps des principales interactions.

2-2-Vers la proposition d'une stratégie selon l'approche par les fonctions pour le S.I.T.E solaire algérien :

La stratégie que nous proposons dans le cadre de notre travail s'appuie sur le modèle présenté ci-dessus. Ainsi, notre proposition de stratégie s'inscrit au sein d'un processus d'aide à la décision s'établissant sur une échelle sectorielle. Elle s'articulera sur la démarche suivante :

- évaluation de l'état des principales fonctions définies à la précédente section (*les activités entrepreneuriales, le développement de la connaissance, la diffusion de la connaissance, l'orientation publique de la recherche, la formation de marché, la mobilisation des ressources, la création de légitimité*),

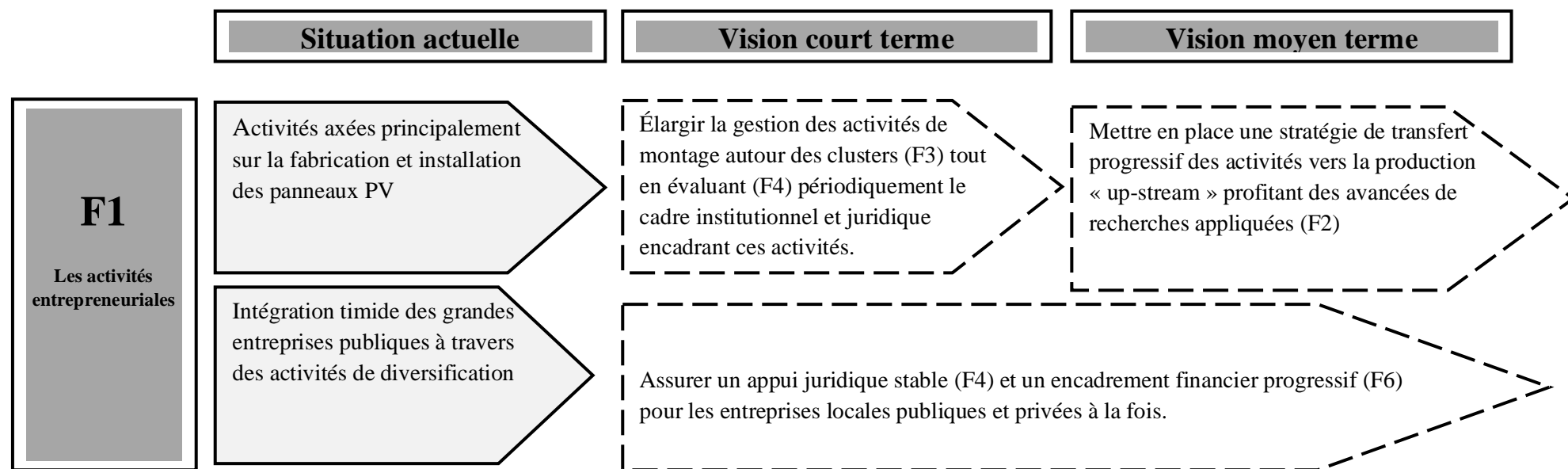
- repérage des principaux atouts mais aussi difficultés et lacunes avérées freins à l'efficacité du système à germer.

À travers une projection dans le temps, les ajustements nécessités par le système existant seront opérés selon les phases de développement de la technologie en question. Le tout en prenant en considération, ainsi que nous l'avons évoqué précédemment, des spécificités de l'Algérie.

Pour ce faire, nous présentons les figures ci-dessous (de 52 à 58). Chaque figure représente la lecture d'une fonction. À travers la lecture de chaque fonction, nous présentons la situation actuelle tirée du bilan détaillé précédemment, et proposons une vision à court terme et une vision à moyen terme tenant compte des effets sur les autres fonctions.

Figure n° 52 : Proposition de stratégie selon l'approche par les fonctions pour le S.I.T.E solaire algérien

(Fonction F1 : les activités entrepreneuriales)



Les autres fonctions affectées par la fonction F1

F2 : Le développement de la connaissance

F3 : La diffusion de la connaissance

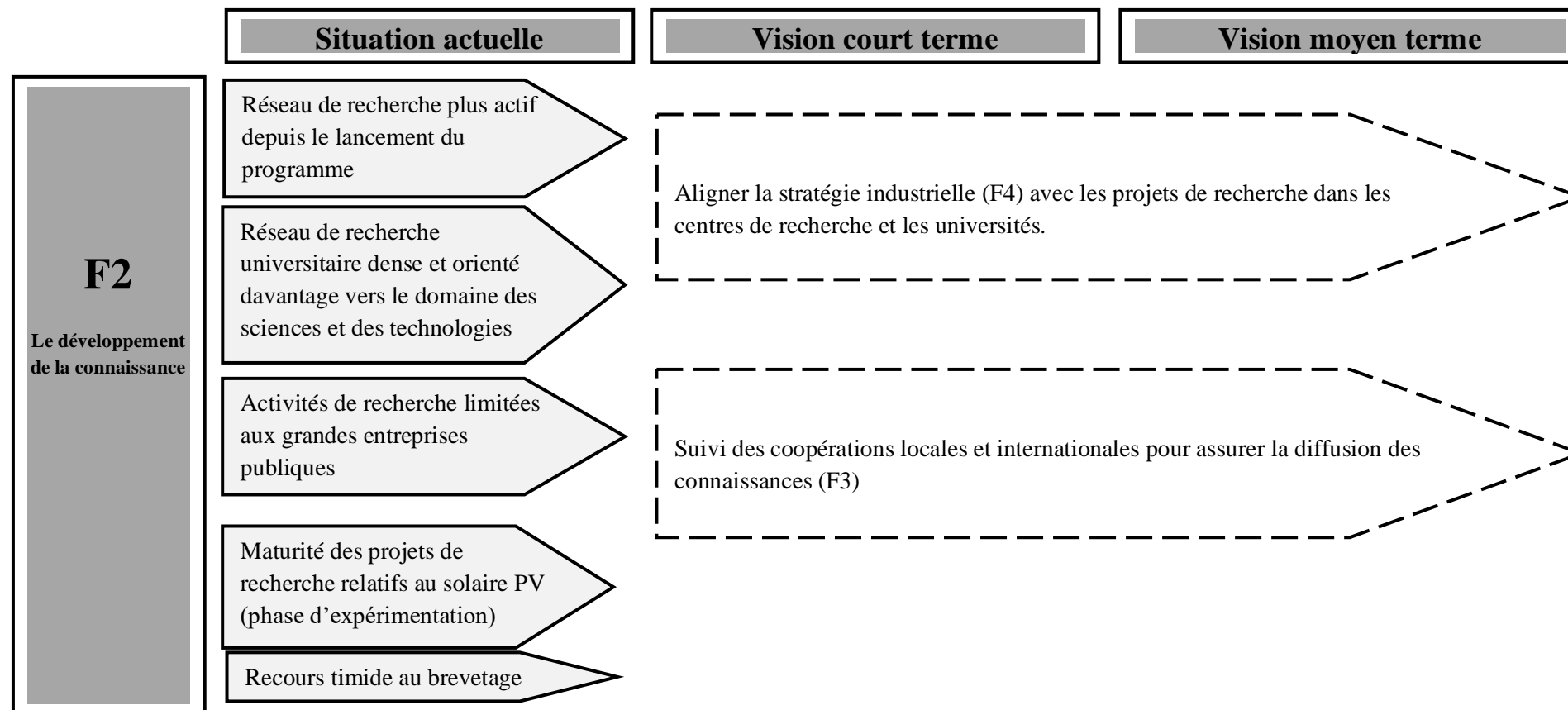
F4 : L'orientation publique de la recherche

F6 : La mobilisation des ressources

Source : Construction personnelle de l'auteure

Figure n° 53 : Proposition de stratégie selon l'approche par les fonctions pour le S.I.T.E solaire algérien

(Fonction F2 : le développement de la connaissance)



Les autres fonctions affectées par la fonction F2

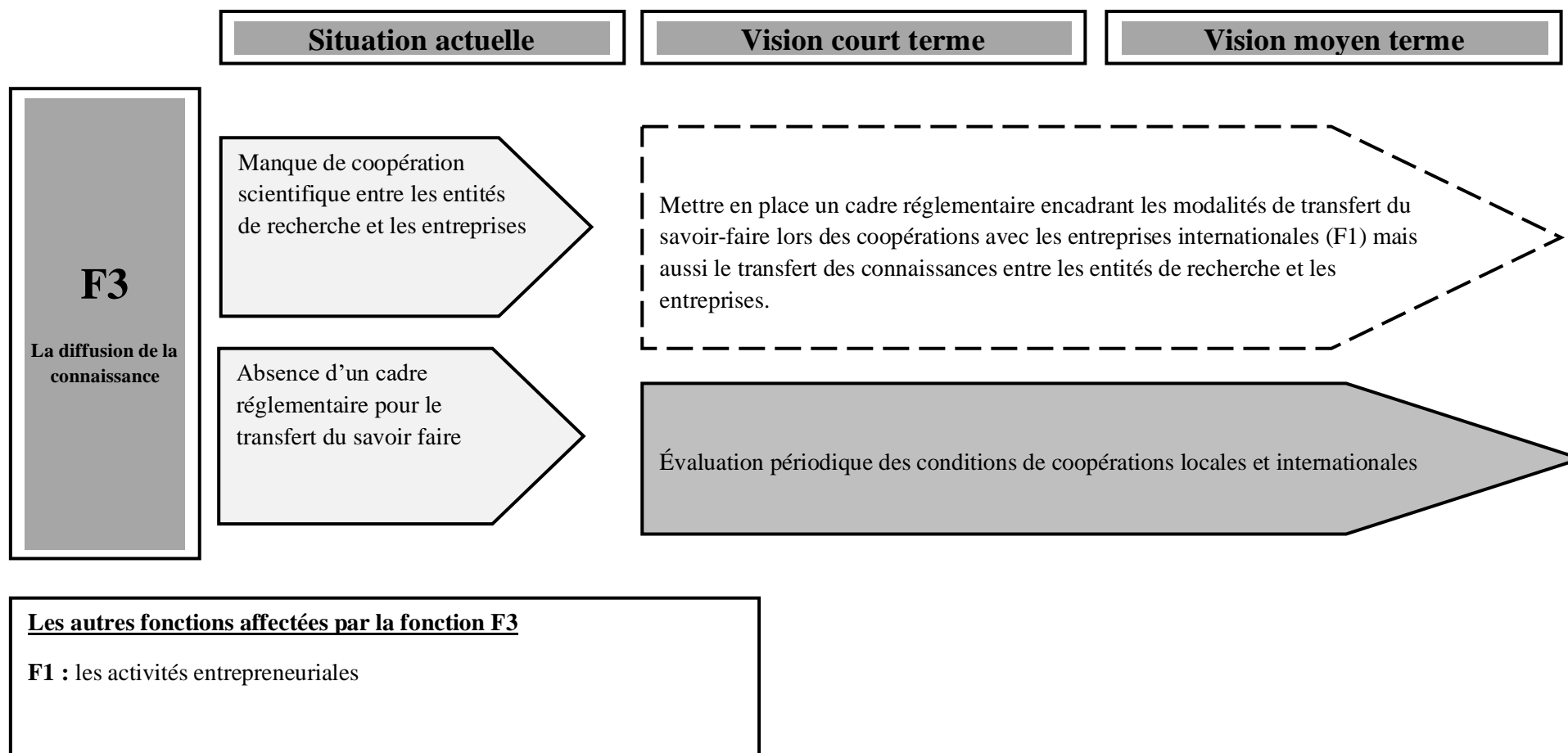
F3 : La diffusion de la connaissance

F4 : L'orientation publique de la recherche

Source : Construction personnelle de l'auteure

Figure n° 54 : Proposition de stratégie selon l'approche par les fonctions pour le S.I.T.E solaire algérien

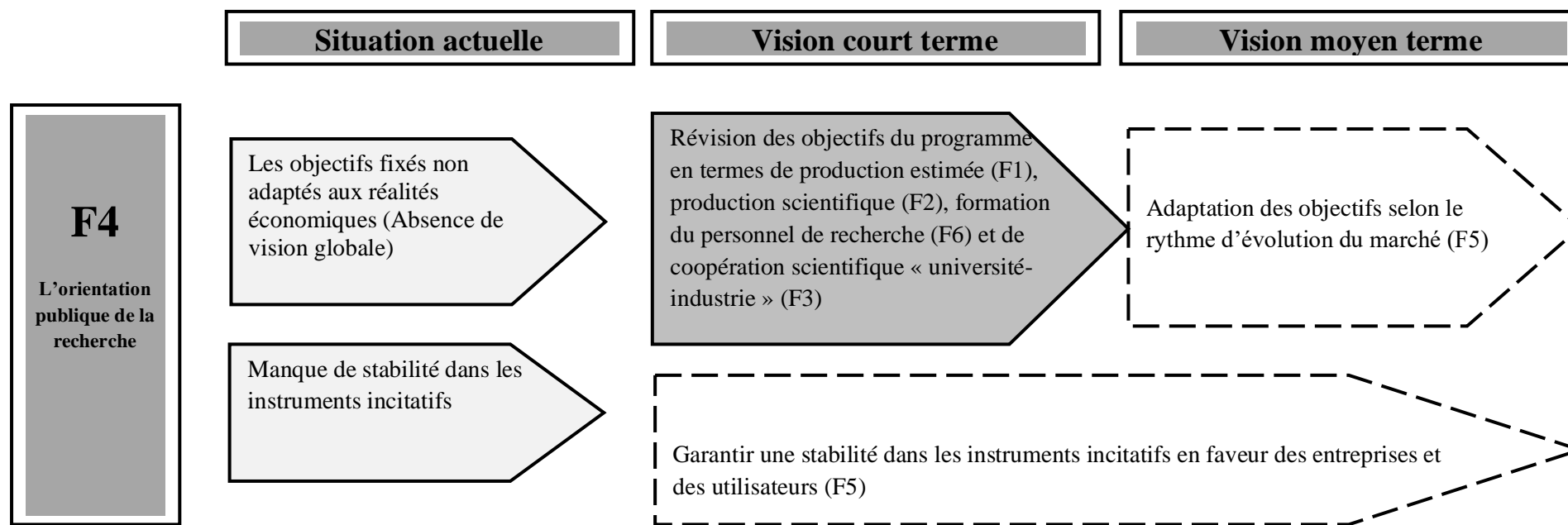
(Fonction F3 : la diffusion de la connaissance)



Source : Construction personnelle de l'auteure

Figure n° 55 : Proposition de stratégie selon l'approche par les fonctions pour le S.I.T.E solaire algérien

(Fonction F4 : l'orientation publique de la recherche)



Les autres fonctions affectées par la fonction F4

F1 : les activités entrepreneuriales

F2 : le développement de la connaissance

F3 : la diffusion de la connaissance

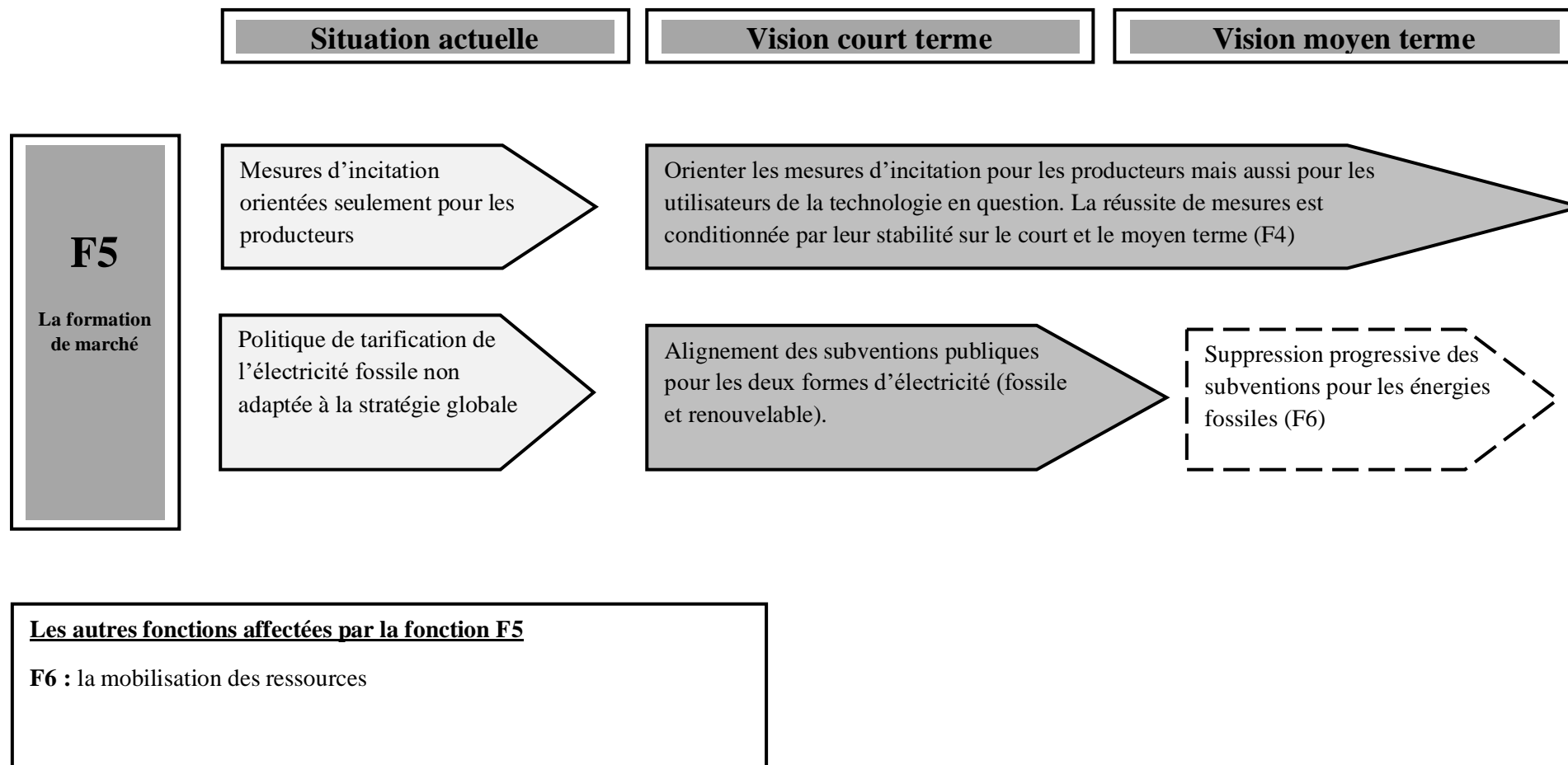
F5 : la formation du marché

F6 : la mobilisation des ressources

Source : Construction personnelle de l'auteure

Figure n° 56 : Proposition de stratégie selon l'approche par les fonctions pour le S.I.T.E solaire algérien

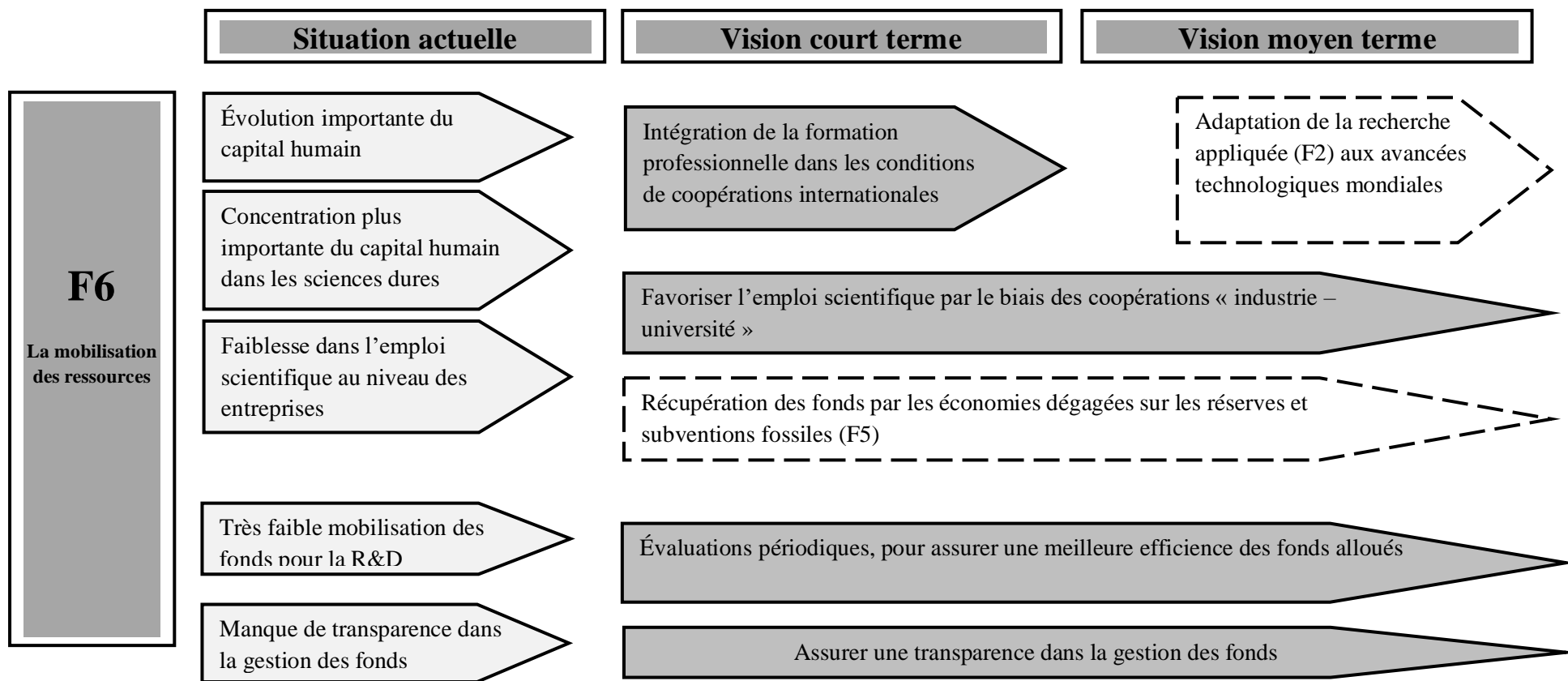
(Fonction F5 : la formation de marché)



Source : Construction personnelle de l'auteure

Figure n° 57 : Proposition de stratégie selon l'approche par les fonctions pour le S.I.T.E solaire algérien

(Fonction F6 : la mobilisation des ressources)



Les autres fonctions affectées par la fonction F6

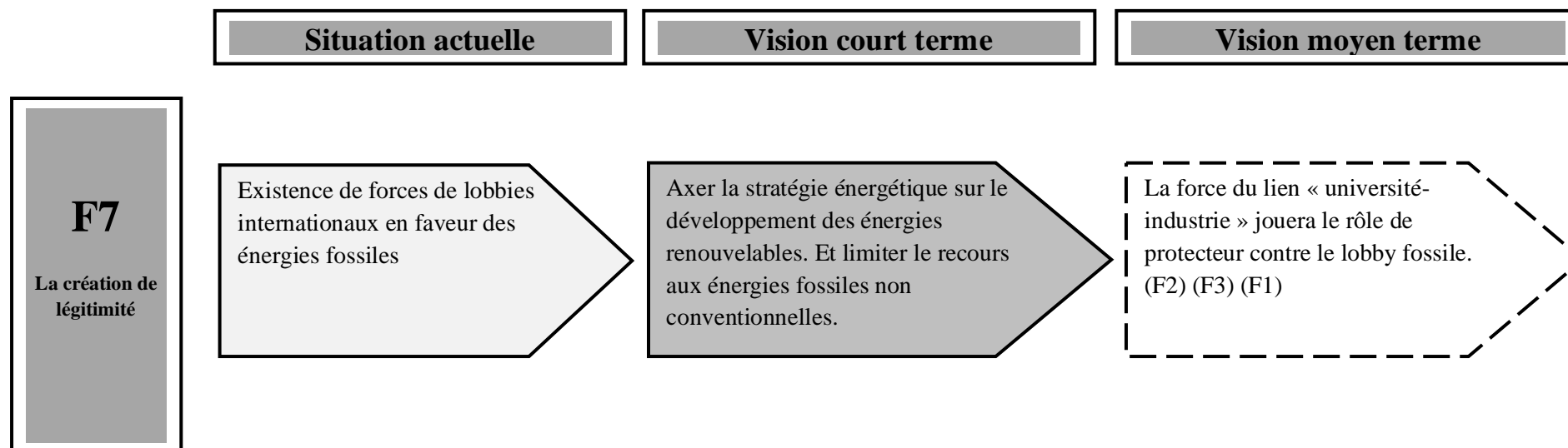
F2 : le développement de la connaissance

F5 : la formation du marché

Source : Construction personnelle de l'auteur

Figure n° 58 : Proposition de stratégie selon l'approche par les fonctions pour le S.I.T.E solaire algérien

(Fonction F7 : la création de légitimité)



Les autres fonctions affectées par la fonction F7

F1 : les activités entrepreneuriales

F2 : le développement de la connaissance

F3 : la diffusion de la connaissance

Source : Construction personnelle de l'auteur

L'observation de ces schémas nous conduit aux observations suivantes :

- nous estimons que pour le cas algérien, le démarrage du processus de changement technologique des énergies solaires PV est fortement conditionné par la lutte contre le lobbying international fossile (*fonction 07*).

Ceci marquera une première grande volonté des décideurs politiques à s'inscrire sérieusement dans une trajectoire de transition énergétique fondée sur des bases solides et durables. Cette lutte doit s'étaler dans le temps, laissant place par la suite au poids qui sera dégagé par la forte liaison « Universités-Industrie » développée en (*fonction 01*), (*fonction 02*), et (*fonction 03*),

- l'orientation publique (*fonction 04*) devrait être le deuxième axe sur lequel accentuer l'effort. Il s'agit de la fonction dont les répercussions concerneront l'ensemble des fonctions restantes.

En premier lieu, une révision des objectifs du programme s'impose tenant compte de nombreux paramètres. Ces derniers doivent concerner non seulement des estimations de production réalistes (*fonction 01*), qui doivent s'adapter aux changements dans les orientations des firmes et la structure du marché (*fonction 05*) à travers le temps, mais aussi des objectifs relatifs à la production scientifique (*fonction 02*), la valorisation de la recherche (*fonction 03*) et la formation académique et professionnelle du personnel de recherche (*fonction 06*). La coopération internationale s'inscrit ici comme un outil non négligeable pour assurer ceci,

- les objectifs globaux doivent s'articuler, impérativement, autour d'une stratégie d'évaluation périodique. Il peut s'agir d'évaluations quantitatives mais aussi d'évaluations qualitatives. Les résultats de ces évaluations doivent être pris en considération pour réajuster les objectifs tout en s'alignant avec la stratégie globale,

- assurer ensuite une stabilité sur le court mais aussi sur le moyen terme des instruments incitatifs en faveur des entreprises et des utilisateurs finaux est d'une importance cruciale. Cela garantira une formation d'un marché (*fonction 05*) solide orienté à la fois vers l'offre (technology push) et la demande (demand pull),

- pour un pays en voie de développement tel que l'Algérie, qui dispose de ressources financières limitées et un tissu de recherche peu développé, il semble préférable que la stratégie de développement technologique s'oriente à l'avenir vers le développement de l'industrie (*fonction 01*) via les partenariats internationaux. Ces partenariats articulés autour d'une stratégie gagnant-gagnant peuvent d'une part, tirer des avantages compétitifs offerts par le potentiel naturel et la situation géographique du pays et d'autre part tirer profit des avancées des connaissances technologiques des firmes internationales leader dans le domaine.

Si nous nous référons au projet DESERTEC⁵¹⁸, son aboutissement peut offrir des avantages non négligeables pour les deux parties⁵¹⁹. Le développement de l'industrie doit prendre en considération le potentiel technique des entreprises locales à savoir la fabrication des panneaux qui correspond au niveau de maîtrise de la technologie « midstream » (à mi-chemin) et « downstream » (en aval). Ceci est toutefois conditionné par l'instauration d'un cadre réglementaire assurant la diffusion et le transfert du savoir-faire vers les entreprises locales. Ce qui leur permettrait de développer les connaissances par la pratique « *learning by doing* » (*fonction 02*) et (*fonction 03*). L'intégration dans les technologies « up-stream » (en amont) quant à elle prendra forme dans le moyen et long terme. La condition pour le développement de l'industrie dans ces technologies nécessite, sur le court et moyen terme, le développement du tissu de recherche appliquée et expérimentale dans les entités de recherche académiques et professionnelles, et ce, par les pratiques du « *learning by searching* » notamment sur les nouvelles technologies de stockage. Profitant ainsi de la densité de la recherche universitaire et notamment dans les sciences dures.

Les technologies énergétiques solaires sont, comme nous l'avons évoqué au chapitre 3, à un stade assez avancé. Leurs coûts de production égalaient en 2020 celui des énergies fossiles avec 0,048 \$/Kwh, si nous ne tenons pas compte des subventions financières. Ainsi pour assurer leur adoption progressive sur le marché algérien (*fonction 05*), il est nécessaire, dans un premier temps, de les aligner avec les énergies fossiles en termes d'appui financier (*fonction 06*). Ainsi, le poids financier engendré par les nouvelles installations d'énergie solaire peut être compensé par l'économie du gaz naturel dégagée sur une durée de 20 ans. Ainsi que l'a démontré l'étude de Akbi et al (2016)⁵²⁰. Cela devrait être, à notre sens, conditionné par une transparence dans la gestion des fonds alloués, seule garantie d'une amélioration de l'efficacité quant à leurs affectations.

⁵¹⁸ Ibid.Op. Cit.p231.

⁵¹⁹ Algérie et Allemagne

⁵²⁰ Akbi.A, Yassaa.N, Boudjema.R, Boualem.A, 2016, « A new method for cost of renewable energy production in Algeria: Integrate all benefits drawn from fossil fuel savings », Renewable and sustainable energy reviews, 2016, 1150-1157.

CONCLUSION

Le rôle de l'innovation technologique afin de promouvoir le secteur des énergies renouvelables a été explicité à travers les trois précédents chapitres. L'approche par les fonctions a aussi permis de soutenir qu'elle reste indissociable :

- du caractère dynamique du processus de changement technologique,
- mais aussi des interactions inévitables engendrées par les activités d'innovation de ce même système.

Ce dernier chapitre qui a vu notre analyse s'appuyer sur l'approche par fonctions nous a permis d'aboutir à une évaluation du S.I.T.E solaire algérien. Sans évidemment que nous considérons que cette analyse soit exhaustive et définitive. Celle-ci reste à l'évidence largement conditionnée par le choix des indicateurs tant quantitatifs que qualitatifs opérés au sein de la première section de ce chapitre, mais aussi des interactions qui en ont découlé. Et c'est dans ce cadre d'analyse que 07 principales fonctions ont fait l'objet de la section 02 de ce travail.

Notre analyse a ainsi fait ressortir :

- un tissu d'entreprises principalement orientées vers les activités "midstream" (à mi-chemin) avec une intégration assez timide des grandes entreprises publiques,
- un réseau de recherche quant à lui plutôt dense et orienté davantage vers le domaine des sciences et technologies. Ce qui à notre sens représente le maillon fort du S.I.T.E solaire algérien puisqu'il assure une compétence humaine dotée des qualifications nécessaires à une meilleure industrialisation. Un appui institutionnel plus fort qui assurerait la diffusion de la connaissance et le transfert du savoir-faire des pays développés ne ferait que conforter encore plus ce maillon fort,
- un décalage assez marqué entre le volet recherche et le volet industrialisation reflété par un recours timide au brevetage des recherches qui aboutissent,
- l'existence d'importantes lacunes dans la mise en place d'une stratégie globale orientée sur le moyen et long terme : déficit de stabilité dû lui-même au déficit d'instruments incitatifs, stratégie productiviste au détriment d'instruments ciblant la demande, insuffisance voire absence d'un cadre réglementaire adéquat en matière de transfert de savoir-faire,
- et celui qui n'est pas des moindres, un fort lobbying fossile sur la stratégie algérienne dans le domaine des énergies renouvelables.

L'analyse de ces forces et faiblesses du S.I.T.E solaire algérien, leur listing, nous a permis de dresser ce qui pourrait incarner une feuille de route pour l'avenir du système

d'innovation technologique solaire algérien. Il va sans dire que notre analyse s'est de fait placé dans une démarche désireuse d'être beaucoup plus dans un cachet d'éclairage que directif d'une politique à adopter par les pouvoirs publics. Nous restons en effet conscientes qu'il ne s'agit pas là du rôle de l'universitaire. Même si le rôle d'un universitaire d'un pays en voie de développement ne peut exclusivement se cantonner dans un rôle de recherche pure fondamentale bien moins qu'appliquée. Soit le fameux débat -ou faux débat - d'une recherche vers un objectif commun, celui d'une recherche qui soit utile à la société⁵²¹⁵²²⁵²³⁵²⁴. La seule différence - au final - entre les deux types de recherche étant sans doute une question d'échéancier. La pandémie COVID l'a d'ailleurs largement démontré.

Notre analyse au final, s'est certes concentrée sur des déterminants d'ordre interne à devoir instaurer, modifier ou renforcer, mais il n'en demeure pas moins aussi que la coopération internationale en matière de stratégie des énergies renouvelables n'est pas à écarter ou minorer. Loin s'en faut. Les interactions avec l'extérieur sont largement tout aussi capitales.

⁵²¹Hatchuel. A, 2000, « Quel horizon pour les sciences de gestion ? Vers une théorie de l'action collective ? in Les nouvelles fondations des sciences de gestion, collectif d'auteurs, éd. Vuibert, collection FNEGE, Mars 2000 p.41 ;

⁵²² David.A, Hatchuel.A, Laufer.R Ibid. ;

⁵²³ David.A, « La recherche-intervention, cadre général pour la recherche en management ? » Ibid. pp. 193-216 ;

⁵²⁴ Argyris.C, « Savoir pour agir », éd. Interéditions, 1995

CONCLUSION GENERALE

L'intérêt que porte la recherche académique sur le processus d'innovation technologique environnementale et son impact sur la performance économique des nations a revêtu, ces dernières décennies, une large ampleur conduisant à une importante révolution dans les réflexions tant des chercheurs, décideurs politiques, que de la société. Cela a donné naissance à de nouveaux champs de recherche poussant les économistes à s'éloigner des perceptions traditionnelles des marchés de production, de la consommation, et de l'organisation du travail afin qu'ils s'orientent vers une recherche qui analyserait le poids des déterminants (politiques, économiques, sociétaux, environnementaux) liés à l'innovation technologique. De tels apports représentent des appuis évidents et de poids, destinés à aider les décideurs économiques sur le choix des politiques publiques à adopter afin d'atteindre les objectifs du millénaire et garantir une croissance durable pour leurs économies. L'approche systémique de l'innovation répond à cet objectif puisqu'elle permet d'étudier la nature des interdépendances existantes dans un système d'innovation quel qu'il soit. Ce qui la place d'emblée comme étant la plus appropriée méthodologiquement lorsqu'elle touche des secteurs dits "complexes" tel que le secteur des énergies.

Celui-ci a connu ces dernières années d'importants bouleversements dans les stratégies des pays, notamment ceux riches en ressources naturelles tel que la Chine. Cet état de fait a peu à peu conduit à une restructuration du marché mondial de l'électricité.

Les orientations, plus spécifiquement des pays développés et émergents vers les sources énergétiques renouvelables, enrichissent le stock international de la connaissance en matière de technologies nécessaires. Elles conduisent ainsi à une réduction des coûts de production réduisant ainsi sensiblement les risques qui y sont liés.

Les mutations internationales vers un mix énergétique mondial ne laissent pas indifférents nombre de pays dont l'Algérie. Les engagements de celle-ci (en matière d'efficacité énergétique et de transition) auprès des Nations Unies aux horizons 2030 en attestent. Aussi un programme nommé "Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique" a été lancé en 2011 avec l'objectif principal de produire 27% de l'électricité nationale à partir des sources d'origine renouvelable. Cette volonté est encouragée par la présence d'un fort potentiel énergétique renouvelable notamment solaire. Elle l'est de même par l'avantage géographique lui assurant une position stratégique pour les éventuelles exportations de l'électricité vers les pays de l'Europe.

L'énergie solaire globale reçue en effet en Algérie, par an et par m^2 varie entre 5,1 Kwh (soit 1860 Kwh/an/ m^2) au nord et 6,6 Kwh dans le Grand Sud (soit 2.410 Kwh/an/ m^2). Rapport

CEREFÉ, (2020)⁵²⁵, alors que celle-ci est de 5Kwh en moyenne au Maroc⁵²⁶. Ajoutons à cela, la superficie ensoleillée dans le Grand Sud algérien qui augmente nettement l'efficacité des installations solaires PV. De tels avantages motivent la prise d'actions en faveur d'une transition énergétique.

Même si, la durée restante à l'épuisement des gisements des hydrocarbures porte encore à débat avec les découvertes continues de gisements, il est primordial à ce stade d'évoquer l'imminente redistribution de la carte géopolitique énergétique mondiale, favorisée par l'expansion des avancées technologiques notamment de solaire et d'éolien qui poussent de nombreux pays vers des alternatives plus propres et moins coûteuses. De ce fait, l'Algérie n'a plus le choix de tergiverser. Ce n'est plus un choix mais un impératif.

Les récents événements encore en cours notamment ceux liés à la guerre en Ukraine dévoilent à l'évidence les risques inhérents d'une dépendance énergétique à un seul pays, voire à plusieurs. Ils étaient déjà évidents suite à la crise COVID-19 qui elle a dévoilé les conséquences d'une désindustrialisation à l'extrême au profit des sirènes de la mondialisation et qui a abouti aux pénuries de masques chirurgicaux pour ne citer que ce produit-là.

Consciente de l'importance de l'innovation pour l'atteinte de ces objectifs, l'Algérie mise sur le développement du tissu de recherche à travers la coopération avec les centres de recherche, les universités, mais également les entreprises. Pour cela, un programme national de recherche a été lancé en 2011 destiné à accompagner le programme national en énergies renouvelables.

L'objectif central de notre analyse aura été d'établir que le soutien à l'innovation technologique en vue du développement des énergies renouvelables affleure comme étant l'une des voies quasi uniques de sortie du pays des énergies fossiles. Et c'est l'énergie solaire photovoltaïque - au vu du potentiel évident en Algérie - qui se distingue le mieux dans ces alternatives possibles.

Les éléments de réponse -non exhaustifs à l'évidence- apportés par notre analyse à ce travail de recherche nous aura permis à tout le moins de dresser un premier bilan du Système d'Innovation Technologique Solaire algérien (SITE). L'analyse par fonctions empruntée au courant schumpétérien entendait référer aux activités d'innovation à plus fort impact dans le

⁵²⁵ Ibid.Op. Cit.p193.

⁵²⁶ <https://afrique.latribune.fr/entreprises/la-tribune-afrique-de-l-energie-by-enedis/2019-02-25/le-solaire-levier-economique-pour-le-maroc>
808487.html#:~:text=%C2%ABAVEC%203%20000%20heures%20d,d'un%20potentiel%20solaire%20consid%C3%A9rable.
Consulté le 18/09/2021.

déclenchement du processus d'innovation des technologies solaires photovoltaïques sur le marché algérien.

Cette analyse nous a orientée vers une sélection d'indicateurs tant quantitatifs que qualitatifs, que nous avons estimés pertinents dans l'évaluation du S.I.T.E solaire algérien. Elle aura permis ainsi du moins de relever les principales forces (à amplifier) et faiblesses (à corriger) du SITE, phases indispensables à la constitution d'un tissu solide permettant le déclenchement du processus de transformation sur le marché.

Ainsi, au vu de cette première partie de l'analyse, le bilan établi a fait ressortir :

- une orientation des activités industrielles vers la fabrication et montage de panneaux photovoltaïques profitant des niveaux des connaissances moyens « midstream », avec une intégration assez timide des grandes entreprises publiques dans le tissu industriel des technologies solaires photovoltaïques,

- un réseau de recherche hors universités plus actif depuis le lancement du programme, ainsi qu'une densité du domaine des sciences et technologies dans la recherche universitaire présentant un réel levier du développement d'une industrie de photovoltaïque,

- une maturité des projets de recherche relatifs au solaire PV, avec un recours timide au brevetage faisant ressortir un réel décalage entre la recherche et l'industrialisation,

- une limitation des activités de recherche aux grandes entreprises publiques telles que Sonelgaz, Sonatrach et Enie, avec un nombre réduit de coopérations scientifiques entre les entités de recherche et les entreprises industrielles,

- une absence d'un cadre réglementaire détaillant les modalités de transfert du savoir-faire lors des coopérations nationales et internationales,

- la présence de réelles lacunes dans la fixation d'une stratégie globale axée sur le moyen et le long terme. Ces lacunes se reflètent d'un côté, par la fixation d'objectifs qui ignorent les conditions économiques actuelles, et de l'autre par un manque de stabilité dans la prise des mesures incitatives censées garantir une certaine sécurité aux opérateurs économiques. De plus ces mesures incitatives sont orientées uniquement vers les producteurs ignorant le poids qu'aurait la demande sur ces nouvelles technologies. La politique de subvention sur la tarification de l'électricité fossile représente à elle seule un contrepoids économique et social non négligeable dans la prise des décisions en faveur des énergies renouvelables,

- une évolution importante du capital humain notamment au niveau des universités avec une concentration plus importante dans les sciences dures. Paradoxalement à ceci, les entreprises enregistrent une forte faiblesse dans l'emploi scientifique,

- une très faible mobilisation des ressources financières pour la R&D dans le secteur, associée à un manque de transparence dans la gestion des fonds,

- existence de forces de lobbies internationaux en faveur des énergies fossiles en raison de la situation géopolitique actuelle de l'Algérie, forces empêchant la prise de décisions en faveur des énergies renouvelables. La mobilisation continue des ressources financières en faveur des énergies fossiles au détriment des énergies renouvelables accentue le retard qu'enregistre le pays pour respecter ses engagements internationaux. Mais il l'éloigne aussi et de plus en plus des réelles opportunités économiques pouvant être saisies grâce à une transition énergétique réussie elle-même atout d'un bien-être social pour les populations de plus en plus sensibles aux externalités négatives sur l'environnement.

Le bilan établi à partir des sept (07) principales fonctions a été par la suite notre base de travail pour dresser, dans une démarche plus d'éclairage que directive, une stratégie établie sur la base d'une feuille de route technologique proposant les éventuelles interactions à favoriser sur un horizon temporel à court et moyen terme, nécessaires à notre sens, pour assurer l'expansion du Système d'Innovation Technologique Solaire algérien (S.I.T.E).

Ainsi, le modèle de feuille de route technologique que nous avons adopté dans notre travail est une représentation graphique qui démarre de l'état des principales fonctions présenté lors de la première étape. Les fonctions en question sont :

- *les activités entrepreneuriales (F1),*
- *le développement de la connaissance (F2),*
- *la diffusion de la connaissance (F3),*
- *l'orientation publique de la recherche (F4),*
- *la formation de marché (F5),*
- *la mobilisation des ressources (F6),*
- *la création de légitimité (F7)*

Nous avons ensuite opéré des suggestions d'ajustement tenant en compte des forces et faiblesses relevées dans le système et ce dans le cadre d'une analyse relevant d'éventuelles interactions dans le temps.

Cette proposition d'ajustement a été enclenchée par la septième fonction (F7) soit celle de la création de légitimité. La volonté des décideurs politiques de s'inscrire dans une trajectoire de transition énergétique fondée sur des bases solides et durables ne peut cependant pas zapper la lutte contre le lobbying international des énergies fossiles.

L'orientation publique de la recherche devrait être, à notre sens, le deuxième axe sur lequel accentuer les efforts. Cela devrait débiter par une révision des objectifs du programme en termes :

- de production estimée (*F1*),
- de production scientifique (*F2*),
- de formation du personnel de recherche (*F6*),
- de coopération scientifique « université-industrie » (*F3*).

Dans le sens de la même stratégie :

- la fixation d'objectifs clairs et chiffrés ne pourra qu'offrir une base pour l'évaluation périodique de ces activités et permettre une adaptation des objectifs selon le rythme d'évolution du marché (*F5*).

- la recherche d'une stabilité de ces instruments incitatifs ne pourra que profiter aux entreprises ainsi qu'aux utilisateurs (*F5*).

Nous pensons de même que l'orientation de ces instruments à la fois vers les producteurs (*technology push*) et les consommateurs (*demand pull*) peut avoir aussi son poids (*F4*). Pour cela, l'alignement des subventions publiques pour les deux formes d'électricité (fossile et renouvelable) peut réaligner les conditions du marché et permettre une suppression progressive des subventions pour les énergies fossiles (*F6*) sur le long terme. La compensation des fonds alloués à cette fin pourrait alors se faire par les économies de gaz sur le moyen et le long terme.

Les coopérations internationales représentent un paramètre d'une importance cruciale notamment pour un pays en voie de développement disposant de ressources financières limitées et d'un tissu de recherche peu développé. Ainsi assurer un climat d'affaires attractif pour les IDE (Investissements Directs Étrangers) pourrait profiter - si on s'inscrit dans une vision gagnant-gagnant- aux investisseurs étrangers du potentiel naturel, de la situation géographique du pays ainsi que de son capital humain. Et tout autant pour l'industrie algérienne (*F1*) des avancées technologiques des firmes internationales leaders dans le domaine.

Encore faudra-t-il :

- suivre les coopérations locales et internationales pour assurer la diffusion des connaissances (*F3*) et limiter l'effet de dépendance à long terme,

- mettre en place une stratégie de transfert progressif des activités vers la production « up-stream » profitant des avancés de recherches appliquées (*F2*),

Conclusion générale

- mettre en place un cadre réglementaire encadrant les modalités de transfert du savoir-faire lors des coopérations avec les entreprises internationales (**F1**) mais aussi le transfert des connaissances entre les entités de recherche et les entreprises,
- adapter la recherche appliquée au niveau des centres de recherche, des entreprises et les universités (**F2**) aux avancées technologiques mondiales,
- favoriser l'emploi scientifique par le biais des coopérations « industrie –université »,
- aligner la stratégie industrielle (**F4**) avec les projets de recherche dans les centres de recherche et les universités,
- assurer un appui juridique stable (**F4**) et un encadrement financier progressif (**F6**) pour les entreprises locales publiques et privées à la fois,
- assurer une transparence dans la gestion des fonds publics.

Au terme de notre recherche il ressort clairement à notre sens que notre hypothèse première de travail (*l'existence d'un fort potentiel naturel solaire assure au pays une attractivité des investisseurs internationaux et représente le principal levier pouvant assurer l'atteinte des objectifs tracés*) est rejetée : le potentiel naturel solaire ne suffit pas à lui seul à atteindre les objectifs tracés. Même s'il représente un réel atout pour l'économie algérienne

En revanche notre seconde hypothèse de travail (*la mise en place d'une stratégie à long terme assurant un engagement d'apprentissage et d'application des I.T.E solaires par les acteurs est une condition pour atteindre les objectifs tracés*) est largement validée. Stratégie de long terme, apprentissage et applications des I.T.E par les parties prenantes incarnent un trio indissociable gagnant.

Nous ne concluons pas ce travail sans évoquer les soucis d'ordre matériel liés à l'accès de l'information auprès des institutions en charge de la produire sur la thématique de nos questionnements. Il est communément admis que cet écueil dans la recherche en Algérie n'est pas spécifique à notre cas mais reste un problème récurrent du chercheur demandeur en la matière.

Le CDER (Centre de Développement des Énergies Renouvelables) fut la première structure d'informations que nous souhaitions investiguer. Il s'agit en effet de l'entité chapeautant le programme national de recherche en énergies renouvelables. Mais si leur site internet s'avérait offrir une source riche en éléments pertinents d'informations (ceux liés à la

production scientifique afférent au domaine des énergies renouvelables), nous avons vite déchanté quand il s'est agi d'obtenir des réponses sur les volumes de financement liés à la recherche dans cette thématique. Nous souhaitions à tout le moins établir un comparatif de ces financements du cas algérien en regard de la scène internationale.

La seule information disponible à la DGRSDT (Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique) en matière de financement des énergies renouvelables en Algérie consistait en des projections allouées dans les budgets sans qu'il n'ait été possible de préciser quels étaient ceux qui avaient été effectivement débloqués et encore moins quels étaient les résultats obtenus suite à ces financements. Les seuls indicateurs qu'il nous a été possible de définir se limitaient au nombre de chercheurs, d'enseignants-chercheurs et de doctorants présents dans la filière.

Et même si la période de collecte de nos informations coïncidait avec le début du mouvement contestataire algérien baptisé "Le Hirak", c'est surtout la disponibilité d'une base de données réelles en la matière (du moins la volonté de la diffuser) qui nous a fait largement défaut. Il faut cependant souligner que nos multiples déplacements et entretiens directifs auprès des responsables de l'ATRST (Agence Thématique de la Recherche Scientifique et Technologique) ont toujours fait face à une réelle volonté d'aider notre recherche (et en cela nous tenons à les en remercier chaleureusement). Il est évident que nous aurions aussi souhaité que leur contribution franchisse l'obstacle majeur de notre analyse, soit la définition des critères et résultats d'évaluation de leurs PNR (Projets Nationaux de Recherche).

La position du chercheur revenant bredouille d'une démarche de collecte d'informations n'est pas aussi toujours innocente de ses échecs. Le choix des mots utilisés dans les questions, leur tournure lexicale, peuvent parfois, sans doute, heurter la sensibilité de la personne interviewée. La psychologie, le ressenti de la personne à qui est posée la question peuvent être interprétés comme une agression et non pas comme une contribution à localiser les failles afin de les annihiler. C'est ce que nous avons parfois rencontré au moment où il fallait évoquer des indicateurs "d'évaluation" des projets, ce qui mettait alors l'interviewer dans une position défensive de responsables se sentant justement "responsables" des failles relevées bien plus que d'agents disposés à en améliorer les rouages.

C'est la déception que nous avons quelque peu vécue auprès de l'ANVREDET (Agence Nationale pour la Valorisation de la Recherche et le Développement Technologique) qui incarnait à notre sens une réelle opportunité de confrontation entre un volet de recherche académique à valoriser au profit d'un autre volet plus opérationnel plus pragmatique, celui de l'industrialisation utilisant les énergies renouvelables. Une analyse de ses convergences ou

décalages aurait été plus opportune, plus parlante puisque l'agence est chargée de la valorisation de la recherche dans tous les domaines dont le domaine des énergies renouvelables. De surcroît, l'étroite coopération et collaboration qu'elle détenait avec le CDER (Centre de Développement des Énergies Renouvelables) aurait pu augurer d'analyses pertinentes, produits de ses relations avec les détenteurs de brevets, dans le domaine des énergies renouvelables, que l'agence accompagnait dans leurs phases de lancement sur le marché.

Il est vrai que notre analyse au final, s'est largement concentrée sur des déterminants d'ordre interne à devoir instaurer modifier ou renforcer, mais il n'en demeure pas moins aussi que la coopération internationale en matière de stratégie des énergies renouvelables n'est pas à écarter ou minorer. Loin s'en faut.

Les interactions avec l'extérieur sont largement tout aussi capitales, voire primordiales. Et ce d'autant que la question des énergies renouvelables ne peut plus être déconnectée de la question pendante qu'est le réchauffement climatique à laquelle les pays développés s'attaquent de plus en plus. Ces derniers ne pouvant plus conserver le luxe de rester insensibles au militantisme dynamique, parfois anarchique, des mouvements écologiques. Outre que les énergies fossiles sont inéluctablement appelées à se tarir, que les rentes qu'elles produisent devraient suivre la même trajectoire et que les énergies décarbonées incarnent l'avenir, les pays producteurs d'hydrocarbures, dont l'Algérie, n'ont d'autre choix que de s'inscrire dans cette dynamique des énergies renouvelables dont le solaire peut offrir un substitut évident.

Reste qu'il faille réfléchir avec beaucoup de prudence sur les modalités de ces coopérations internationales en la matière, les financements gourmands qu'elles exigent, le potentiel naturel disponible selon les régions, la maîtrise des technologies qu'elles nécessitent. Troquer "l'or noir" pour "l'or vert" n'est certainement pas une mince affaire. L'énergie solaire de type photovoltaïque qui rappelons-le est celle qui transforme l'énergie solaire en électricité fait, ainsi que nous l'avons observé, de l'Algérie un concurrent sérieux à travers le monde (en plus des pays du Golfe) d'autant qu'elle incarne l'émergence d'une nouvelle énergie dominante car produite à un meilleur coût couplé avec moins d'externalités négatives. Pour peu que les pouvoirs en place en prennent conscience.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

➤ **Ouvrages :**

- Argyris.C, « Savoir pour agir », édition. Interéditions, 1995
- David.A, Hatchuel.A, Laufer.R, 2000, « Les nouvelles fondations des sciences de gestion » édition. Vuibert, collection FNEGE, Mars 2000.
- Drucker.P, 1985, « Innovation and entrepreneurship; practices and Principles », Perfect Bound
- Edquist.C, Johnson, B, 1997, « Systems of innovation: Overview and basics concepts », Chapter two «Institutions and Organizations in System of Innovation », Taylor and Francis Group, 2006, London.
- Edquist.C, 1997, « Systems of innovation: technologies, institutions and organizations », Science, technology and the international political economy, John de la Mothe (Series editor).
- GEA, 2012: Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future. International Institute for Applied Systems Analysis, Vienna, Austria and Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA
- Grubler, A, Nemet,G, 2012, « Sources and Consequences of Knowledge Depreciation. Historical Case Studies of Energy Technology Innovation » in: Chapter 24, The Global Energy Assessment. Grubler A., Aguayo, F., Gallagher, K.S., Hekkert, M., Jiang, K., Mytelka, L., Neij, L., Nemet, G. & C. Wilson. Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- Guellec.D, 2009, « Economie de l'innovation », Paris, La Découverte.
- Hansen.JP, Percebois.J, 2010, « Energie : économie et politiques », de Boeck.
- Lundvall.B, 1992, « National systems of innovation: Toward a theory of innovation and interactive learning », Anthem press. Edition de 2010.
- Lundvall.B.A, Joseph.k.J ,Chaminade.C ,Vang.J, 2009, « Handbook of innovation systems and developing countries : building domestic capabilities in a global setting », Edward Elgar, UK.
- Rogers.E.M, 1983, « Diffusion of innovations »,3^{ème} édition, Macmillan publisher, London.
- Smith.S.K, 2018, “Redrawing the Geopolitical Map: International Relations and Renewable Energies”, chapter 3 in “The Geopolitics of Renewables”, Contribution book, Lecture Notes in Energy 61, Daniel Scholten Editor

- Wilson.C, 2012. Historical Diffusion and Growth of Energy Technologies. Historical Case Studies of Energy Technology Innovation in: Chapter 24, The Global Energy Assessment. Grubler A., Aguayo, F., Gallagher, K.S., Hekkert, M., Jiang, K., Mytelka, L., Neij, L., Nemet, G. & C. Wilson. Cambridge University Press: Cambridge, UK.
 - Wilson.C, 2012. Input, output, & outcome metrics for assessing Energy Technology innovation, Historical case studies of energy of energy technology innovation », in: Chapter 24, The Global Energy Assessment. Grubler A., Aguayo, F., Gallagher, K.S., Hekkert, M., Jiang, K., Mytelka, L., Neij, L., Nemet, G. & C. Wilson. Cambridge University Press: Cambridge, UK.
 - Yu.Z, Lazonick.W,Sun.y, 2016, « China as an innovation nation », Oxford University press, United Kingdom. 2016
- **Thèses :**
- Carvalho.M.D, 2015, « The internationalisation of green technologies and the realisation of green growth », the London school of economics and political science. Thèses soutenue le 28/04/2015.
 - Taillant.P, 2005, « L'analyse évolutionniste des innovations technologiques : l'exemple des énergies solaire photovoltaïque et éolienne » Université Montpellier 1, faculté des sciences économiques, sous la direction de Jacques Percebois.
- **Communications :**
- Casadella.V, UPIJV, CRIISEA, Temple.L, Cirad, Umr Innovation 2016, "Politiques d'innovation pour le développement des economies du sud : regards croisés Sénégal/Cameroun", RRI . Forum de l'Innovation VII 9 au 11 juin 2016 Cité de Sciences et de l'Industrie à Paris.
 - David.A, 2000, « La recherche intervention, un cadre général pour les sciences de gestion ? », IXème Conférence Internationale de Management Stratégique Montpellier, 24 au 26mai 2000, pp. 193-216
 - Destais.G, « Les théorisations économiques du développement durable ; proposition de décryptage critique », colloque international francophone, « le développement durable : débats et controverses », 15 et 16 décembre 2011, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
 - Edquist.C, 2001, « The systems of innovation approach and innovation policy: An account of the state of the art », DRUID conference, Aalborg, June 12-15, 2001, under theme F: 'National Systems of Innovation, Institutions and Public Policies'.
 - Gronning.T, 2008, « Institutions and innovation systems: the meaning and roles of the institution concept within systems of innovation approaches », « Entrepreneurship and innovation-organizations, institutions, systems and regions », Copenhagen, CBS, Denmark, June 17 - 20, 2008

- Hummelbrunner.R, Regionalberatung.O, 2000, « A system approach to evaluation: Application of system theory and system thinking in evaluations », 4th EES conférence, 12-14 October 2000, Lousanne.
- Johnson.A, 2001, « Functions in innovation system approaches », DRUID conference, Aalborg, June 12-15, 2001, under theme F: 'National Systems of Innovation, Institutions and Public Policies'.
- Tourabi.A, 2016, « Contribution à l'analyse de l'innovation incrémentale en tant que stimulateur à l'amélioration de la performance environnementale », Réseau International de Recherche sur les Organisations et le Développement Durable, RIODD, 2016

➤ *Articles universitaires :*

- Aghion.P, Howitt.P. 1992. « A Model of Growth Through Creative Destruction» *Econometrica* 60, no. 2: 323-351.
- Aghion.P, Hemous.D, Veugelers.R, 2009 « No green growth without Innovation», *bruegel Policy Brief*, n° 07/2009, Novembre.
- Akbi.A, Yassaa.N, Boudjema.R, Boualem.A, 2016, « A new method for cost of renewable energy production in Algeria: Integrate all benefits drawn from fossil fuel savings », *Renewable and sustainable energy reviews*, 2016, 1150-1157.
- Arena.R, Lazaric.N, 2003, « La théorie évolutionniste du changement économique de Nelson et Winter : une analyse économique rétrospective », *Revue Economique*, Presses de Science Po, pp 329-354.
- Asheim.B.T, Coenen.L, 2005, « Knowledge bases and regional innovation systems: Comparing Nordic clusters », *Research Policy* 34 (2005) 1173–1190
- Bentoubal.S, Slimani.A, Boucherit.M.S, Hamouda.M, 2010, L'énergie renouvelable en Algérie et l'impact sur l'environnement, *Journal of Scientific Research* N° 0 vol. 1.
- Boulanger. P.M, 2007, « Les barrières à l'efficacité énergétique », *Reflets et perspectives de la vie économique* 2007/4 (Tome XLVI), p. 49-62.
- Cantarero.MMV, 2020, « Review of renewable energy, energy democracy and sustainable development: A roadmap to accelerate the energy transition in developing countries», *Energy Research & Social Science*, 70 (2020) 101716.
- Carlsson.B, Jacobsson.S, Holmén.M, Rickne.A, 2002, « Innovation systems: analytical and methodological issues », *Research policy*, 31, 233-245.

Références bibliographiques

- Cagnin.C, Havas. A, Saritas.O, 2013, “Future-oriented technology analysis: Its potential to address disruptive transformations”, *Technological Forecasting & Social Change* 80 (2013) 379–385
- Cheng.L.Y.J, Hai.R, Lin.X, (2017), « Analysis of feed-in tariff policies for solar photovoltaic in China 2011-2016 », *Applied Energy*, volume 203, 01 October 2017, pp 496-505.
- Cohendet.P, Llerena.P. 1999 « La conception de la firme comme processeur de connaissances », *Revue d'économie industrielle*, vol. 88, 2e trimestre. *Économie de la connaissance*. pp. 211-235.
- Cooke.P, 1998, « Regional systems of innovation: an evolutionary perspective », *Environment and Planning A* 1998, volume 30, pages 1563 – 1584
- Criqui.P, Kitous.A, 2012, « 2010-2020 : une décennie décisive pour l'avenir du climat planétaire », *Economie appliquée LXV*, n° 02, « questions pour Rio+20 », (2012) 47-76.
- Daim.T.U, Oliver.T, 2008, “Implementing technology roadmap process in the energy services sector: A case study of a government agency”, *Technological Forecasting & Social Change* 75 (2008) 687–720
- Depret M.H, Hamdouch.A, 2009, « Quelles politiques de l'innovation et de l'environnement pour quelle dynamique d'innovation environnementale ? », *De Boeck Supérieur, Innovation* n° 29, 1/2009, pages 127 à 147.
- Djeflat.A, 2016, *Linking Knowledge Economy and Environmental Performances: evidence for Arab countries*, revue de l'Université d'Oran 2, vol.1 N°1, pp. 27-48
- Doloreux.D, Bitard.P, 2005, « Les systèmes régionaux d'innovation : discussion critique », *Géographie, économie, société*, Lavoisier, 01/2005. Vol.7, Pages 21 à 36.
- Faucheux S., Nicolai. I, 1998, « Les firmes face au développement soutenable : changement technologique et gouvernance au sein de la dynamique industrielle, dans la *Revue d'économie industrielle* », n°83.
- Gabsi.S, 2011, « Externalités de la R&D, institutions et croissance : Validation empirique pour le cas des pays en voie de développement », *De Boeck Supérieur « Innovations »* 2011/2 n°35, pages 207 à 249
- Gallagher.K.S, Holdren.J.P, 2008, « Energy Technology Innovation », *Annual Review of Environment and Resources*, January 2008

- Geum.Y, Park.Y, 2012, "The state-of-the-art of public-sector technology roadmaps: A taxonomical approach to energy technology roadmaps", *Science and Public Policy* (2012) pp. 1–13
- Grossman.M, Helpman.E, 1990, « Trade, innovation, and growth », *The American Economic Review*, vol.80, N° 2, papers and proceedings of the Hundred and second Annual Meeting of the American Economic Association (may, 1990), pp 86-91.
- Grubler.A, Nakicenovic.N and Victor.D.G, 1999, « Dynamics of energy technologies and global change », *Energy policy*, vol.27, issue 5, 247-280.
- Haddad.C.R,Maldonado.M.U, 2016, « A functions approach to improve sectoral technology roadmaps », *Technological forecasting & social change*. 2016
- Han.X, C.Xu, X.Ju, Du.X, Yang.Y, 2015, « Energy analysis of a hybrid solar concentrating photovoltaic/ concentrating solar power (CPV/CSP) system », *Engineering Sciences*, (2015) 60(4):460–469.
- Havas.A, 2016. Recent economic theorising on innovation: lessons for analysing social innovation, Institute of Economics CERS, HAS.
- Hekkert.M.P, Suurs.R.A.A, Negro S.O, Kuhlmann.S, Smits.R.E.H.M, 2007.Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change, *Technological Forecasting & Social Change* 74 (2007) 413–432.
- Hekkert.M, Negro.S, Heimeriks.G, Harmsen.R, 2011, « Technological innovation system analysis: A manual for analysts », Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation, Universiteit Utrecht, November 2011.
- Hoppmann.P, Huentelera.J,Girod.B, 2014, « Compulsive policy-making—The evolution of the German feed-in-tariff system for solar photovoltaic power », *Research Policy* 43 (2014) 1422–1441
- Jacobsson.S, Bergek.A, 2004, Transforming the Energy Sector: The Evolution of Technological Systems in Renewable Energy Technology, Proceedings of the 2003 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change,Environmental Policy Research Centre: Berlin. pp. 208 - 236.
- Jaffe A.B, January 1986, « Technological opportunity and spillovers of R&D: Evidence from firm's patents, profits and market value », national bureau of economic research.
- Jaffe.A.B, Newell.R.G, Stavins.R.N, 1999, « Energy-Efficient technologies and climate change policies : Issues and evidence», *Climate Issue Brief No. 19*, December 1999.

Références bibliographiques

- Jaffe A.B., Newell.R.G., Stavins.R.N, 2002, « Environment Policy and Technological Change », *Environmental and Resource Economics*, Vol. 22, n°1-2, pp. 41-69.
- Jouvet.PA, Schumacher.I, (2012), “Learning by doing and the cost of a backstop for energy transition and sustainability”, *Ecological Economics*, 73 (2012) PP 122-132.
- Kabla. I, 1994. Un indicateur de l'innovation : le brevet. In: *Economie et statistique*, n°275-276. France-Allemagne : des indices de prix plus comparables. pp. 95-109.
- Khelfaoui.H, 2001, « La recherche scientifique en Algérie : initiatives sociales et pesanteurs institutionnelles In : OÙ va l'Algérie ? Aix-en-Provence : institut de recherches et d'études sur les mondes arabes et musulmans, 2001.
- Khelfaoui.H, Ferfera.Y, Ouchalal.H, 2007, “Accès aux technologies et pratiques de la R & D dans les entreprises publiques algériennes », *Cahiers du CREAD n°8182,2007*, pages 99-128.
- Malerba.F, 2002, « Sectoral systems of innovation and production », *Research policy*, 31 (2002) 247-264.
- Miremedi.I, Saboohi.Y, Jacobsson.S, 2018, « Assessing the performance of energy innovation systems: Towards an established set of indicators », *Energy Research & Social Science* 40, p 159–176
- Moreira.J.R, Sathaye.J, « Technologies, technology transfer and barriers », Chapter II of « Climate change : Technology Development and technology transfer », préparé par United Nations Department of Economics and Social Affairs, 2009, pp 11-37.
- Newell.R.G, 2010, «The role of markets and policies in delivering innovation for climate change mitigation », *Oxford Review of Economic Policy*, Volume 26, Number 2, pp. 253–269
- Niosi.J, Bellon,B,Saviotti.P, Crow.M, 1992, « Les systèmes nationaux d'innovation : à la recherche d'un concept utilisable. In : *Revue française d'économie*, volume 7, n°1, 1992. pp. 215-250
- November.A, 1997, « Coopération et transfert de technologie dans le domaine de l'environnement », *Annuaire suisse de politique de développement N°16 | 1997 Environnement et développement, 5 ans après Rio, 1 mars 1997 Pp : 247-254.*
- Overland.I, Morgan.B,Talgat.L, Roman.V, Kirsten.w, 2019, “The GeGaLo index: Geopolitical gains and losses after energy transition”,*Energy Strategy Reviews* 26 (2019) 100406

Références bibliographiques

- Ouchalal.O.H, Ferfera. M, 2020, « Le système national de recherche scientifique en Algérie est – il au service du développement et d’innovation technologique ? », *Revue des Sciences Economiques, de Gestion et Sciences Commerciales*, Volume :31. / N° : 02 (2020), p 225-346.
- Pénin.J, 2011, « Sur les conséquences du brevet d’invention dans la science : résultats d’une enquête auprès des inventeurs académiques français », *L'Actualité économique*, vol. 87, n° 2, 2011, p. 137-173.
- Percebois.J, 1979, « Le concept d’intensité énergétique est-il significatif », *Revue d’économie politique*, n°04, Octobre 1979.
- Percebois.J, « Les mécanismes de soutien aux énergies renouvelables, leurs forces et leurs faiblesses respectives », *Cahier de recherche n° 14-03-107 du CREDEN*, 05Mars 2014.
- Pillu.H, Koleda.G, « Déterminants de l’innovation dans les technologies énergétiques efficaces et renouvelables », *La Documentation Française*, n° 197-198, 01/2011.
- Romer.P.M, 1990, « Endogenous technological change », *Journal of Political Economy*, vol 98, N°5, part2.
- Sagar, A.D, Holdren.J.P, 2002, « Assessing the global energy innovation system : some key issues », *Energy Policy* 30 (2002) 465–469.
- Sampaio.P.G.V, Gonzalez.M.O.A, De Vasconcelo.R.M, Dos Santos.M.A.T, De Toledo.J.C, Pereira.J.P.P, 2018, « Photovoltaic technologies : Mapping from patent analysis », *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 93 (2018) 215–224
- Soboleva.T, Harashchenko.N, 2020, « Intellectual property indicators and renewable energy trends », *Energy policy Journal*, (December 2020), 23(4),17-32.
- Vivien.F.D, 2009, « les modèles économiques de soutenabilité et le changement climatique », *Regards croisés sur l’économie*, n° 06, édition la découverte, 02/2009.
- Watanabe.C, Wakabayashi.K, Miyazawa.T, 2000, « Industrial dynamism and the creation of a ‘virtuous cycle’ between R&D, market growth and price reduction: The case of photovoltaic power generation (PV) development in Japan », *Tecchnovation*, 20 (6): 299-312, June 2000.
- Woodhouse, Michael. Brittany Smith, Ashwin Ramdas, and Robert Margolis. 2019. *Crystalline Silicon Photovoltaic Module Manufacturing Costs and Sustainable Pricing:*

1H 2018 Benchmark and Cost Reduction Roadmap. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.

- Zhang.S, He.Y, 2013, « Analysis on the development and policy of solar PV power in China », *Renewable and sustainable energy reviews*, 21 : 393-401, May 2013.
- Zhao.L, Wang.W, Zhu.L, Liu.Y, 2018, « Economic analysis of solar energy development in north Africa », *Global Energy Interconnection*, Vol 1, Issue 1, January 2018, pages 53-62.

➤ **Rapports :**

- AIE, 2018 (b) « Annual reports 2017 », Photovoltaic power systems technology collaboration programme.
- AIE, 2019: « World energy investments ».
- BNEF, 2019, «Clean energy investments trends 2018 ».
- Bloomberg NEF, 2021, « Scaling up solar in ISA Member Countries, 19 October 2021.
- Boyer. R, Didier.M.1998, « Innovation et croissance : relancer une dynamique de croissance durable par l'innovation », *Rapport du Conseil d'Analyse économique, Innovation et croissance, La Documentation Française, Paris*, pp. 11-132.
- Brundtland, 1987, « Notre avenir à tous », *Commission mondiale sur l'environnement et le développement (C.M.E.D.)*, Montréal, Fleuve.
- Carvalho.M, Dechezleprêtre.A, Glachant.M, 2017, « Understanding the dynamics of global value chains for solar photovoltaic technologies », *WIPO 'World Intellectual Property Organization' Economic Research Working Paper*, n° 40, November, 2017.
- Commissariat aux Énergies Renouvelables et à l'Efficacité Énergétique CEREFÉ, 2020, « Transition Énergétique en Algérie : Leçons, État des Lieux et Perspectives pour un Développement Accéléré des Énergies Renouvelables », Edition 2020.
- Confédération suisse, 2015, « Comparaison de technologie : chaleur solaire et photovoltaïque », *rapport du conseil fédéral*, 25 Février 2015.
- Conseil National d'Évaluation de la recherche, DGRSDT, 2017, « État des lieux de la recherche scientifique et le programme de la DGRSDT pour l'année 2018 », Alger 23 décembre 2017.

Références bibliographiques

- Donnadieu.G, Durand.D, Neel.D, Nunez.E, Saint-Paul.L, 2003« L'Approche systémique : de quoi s'agit-il ? Synthèse des travaux du Groupe AFSCET " Diffusion de la pensée systémique.
- Griffith-Jones.S, Ocampo.J.A, Spratt.S, 2012, « financing renewable energy in developing countries : mechanisms and responsibilities », European report on developement.
- IEA, 2018, « Trends 2018 in photovoltaic application: survey report of selected IEA countries between 1992 and 2017 », Report IEA PVPS T1-34:2018.
- IRENA, 2013, Intellectual Property Rights: The Role of Patents in Renewable Energy Technology Innovation, June 2013, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA, 2014, « The socio-economic benefits of solar and wind energy », International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA energy innovation, 2017 (a), « Energy innovation needed beyond electric power ».
- IRENA, 2017 (b), Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA, 2019, (a), Renewable Energy Statistics 2019, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA, 2019, (b) Renewable Power Generation Costs in 2018, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA and CPI (2020), Global Landscape of Renewable Energy Finance, 2020, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA, 2022, Renewable Power Generation Costs in 2021, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA, 2022, Renewable capacity statistics 2021, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- JOHNSON Cornell University, INSEAD, WIPO, “The global Innovation Index: Winning with global innovation”, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020 reports.
- Ministère algérien des énergies et des mines, 2011, « Programme des énergies renouvelables et de l’efficacité énergétique », Mars 2011.

Références bibliographiques

- OCDE, 1994. La mesure des activités scientifiques et technologiques : Les données sur les brevets d'invention et leurs utilisations comme indicateurs de la science et de la technologie -Manuel brevet-, Paris.
- OCDE, 2002, 2^{ème} édition, « Principes directeurs pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation ». Manuel OSLO.
- OCDE, 2005 3^{ème} édition, « Principes directeurs pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation ». Manuel OSLO.
- OCDE, 2010. Mesurer l'innovation : un nouveau regard, 2^{ème} édition, Paris.
- OCDE, 2013, « Placer la croissance verte au cœur du développement : résumé à l'intention des décideurs », Mars 2013.
- OCDE, 2015, « Mesurer les activités scientifiques, technologiques et de l'innovation : Lignes directrices pour le recueil et la communication des données sur la recherche et le développement expérimental » -Manuel de Frascati- 7^{ème} édition.
- Patris. C, Warrant, F, 2001, « L'innovation technologique au service du développement durable », working paper n°4, « Stimulation de l'innovation technologique en faveur du développement durable », Programme « levier du développement durable », Contrat de recherche n° HL/DD/020, Fondation travail université, Belgique.
- Popp.D, 2009, « Policies for the development and transfer of eco-innovations: lessons from the littérature », OECD Environment working papers n° .10.
- Rapport de la Commission économique pour l'Afrique des nations unies n° CEA-AN/PUB/12/01, « Le secteur des énergies renouvelables en Afrique du nord, situation actuelle et perspectives » Septembre 2012.
- REN21, 2022, « Renewable 2022: Global statue report ».
- Sagar.A, Majumdar.A, 2014, « Facilitating a sustainability transition in developing countries: proposal for a global Advanced Research Project Agency for Sustainable Development », Rio+20 Working Paper No.3. Document prepared for the UN Division for Sustainable Development, July 2014.
- Solar Power Europe, 2019, « Senegal: solar investment opportunities, emerging markets task force report », May, 2019.
- Valenduc.G, Warrant, F, 2001, « L'innovation technologique au service du développement durable », working paper n°1, « Aspects conceptuels », Programme

Références bibliographiques

- « levier du développement durable », Contrat de recherche n° HL/DD/020, Fondation travail université, Belgique.
- World Intellectual Property Organization (WIPO), 2017, « Intangible capital in Global Value Chains », World Intellectual Property Report 2017, Switzerland, Geneva.
 - WIPO, 2018, « World Intennectual Property Indicators », Geneva, World Intellectual Property Organization
 - Yale Center For Environnemental Law & Policy, « Environnemental performance index », 2012, 2014, 2016, 2018,2020 reports.
- *Articles de presse :*
- <https://afrique.latribune.fr/entreprises/la-tribune-afrique-de-l-energie-by-enedis/2019-02-25/le-solaire-levier-economique-pour-le-maroc>
808487.html#:~:text=%C2%ABAVEC%203%20000%20heures%20d,d'un%20potentiel%20solaire%20consid%C3%A9rable. Consulté le 18/09/2021.
 - <https://afrique.latribune.fr/entreprises/la-tribune-afrique-de-l-energie-by-enedis/2019-02-25/le-solaire-levier-economique-pour-le-maroc> consulté le 18/09/2021.
 - <https://www.algerie-eco.com/2019/06/16/toufik-hasni-sur-le-retard-dans-l-exploitation-des-energies-renouvelables-il-y-un-lobby-qui-cherche-a-accorder-la-primeur-aux-energies-fossiles/>
 - APS, 2018, <http://www.aps.dz/sante-science-technologie/82547-recherche-scientifique-ouverture-de-81-nouveaux-laboratoires-de-recherche> consulté le 09 12 2019
 - Atcha.E, 2018, « Algérie : Sonelgaz lance un projet de laboratoire d'homologation des équipements de centrales solaires », <https://afrique.latribune.fr/entreprises/industrie/energie-environnement/2018-11-30/algerie-sonelgaz-lance-un-projet-de-laboratoire-d-homologation-des-equipements-de-centrales-solaires-799423.html> consulté le 16/12/2019
 - <https://www.dzvid.com/2019/11/02/des-lobbys-ont-oeuvre-contre-le-projet-desertec/>
 - Kadi.L, 2016, « Algérie – Le financement est le principal déficit de la transition énergétique », Maghreb Emergent ,03 Mars

2016.<https://maghrebemergent.info/algerie-le-financement-est-le-principal-defit-de-la-transition-energetique-lamine-kadi/>consulté le 07/01/2020.

- Litamine.K, 2018, « Sonatrach et ENI, signent un contrat pour la réalisation d'un laboratoire solaire intelligent », 24 novembre 2018, <https://www.algerie-eco.com/2018/11/24/sonatrach-et-eni-signent-un-contrat-pour-la-realisation-dun-laboratoire-solaire-intelligent/>consulté le 16/12/2019
- Ouahib. S, 2019, « Le solaire présente un potentiel incroyable capable de satisfaire tous les besoins de l'Afrique, du Maghreb et de l'Europe », Journal El Watan du 24 Octobre 2019. <https://www.elwatan.com/pages-hebdo/magazine/le-solaire-presente-un-potentiel-incroyable-capable-de-satisfaire-tous-les-besoins-de-lafrique-du-maghreb-et-de-leurope-24-10-2019> consulté le 09/01/2020.
- Rabah.S, 2017, « Appel d'offres énergies renouvelables : lobbying et ballets diplomatiques », liberté, 23/03/2017. <http://www.liberte.dz/environnement/lobbyings-et-ballets-diplomatiques-266765/print/1> consulté le 17/12/2019
- Salami.Youcef, 2010, « les laboratoires de sonatrach redéployés, analyse géologique et chimique, études pluridisciplinaires », publié dans la Tribune 19 07 2010, <https://www.djazairss.com/fr/latribune/37362> consulté le 16/12/2019

➤ *Sites internet :*

- AIE, [R&D and technology innovation – World Energy Investment 2020 – Analysis - IEA](#), consulté le 14/09/2022
- Base de données en ligne de la banque mondiale : [Consommation d'énergies renouvelables \(% de la consommation totale d'énergie\) | Data \(banquemondiale.org\)](#), consulté le 13/09/2022
- Bilans énergétiques nationaux des années 2008-2019, ministère de l'énergie et des mines. <https://www.energy.gov.dz/?article=bilan-energetique-national-du-secteur> consulté le 16/09/2022.
- BNEF blog; Goldie-Scot, 2019, « Head of energy storage », <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/> consulté le 05/12/2020
- Bloomberg NEF, (2020), « Global trends in renewable energy investments 2020. https://www.fs-unep-centre.org/wp-content/uploads/2020/06/GTR_2020.pdf consulté le 15/02/2021

Références bibliographiques

- CDER, Rubrique « contributions scientifiques », <https://www.cder.dz/spip.php?rubrique323> consulté le 05/12/2020.
- CDER, Rubrique « Réalisations », <https://www.cder.dz/spip.php?rubrique35> consulté le 05/12/2020
- CDER, Rubrique « Brevets » <https://www.cder.dz/spip.php?rubrique483> consulté le 05/12/2020.
- CDER, « Programme national de recherche en énergies renouvelables », <https://www.cder.dz/spip.php?article883>, consulté le 04/12/2020.
- CDER, « Programme national de recherche en énergies renouvelables », <https://www.cder.dz/spip.php?article883>, consulté le 04/12/2020
- CES : <http://www.ces-algeria.com/>, consulté le 16/12/2020.
- CREDEG, www.credeg.com/ consulté le 16/12/2019
- [Crystalline Silicon PV Market Size, Industry Analysis & Forecast by 2022 \(alliedmarketresearch.com\)](http://alliedmarketresearch.com) Consulté le 14/09/2022
- ENIE, <http://www.enie.dz/?portfolio=laboratoire-des-systemes-des-energies-renouvelables>, consulté le 16/12/2019
- IRENA, [Solar energy \(irena.org\)](http://irena.org), consulté le 13/09/2022
- Liste des laboratoires de recherche affectés à l'agence thématique de recherche en sciences et technologie téléchargeable sur le site : <https://atrst.dz/laboratoires-de-recherche/> , consulté le 22/09/2021

Références bibliographiques

- [Marché des cellules solaires en silicium cristallin \(C-Si\) | Facteurs de croissance du secteur, types de plates-formes et aperçu géographique – Jeunes Express](#), consulté le 17/09/2022.
- <http://www.morseff.com/fr/> consulté le 07/01/2020
- Nurton. J, 2020, [Tendances en matière de brevets dans le secteur des énergies renouvelables \(wipo.int\)](#), consulté le 16/09/2022
- OCDE, https://stats.oecd.org/Index.aspx?lang=fr&DataSetCode=PERS_FUNC#
Consulté le 05/09/2022
- Statista, [Worldwide - lithium ion battery pack costs | Statista](#). Consulté le 14/09/2022
- <http://uis.unesco.org/apps/visualisations/research-and-development-spending/#!lang=fr> consulté le 07/01/2020

Acronymes

AFD	Agence Française de Développement	p.227
AIE	Agence Internationale d'Énergie	p.172
ANVREDET	Agence Nationale pour la Valorisation de la Recherche et le Développement Technologique	p.261
APD	Aide Publique Pour le Développement	p.106
APRUE	Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie	p.207
APS	Agence Presse Service	p.198
ATP	Advanced Technology Program	p.43
ATRST	Agence Thématique de Recherche en Sciences et Technologies	p.194
BEI	Banque Européenne d'Investissement	p.227
BERD	Banque Européenne pour la Reconstruction et le Développement	p.227
BNEF	Bloomberg New Energy Finance	p.132
B.O.S	Balance Of System	p.137
BPT	Balance des Paiements Technologiques	p.176
BRICMS	Brazil-Russia-India-China-Mexico-South Africa.	p.150
CATI	Centres d'Appui à la Technologie et à l'Innovation	p.206
CDER	Centre de Développement des Énergies Renouvelables	p.195
CDTA	Centre de Développement des Technologies Avancées	p.195
CEEG	Compagnie d'Engineering de l'Électricité et Gaz	p.207
CERIST	Centre de Recherche sur l'Information Scientifique et Technique	p.195
CEREFÉ	Commissariat des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique	p.193
CES	Cluster Énergies solaires	p.191
CFD	Contract For Diffrence	p.45
CITT	Centres d'Innovation et de Transfert de Technologies	p.206
C.M.E.D	Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement	p.01
CREDEG	Centre de Recherche et Développement de l'Électricité et du Gaz	p.199
CREG	Commission de Régulation de l'Électricité et du Gaz	p.212
CRTI	Centre de Recherche en Technologies Industrielles	p.195

CRTSE	Centre de Recherche en Technologies des Semi-conducteurs pour l'Énergétique	p.195
CSP	Concentration Solar Power	p.127
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat	p.104
DGRSDT	Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique	p.196
EnR	Energie Renouvelables	p.03
EPST	Établissement Public à caractère Scientifique et Technique	p.195
ERA	Énergies Renouvelables Algérie	P.191
FIP	Feed-In Tariffs avec Premium	p.46
FIT	Feed-In Tariffs	p.166
FNER	Fonds National pour les Énergies renouvelables	p.215
GATT	General Agreement on Tariffs and Trade	p.52
GES	Gaz à Effets de Serre	p.103
GNL	Gaz Naturel Liquéfié	p.123
IDE	Investissements Directs Étrangers	p.106
INAPI	Institut National Algérien de la Propriété Industrielle	p.206
IPP	Independant Power Producers	p.160
IRENA	International Renewable Energy Agency	p.172
LCCM	Laboratoire des Cristaux et des Couches Minces	p.195
L.C.O.E	Le coût par la moyenne pondérée globale	p.130
LMD	Licence-Master-Doctorat	p.183
LMS	Centre de développement des matériaux	p.195
LPDSE	Lettre de Politique de Développement du Secteur de l'Energie.	p.160
LTS	Large Technological Systems	p.86
MEM	Ministère de l'Energie et des Mines	p.03
MESRS	Ministère de l'Enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique	p.194
MORSEFF	MORoco Sustainable Energy Financing Facility	p.227
NCRA	National Cooperative Research Act	p.51
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économiques	p.10
OMPI	Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle	p.206
ONU	Organisation des Nations unies	p.28

PANER	Plan Action National pour les Énergies Renouvelables	p.160
PCT	Patent Cooperation Treaty	p.187
PIB	Produit Intérieur Brut	p.167
PNRER	Programme National de Recherche en Énergies Renouvelables	p.211
PNEREE	Programme National en Énergies Renouvelables et Efficacité Énergétique	p.204
PREAC	Programme of business Environnement And Competitivvness reforms	p.160
PSE	Plan Sénégal Emergent	p.160
PV	Photovoltaïque	p.127
RSDT	Recherche Scientifique et Développement Technologique	p.214
R&D	Recherche et Développement	p.09
SENELEC	Société Nationale Sénégalaise d'Électricité	p.160
S.I.T.E	Système d'Innovation Technologique Énergétique	p.03
SNI	Système National d'Innovation	p.27
S-T	Sciences et Techniques	p.178
TPP	Innovation Technologique de Produit et de Procédé	p.13
TSIS	Technolgy Specific Innovation Systems	p.84
UDCMA	Unité de Développement des couches minces et applications	p.195
UDES	Unité de Développement des Equipements Solaires	p.195
UDTS	Unité de développement de la Technologie de Silicium	p.195
URAER	Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables	p.195
URERMS	Unité de Recherche en Énergies Renouvelables en Milieu Saharien	p.195
URMER	Unité de Recherche Matériaux et Énergies Renouvelables	p.195
WIPO	World Intellectual Property Organization	p.133

Unités physiques

GW	Giga Watt	p.126
KWH/an/m²	Kilowatt Heure par an et par m ²	p.02
KWH	Kilowatt Heure	p.47
MWH	Mégawatt Heure	p.47
MW	Mégawatt	p.03

Unités monétaires

DA	Dinars Algérien	p.228
USD	Dollars Américain	P.130
EURO	Monnaie Unique de l'Union Européenne	p.50

Liste des tableaux

N° de tableau	Intitulé	Page
Tab. 01	Comparaison entre les technologies additives et les technologies intégrées	p.33
Tab. 02	Synthèse des stimulateurs à l'innovation environnementale	p.58
Tab. 03	Les barrières au transfert des technologies environnementales vers les pays en voie de développement	p.108
Tab. 04	Coût de production en \$/KWH par source d'énergie renouvelable, (2010 et 2021)	p.130
Tab. 05	Comparaison technico- économique entre les technologies solaires thermiques à concentration CSP et solaire photovoltaïques PV	p.139
Tab. 06	Familles des technologies solaires photovoltaïques, (2019)	p.142
Tab. 07	Chaîne de valeur internationale des technologies solaires PV (à base de silicium monocristalline), (2004-2018)	p.144
Tab. 08	Récapitulatif des instruments financiers et programmes adoptés par la Chine durant la période allant de 2002 à 2014	p.154
Tab. 09	Récapitulatif des différents instruments financiers et programmes adoptés par l'Allemagne durant la période allant de 1991 à 2011	p.157
Tab. 10	Récapitulatif des différents instruments et programmes adoptés par le Sénégal durant la période allant de 1998 à 2018	p.160
Tab. 11	Répartition des indicateurs de ressources (input)	p.180
Tab. 12	Répartition des indicateurs selon l'approche par les fonctions	p.189
Tab. 13	Composition de l'industrie algérienne de l'énergie solaire photovoltaïque, (1995-2018)	p.192
Tab. 14	Capacité de production de panneaux solaires photovoltaïques en Algérie, (2020)	p.193
Tab. 15	Réseau de recherche sur les énergies renouvelables en Algérie, (1982-2004)	p.195

Tab. 16	Effectif des laboratoires et entités de recherche affiliés aux universités en Algérie (période 2000 à 2016)	p.196
Tab. 17	Composition du Cluster algérien des Énergies solaires (arrêté à Avril 2018)	p.205
Tab. 18	Plan de réalisation du programme PNEREE (version 2011, en MW)	p.209
Tab. 19	Plan d'exécution du PNEREE révisé en 2015 (en MW)	p.210
Tab. 20	Répartition des thèmes de recherche par axes dans le domaine de l'énergie solaire, (2011)	p.211
Tab. 21	Résumé des teneurs de la loi algérienne n° 15-21 du 30 décembre 2015	p.214
Tab. 22	Objectifs et réalisations en production d'électricité renouvelable (connectée au réseau) pour l'Algérie (2011-2020)	p.216
Tab. 23	Objectifs et réalisations en production d'électricité renouvelable (non connectée au réseau) pour l'Algérie (2011-2020)	p.218
Tab. 24	Bilan des diplômes liés aux énergies renouvelables et l'efficacité énergétique délivrés par les centres de formation professionnelle en Algérie (2017-2018)	p.223
Tab. 25	Évolution des flux financiers publics pour les énergies renouvelables en Algérie 2009-2017 (en millions de dollars)	p.226
Tab. 26	Énergies renouvelables. Comparatif de l'évolution des flux financiers publics en Algérie-Maroc-Tunisie (2009 à 2017 en millions de Dollars)	p.227
Tab. 27	Répartition prévisionnelle des allocations financières pour les programmes nationaux de recherche relatifs à l'année 2018	p.228
Tab. 28	Les gagnants et les retardataires géopolitiques avec (R : potentiel énergétique renouvelable+P : nombre de mesures incitatives pour les énergies renouvelables+H : force du lobbying des hydrocarbures) /3	p.233
Tab. 29	Les gagnants et les retardataires géopolitiques avec (R : potentiel énergétique renouvelable+P : nombre de mesures incitatives pour les énergies renouvelables+ 2 H : force du lobbying des hydrocarbures) /3	p.234
Tab. 30	Taxonomie des feuilles de route technologiques du secteur public	p.239

Liste des figures

N° de la figure	Intitulé	Page
Fig. 01	Modèle linéaire de liaison entre la recherche et la production	p.17
Fig. 02	Modèle interactif du processus d'innovation : modèle de liaison en chaîne	p.18
Fig. 03	Système des « feed-in tariffs » pour les énergies renouvelables	p.44
Fig. 04	Système des contrats pour différences pour les énergies renouvelables	p.46
Fig. 05	Représentation schématique de la structure d'un système d'innovation	p.68
Fig. 06	L'approche multi-niveaux du changement technologique dans un ensemble de systèmes d'innovation	p.84
Fig. 07	Trois moteurs de changement technologique dans un système d'innovation	p.89

Fig. 08	Phases de développement d'une technologie	p.92
Fig. 09	Schémas fonctionnels par phase de développement	p.93
Fig. 10	Intensité de recherche en PIB dans les pays de l'OCDE, (2003-2020)	p.97
Fig. 11	Intensité de recherche et développement (en %) par secteur d'activité pour les pays de l'OCDE, (2014)	p.98
Fig. 12	Part du personnel de recherche dans la population active dans les pays de l'OCDE, (2003-2019)	p.99
Fig. 13	Rapport entre innovation et science dans les technologies « vertes »	p.100
Fig. 14	Relation innovation-performance environnementale pour 10 pays de l'OCDE, (2012-2014-2016-2018-2020)	p.101
Fig. 15	Évolution de l'innovation dans les technologies d'atténuation du changement climatique, (1978-2006)	p.102
Fig. 16	Relation innovation-performance environnementale, (2012-2014-2016-2018-2020)	p.103
Fig. 17	Transfert des technologies éoliennes (en haut) et solaires photovoltaïques (en bas) de 1990 à 2007 pour les pays de l'OCDE	p.105
Fig. 18	Facilitations internationales technologiques- Contributions des Nations Unis (encadrées) et autres programmes (sans cadres), (2010)	p.107
Fig. 19	Optimum économique, optimum technologique, et optimum social	p.111
Fig. 20	Courbe d'expérience pour les prix des modules photovoltaïques, (1976-2020)	p.115
Fig. 21	Schéma simplifié du système énergétique	p.122
Fig. 22	Part des énergies renouvelables dans la consommation finale mondiale, (2011 et 2021)	p.124
Fig. 23	Capacité d'énergies renouvelables installées par source, (2021) (en MW)	p.126
Fig. 24	Évolution des capacités installées des centrales solaires dans le monde, (2011-2020)	p.127
Fig. 25	Évolution des courbes d'apprentissage par source d'énergie renouvelable, (2010-2020)	p.129
Fig. 26	Évolution du prix des batteries lithium-ion, (2011-2030) (en \$/KWH)	p.132
Fig. 27	Estimation des prix de batteries Lithium-ion, (2018-2030) (en \$/KWH)	p.132
Fig. 28	Évolution du marché mondial du solaire PV, (2011-2021)	p.134
Fig. 29	Parts du marché mondial du solaire thermique à concentration (CSP), (2011-2021)	p.137
Fig. 30	Les segments de la chaîne de valeur des énergies renouvelables	p.142
Fig. 31	Évolution des investissements pour les énergies renouvelables entre 2005 et 2018	p.147
Fig. 32	Capacités d'investissement dans le renouvelable : pays développés, Chine et Inde, Autres économies en voie de développement 2019 et taux d'évolution à partir de 2018 en Milliards de \$	p.148
Fig. 33	Investissements en énergie selon le niveau de revenu des pays, (2015-2018) (en Billion de dollars)	p.149

Fig. 34	Participation des acteurs publics et privés dans le total des investissements en R&D des énergies renouvelables, (2004-2015)	p.151
Fig. 35	Participation des acteurs publics et privés dans le total des investissements en énergies renouvelables, (2013-2018)	p.152
Fig. 36	Évolution du nombre de brevets par source d'énergie, (2002-2019)	p.162
Fig. 37	Évolution du nombre de brevets pour les technologies solaires PV pour les dix premiers pays durant la période allant de 2010 à 2019	p.163
Fig. 38	Évolution de l'intensité énergétique mondiale du PIB, (1800-2100)	p.167
Fig. 39	Répartition des indicateurs selon les phases du processus d'innovation	p.178
Fig. 40	Répartition des laboratoires de recherche en Algérie (période 2000 à 2016)	p.197
Fig. 41	Évolution des laboratoires de recherche en sciences et technologie entre 2000 et 2017	p.198
Fig. 42	Évolution du nombre de contributions scientifiques en EnR indexées, (1988-2020)	p.201
Fig. 43	Réalisations des projets de recherche pour l'Algérie, (2001-2014)	p.202
Fig. 44	Évolution du nombre de brevet en EnR pour l'Algérie, (1987-2017)	p.203
Fig. 45	Évolution estimée du parc national de production d'électricité, (2011-2030)	p.209
Fig. 46	Évolution de la production de l'électricité renouvelable en Algérie (2008 à 2019) en Ktep	p.219
Fig. 47	Répartition de l'effectif de personnel de recherche selon nature des sciences en Algérie pour l'année 2016	p.221
Fig. 48	Classement des 10 premiers laboratoires de recherche algériens selon le total des chercheurs, (2016)	p.222
Fig. 49	L'emploi scientifique. Comparaison France-Algérie (en nombre de personnels scientifiques recrutés, année 2016)	p.224
Fig. 50	Évolution des flux financiers publics pour les énergies renouvelables en Algérie, (2009-2017) (en millions de dollars)	p.226
Fig. 51	Structure de la feuille de route basée sur l'approche par les fonctions	p.241
Fig. 52	Proposition de stratégie selon l'approche par les fonctions pour le S.I.T.E solaire algérien (Fonction F1 : les activités entrepreneuriales)	p.243
Fig. 53	Proposition de stratégie selon l'approche par les fonctions pour le S.I.T.E solaire algérien (Fonction F2 : le développement de la connaissance)	p.244
Fig. 54	Proposition de stratégie selon l'approche par les fonctions pour le S.I.T.E solaire algérien (Fonction F3 : la diffusion de la connaissance)	p.245
Fig. 55	Proposition de stratégie selon l'approche par les fonctions pour le S.I.T.E solaire algérien (Fonction F4 : l'orientation publique de la recherche)	p.246
Fig. 56	Proposition de stratégie selon l'approche par les fonctions pour le S.I.T.E solaire algérien (Fonction F5 : la formation du marché)	p.247
Fig. 57	Proposition de stratégie selon l'approche par les fonctions pour le S.I.T.E solaire algérien (Fonction F6 : la mobilisation des ressources)	p.248
Fig. 58	Proposition de stratégie selon l'approche par les fonctions pour le S.I.T.E solaire algérien (Fonction F7 : la création de légitimité)	p.249

ANNEXES

Annexe n° 01 : Nombre de laboratoires ayant un bilan insuffisant par grands domaines

	Total Labo concerné par évaluation	Non conforme	Bilan non remis	Bilan insuffisant	Pourcentage labo insuffisant
Sciences sociales et humaines	452	11	33	201	54%
Chimie	104	0	0	05	5%
Sciences de la vie et de la nature	211	07	07	10	16%
Physique	94	00	01	02	3%
Maths	67	02	0	04	10%
Sciences de la terre et de l'univers	31	01	0	07	26%
Sciences de l'Ingénieur	326	03	03	26	10%

Source : Rapport DGRSDT, p 49.

Annexe n°02 : Réalisations des projets d'énergie solaire par le Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire (MICLAT)

Applications	Capacités cumulées en 2019 (KWc)
1- Eclairage public (404 551 nouveaux points lumineux dont 15150 à l'énergie solaire photovoltaïque).	1515
2- Il a également été procédé à la substitution de 265 758 lampes énergivores dans le réseau d'éclairage public existant par des luminaires LED.	
Electrification de 348 écoles primaires à l'aide d'installations solaires photovoltaïques, dont 96 situées dans des zones éloignées du réseau public d'électricité.	3610
Installation de 3550 Kits solaires individuels au profit des foyers dépourvus de tout moyen d'électrification.	4021
Installation de 3500 points lumineux solaires aux abords des plages, forêts récréatives. Installation de bornes solaires destinées à la recharge des batteries de faibles capacités.	4197
Total	9146

Source : Rapport CEREFÉ, p 56.

Annexe n°03 : Réalisations des projets d'énergie renouvelable par le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MARD)

Applications	Institution impliquée	Capacités cumulées en 2019 (KWc)	Capacités prévues en 2020 (KWc)
Kits solaires distribués dans les zones isolés	CDARS (29 unités)	15	
	HCDS	1150	1400
Systèmes solaires pour le pompage d'eau	DGF (5503 unités)	2200	
	CDARS (26 unités)	40	
	HCDS	194	30
Systèmes solaires pour le pompage d'eau	DSA(281 unités)	430	724 unités
	CDARS(42 unités)	46	
Systèmes éoliens pour le pompage d'eau	CDARS	122	
Systèmes hybrides solaire PV/Diesel	HCDS	122	
	Total	4197	

Source : Rapport CEREF, p 56.

Annexe n°04 : Effectif des enseignants- chercheurs par grade

Grands Domaines	Nbre LABOS	Effectifs des enseignants-chercheurs par grade et des doctorants							Total Chercheurs	Taux de rang magistral
		Doc.	MAB	MAA	MCB	MCA	Pr.			
Arts et Sciences Humaines	220	2067	370	1996	682	1140	564	6819	50%	
Chimie	109	1474	151	831	543	377	464	3840	58%	
Sciences de l'Ingénieur	348	7933	770	4400	2046	1601	1687	18437	51%	
Sciences mathématiques et leurs interactions	71	575	191	842	347	332	243	2530	47%	
Physique	98	594	55	323	220	167	233	1592	62%	
Sciences de la nature et de la vie	236	2085	340	2361	644	735	859	7024	45%	
Sciences sociales	305	3575	674	3563	1243	1690	892	11637	47%	
Sciences de la terre et de l'univers	53	558	115	563	132	175	165	1708	49%	
Total Chercheurs	1440	18861	2666	14879	5857	6217	5107	53587	50%	

Source : Rapport DGRSDT, p 05.

Annexe n°05 : Ressources humaines : doctorants

Grand: Domaines	Doctorants dans les laboratoires	Nombre d'inscrit en doctorat	% doctorant dans un laboratoire/nombre d'inscrit
Arts et Sciences Humaines	2067	12796	16%
Chimie	1474	2242	65%
Sciences de l'Ingénieur	7933	11099	71%
Sciences mathématiques et leurs interactions	575	4961	11%
Physique	594	2392	25%
Sciences de la nature et de la vie	2085	5607	37%
Sciences sociales	3575	18004	20%
Sciences de la terre et de l'univers	558	1973	28%
Total doctorants	18861	59074	32%

Source : Rapport DGRSDT, p 10.

Annexe n°06 : Ressources humaines : les centres de recherche

EPST	DR	MR-A-	MR-B-	CR	AR	CE	total chercheurs
CDTA	13	16	53	8	123	18	231
CDER	17	21	65	14	240	22	379
CRTI	8	4	30	4	164	0	210
CRTSE	9	4	17	3	52	9	94
CERIST	5	5	24	4	78	27	143
CRAPC	2	7	21	1	82	0	113
CREAD	5	4	8	4	36	1	58
CRSTRA	0	3	19	0	64	9	95
CRSTDLA	0	4	13	1	27	0	45
CRASC	3	13	18	1	49	0	84
CRBT	1	1	7	0	67	0	76
CRSIC	1	0	1	0	28	0	30
INRAA	2	7	5	24	96	22	156
INRF	4	6	3	12	53	12	90
CGS	4	8	5	9	24	3	53
CNERIB	2	2	3	4	14	1	26
CRAAG	13	11	15	3	36	1	79
CNRPAH	6	5	13	1	49	1	75
CNRA	1	0	2	4	13	0	20
CNRDPA	0	0	3	0	43	2	48
INRE	0	0	1	0	0	0	1
CNERMN 54	0	0	0	0	7	5	12
CERTIC	0	0	1	0	0	0	1
S/TOTAL	96	121	327	97	1345	133	2119
COMENA							282
ASAL							220
Total							2621

Source : Rapport DGRSDT, p 08.

TABLE DES MATIERES

Remerciements

Résumé

Sommaire

Introduction générale	p.1
Chapitre 1 : innovation technologique et environnement dans la pensée économique	
Introduction	p.8
Section 1 : Innovation technologique et développement durable	p.9
1-Autour du concept « innovation technologique »	p.10
1-1-De l'innovation à l'innovation technologique de produit et de procédé	p.10
1-1-1-L'innovation de produit	p.11
1-1-2-L'innovation de procédé	p.12
1-1-3-L'innovation de commercialisation (de marché)	p.12
1-1-4-L'innovation organisationnelle	p.12
1-2-Principales caractéristiques de l'innovation TPP	p.13
1-2-1-La nouveauté	p.13
1-2-2-La mise en œuvre	p.14
1-2-3-Le rythme de l'innovation	p.14
1-3-Le processus de l'innovation technologique	p.14
1-3-1-La relation invention-innovation	p.14
1-3-2-La diffusion de l'innovation technologique	p.15
1-3-3-Modèles du processus d'innovation technologique	p.16
1-3-3-1-Le modèle « linéaire »	p.16
1-3-3-2-Le modèle « interactif »	p.17
1-3-3-3-Le modèle « en réseau »	p.18
1-3-4-Les activités d'innovation	p.19
1-3-5-Les sources de l'innovation technologique	p.20
1-3-5-1-La recherche et développement expérimentale (R&D)	p.20
1-3-5-2-Le marché	p.22
1-3-5-3-L'acquisition de technologies développées à l'extérieur	p.22
1-3-5-4-La coopération en R&D	p.23
2-L'innovation technologique vue par les théories économiques	p.23
2-1-Les théories néo-classiques	p.23

2-2-Les théories évolutionnistes	p.26
2-3-Les théories néo-schumpétériennes	p.27
3-Introduction au concept de « durabilité » en économie	p.28
3-1-Le développement durable vu par la théorie économique néoclassique (le modèle de soutenabilité faible)	p.28
3-2-Le développement durable vu par l'économie écologique (le modèle de soutenabilité forte)	p.29
3-2-1-L'Ecole de Londres	p.30
3-2-2-L'Ecole de l'écologie industrielle	p.30
3-2-3-L'Ecole américaine	p.30
3-3-L'approche « éco-systémique » du développement durable	p.31
3-3-1-Naturaliste	p.31
3-3-2-Progressiste	p.31
3-3-3-Techniciste	p.31
4-L'innovation technologique environnementale	p.31
4-1-Définition et typologie	p.31
4-2-Caractéristiques de l'innovation technologique environnementale	p.32
4-2-1-Les technologies additives VS les technologies intégrées	p.32
4-2-2-Les innovations incrémentales VS les innovations radicales	p.34
4-3-Les déterminants des innovations environnementales	p.35
4-3-1-Le mécanisme de demande (Market Pull)	p.35
4-3-2-Le mécanisme de l'offre (Technology Push)	p.36
Section 2 : Politiques publiques pour l'innovation environnementale	p.37
1-Innovations technologiques environnementales et limites du marché	p.38
2-Les mesures publiques pour l'incitation à l'innovation technologique environnementale	p.39
2-1-Le système public de recherche fondamentale	p.40
2-2-Les commandes publiques	p.41
2-3-Les subventions et incitations financières	p.42
2-3-1-Les Feed-in tariffs (FIT)	p.43
2-3-2-Les contrats pour différences (CFD)	p.45
2-3-3-Les Feed-In tariffs avec Premium (FIP)	p.46
2-3-4-Les appels d'offre avec enchères (bidding)	p.47
2-4-Les pôles de compétitivité « Clusters »	p.47
2-5-Les instruments fiscaux	p.49

2-6-Coopération des firmes en recherche et développement	p.50
2-7-Le brevet	p.51
3-Retombées des politiques publiques sur la nature des innovations technologiques environnementales	p.53
3-1-Des politiques environnementales entre conséquences économiques et conséquences sociales	p.54
3-2-Comportement des firmes entre intérêt privé et intérêt social	p.55
3-3-Politiques environnementales entre « incitatives » et « restrictives »	p.60
Conclusion	p.62
Chapitre 2 : le système d'innovation (si) au service du développement des technologies durables	
Introduction	p.65
Section 1 : Analyse du changement technologique dans un système d'innovation	p.66
1-Le Système d'innovation : origines, structure et principes fondamentaux	p.66
1-1-Origines de l'approche	p.66
1-2-Structure d'un système d'innovation	p.67
1-2-1-Les acteurs	p.69
1-2-2-Les institutions	p.69
1-2-3-Les réseaux	p.69
1-3-Principes fondamentaux	p.70
1-3-1-La relation entre interaction, information et communication	p.70
1-3-2-Les problèmes et les solutions	p.71
1-3-3-La relation entre la technologie, l'apprentissage, la connaissance et les compétences	p.71
1-3-4-Du poids des institutions dans un système d'innovation	p.72
2-Caractéristiques du processus de changement technologique	p.75
2-1-L'importance des liens multidirectionnels	p.76
2-2-L'existence de processus cumulatifs et d'auto-renforcement	p.76
2-3-Le rôle central de l'apprentissage et de la connaissance	p.76
2-4-Le schéma de développement singulier de chaque innovation	p.76
2-5-Le caractère systémique et interdépendant du changement technologique	p.76
3-Les approches d'analyse du changement technologique dans un système d'innovation	p.77
3-1-L'approche statique (par la structure)	p.77
3-1-1-La dimension géographique du système d'innovation	p.77

3-1-1-1-Le système national d'innovation	p.77
3-1-1-2-Le système régional d'innovation	p.78
3-1-1-3-Le système sectoriel d'innovation	p.81
3-1-2-La dimension multi-niveaux du système d'innovation	p.83
3-2-L'approche dynamique (par les fonctions)	p.86
3-2-1- Les moteurs de changement technologique dans un système d'innovation vus par l'analyse fonctionnelle	P.89
3-2-2-Les problèmes méthodologiques liés à l'analyse du système technologique	p.94
Section 2 : Système d'innovation technologique et transition énergétique	p.96
1-Du poids des activités d'innovations technologiques environnementales dans le monde	p.97
1-1-Evolution mondiale des activités de recherche	p.97
1-2-La relation « Science » - « innovation verte »	p.99
1-3-La relation « innovation » - « développement durable »	p.101
2-Adoption des innovations technologiques énergétiques par les pays en voie de développement : mécanismes et barrières	p.104
2-1-Les mécanismes	p.106
2-2-Les barrières	p.106
3-Système d'innovation technologique énergétique (S.I.T.E) : Apports de la littérature économique	p.109
3-1-Caractéristiques principales du S.I.T.E	p.109
3-1-1-Le changement technologique dans un système énergétique	p.110
3-2-Autour de la notion du « déficit de l'efficacité énergétique » en économie	p.111
3-3-Des économies d'échelle et des économies d'envergure pour les innovations technologiques énergétiques	p.113
Conclusion	p.116
Chapitre 3 : évolution des systèmes d'innovations technologiques énergétiques mondiaux	
Introduction	p.120
Section 1 : Système énergétique mondial et changement technologique	p.121
1-Les truismes sur le système énergétique	p.121
2-Evolution du système énergétique mondial et émergence des énergies renouvelables	p.124
2-1-L'évolution de la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique mondial	p.124
2-2-La place de l'énergie solaire dans le secteur des énergies renouvelables	p.126

2-3-L'innovation technologique comme facteur primordial de l'évolution des énergies renouvelables	p.128
3-Le marché mondial de l'énergie solaire	p.133
3-1-Le marché mondial du solaire PV	p.133
3-2-Le marché mondial du solaire thermique à concentration (CSP)	p.136
3-3-Analyse comparative entre le solaire PV et le solaire thermique à concentration (CSP)	p.137
3-3-1-Les paramètres naturels	p.138
3-3-2-Les paramètres techniques et économiques	p.139
4-Évolution de la chaîne de valeur internationale des technologies solaires PV	p.141
Section 2 : Politiques d'innovation technologique pour la transition énergétique dans le monde	p.145
1-Analyse des conditions d'évolution du S.I.T.E solaire PV mondial	p.146
1-1-La mobilisation des ressources financières	p.146
1-1-1-De l'impact du niveau de développement économique des pays sur le volume des dépenses en R&D	p.148
1-1-2-De la participation des acteurs privés dans le marché solaire PV	p.151
1-2-Le développement de la connaissance	p.162
1-2-1-Les retombées des connaissances (Knowledge spillovers)	p.164
2-Comment éviter les blocages dans les S.I.T.E ?	p.164
2-1-La déperdition des connaissances	p.165
2-2-Le potentiel naturel	p.165
2-3-La stabilité des politiques publiques	p.165
3-Le poids de l'innovation technologique entre transition énergétique et niveau de développement économique des pays	p.166
4-De la coopération internationale comme solution pour combler les écarts technologiques des pays	p.170
Conclusion	p.172
Chapitre 4 : le système d'innovation technologique pour les énergies solaires en Algérie	
Introduction	p.175
Section 1 : Vers un choix des indicateurs appropriés pour l'évaluation du S.I.T.E solaire algérien	p.176
1-Répartition des indicateurs selon l'approche classique (input – output- outcome)	p.177
1-1-Les indicateurs de ressources (input)	p.179
1-2-Les indicateurs de résultats (output)	p.183
1-2-1-Le brevet	p.184

1-3-Les indicateurs d'impact (outcome)	p.188
2-Répartition des indicateurs selon l'approche par les fonctions	p.188
Section 2 : Évaluation par les fonctions du système d'innovation technologique de l'énergie solaire en Algérie	p.190
1-Les activités entrepreneuriales (fonction 01)	p.190
1-1-Composition de l'industrie algérienne de l'énergie solaire photovoltaïque	p.191
2-Le développement de la connaissance (fonction 02)	p.194
2-1-Les réseaux de recherche	p.194
2-1-1-Les centres de recherche	p.194
2-1-2-Les laboratoires de recherche affiliés aux universités	p.196
2-1-3-Les laboratoires de recherche affiliés aux entreprises	p.198
2-2-Les contributions scientifiques indexées	p.200
2-3-Les réalisations en nombre de projets de recherche en EnR	p.201
2-4-L'évolution du nombre de brevets en énergies renouvelables	p.202
3-La diffusion de la connaissance (fonction 03)	p.204
3-1-Activités des clusters	p.204
3-2-Organismes d'appui à la diffusion de la connaissance	p.206
3-2-1-L'institut national Algérien de la propriété industrielle INAPI	p.206
3-2-2-Les Centres d'Appui à la Technologie et à l'Innovation CATI	p.206
3-2-3-Les Centres d'Innovation et de Transfert de Technologies CITT	p.206
3-2-4-Les incubateurs	p.206
3-3-Liens entre les principaux intervenants	p.207
3-3-1-Les coopérations nationales	p.207
3-3-2-Les coopérations internationales	p.207
4-L'orientation publique de la recherche (fonction 04)	p.208
4-1-Les objectifs fixés par le gouvernement	p.208
4-1-1-Le programme national des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique (PNEREE)	p.208
4-1-2-Le programme national de recherche en énergies renouvelables (PNRER)	p.211
4-2-Les changements dans le programme et le cadre réglementaire	p.212
5-La formation du marché (fonction 05)	p.213
5-1-Le cadre réglementaire	p.213
5-1-1-La loi sur l'innovation technologique	p.213
5-2-Les règlements fiscaux spécifiques	p.215

5-2-1-Les tarifs d'achats garantis	p.215
5-3-Les capacités installées	p.215
6-La mobilisation des ressources (fonction 06)	p.220
6-1-Disponibilité des compétences/ capital humain	p.220
6-1-1-Le capital humain au niveau des universités	p.220
6-1-2-Le capital humain au niveau des centres de recherche	p.222
6-1-3-Le capital humain au niveau des entreprises	p.222
6-2-Les ressources financières	p.224
6-2-1-Le Fonds national pour les énergies renouvelables (FNER)	p.225
6-2-2-Le financement des Programmes nationaux de recherche	p.227
7-La création de légitimité (fonction 07)	p.230
7-1-Montée et croissance du lobbying	p.230
Section 3 : Quelle stratégie pour le S.I.T.E solaire algérien ? Éléments de réponse	p.235
1-Bâtir un S.I.T.E solaire : Quelles exigences pour les politiques publiques ?	p.236
1-1-La stabilité dans le temps	p.236
1-2-Initiative publique et initiative privée	p.236
1-3-Coopération internationale	p.236
2-Le solaire algérien : une stratégie pour le S.I.T.E	p.237
2-1-Revue de la littérature sur les feuilles de routes technologiques	p.237
2-2-Vers la proposition d'une stratégie selon l'approche par les fonctions pour le S.I.T.E solaire algérien	p.241
Conclusion	p.252
Conclusion générale	p.255
Références bibliographiques	p.264
Acronymes	p.278
Unités physiques	P.280
Unités monétaires	P.281
Liste des tableaux	P.281
Liste des figures	P.282
Annexes	p.286