

**LES CAHIERS DE
L'ASSOCIATION TIERS-MONDE**

N°35 - 2019

**XXXV^{es} JOURNÉES
SUR LE DÉVELOPPEMENT**

Energie et développement

Vers une transition énergétique au service du développement

27, 28 et 29 mai 2019

METZ, Université de Lorraine



**UNIVERSITÉ
DE LORRAINE**



Association Tiers-Monde



Cet ouvrage a été réalisé et coordonné par
Jean BROT,
pour le compte de l'ASSOCIATION TIERS-MONDE
Dépôt légal : DLE-20210611-39934

Sommaire

Olivier DAMETTE, Hubert GÉRARDIN et Jean BROT Présentation du XXXV ^e Cahier ATM	5
<i>Association Tiers-Monde</i>	11
<i>Mondes en Développement</i>	13
<i>Bureau d'Économie Théorique et Appliquée (BETA-CNRS UMR 7522)</i>	15
La consommation des énergies renouvelables en Afrique du Nord Nadine MOGODE	19
L'énergie renouvelable source de valeur pour l'Afrique. Cas de la Côte d'Ivoire et du Burkina Faso Josiane GNASSOU	35
Les transitions énergétiques, de l'Europe à l'Afrique : le cas du solaire au Bénin Modeste YEHOUEYOU et Florence RUDOLF	47
Conception et évaluation de programmes d'accès aux énergies renouvelables : l'exemple de la micro-méthanisation au Sénégal Gwenaëlle OTANDO, Stéphane CALLENS et William BROWNFOOT	57
L'APD de la Chine en Afrique centrale : le double paradoxe lié à la production et au financement des barrages hydroélectriques au regard de la transition énergétique des pays récipiendaires Théophile DZAKA-KIKOUTA et Francis KERN	67
La finance et la transition énergétique sont-elles conciliables ? Marie-Françoise DELAITE	77
Relation agriculture-énergie et agro-écologie, biocarburants (biogaz) Placide SOSSOU	87
Le développement de l'agriculture au Sud (Sahara) face à la contrainte énergétique : cas de l'Algérie Nouredine SAHALI et Mohand SAHNOUNE	97
Demande de bois-énergie dans la ville de Bukavu Stany VWIMA NGEZIRABONA, Ciza NEEMA et Francine SAFINA BORA	109
Consommation énergétique et croissance économique en Algérie : réalités, défis et perspectives Matouk BELATTAF, Ouari MERADI et Halim ZIDELKHIL	121
Stratégies des multinationales de l'hydrocarbure et impact sur l'environnement Lila DOUADI et Habib AMIAR	129
La fusion nucléaire : une future révolution énergétique dans le cadre de la transition écologique ? Jacques POIROT	135
Les enjeux de développement d'une métropole polluée. Cas de la ville de Sfax Hafedh ELLOUZE	147

Présentation du XXXV^e Cahier ATM

Olivier DAME¹TE, Hubert GÉRARDIN² et Jean BRO³T

Les XXXV^{es} Journées de l'Association Tiers-Monde ont été organisées en 2019 par le Bureau d'Économie Théorique et Appliquée (BETA-CNRS UMR 7522) de l'Université de Lorraine. Ces Journées se sont tenues à Metz sur le campus de l'Ile du Saulcy les 27, 28 et 29 mai 2019 dans les locaux de la faculté Droit, Économie



et Administration. Le colloque a été ouvert le 27 mai par Pierre Tifine, doyen de la faculté, Madame Isabelle Kaucic, première adjointe au maire de Metz, Myriam Doriât-Duban, directrice du pôle scientifique Sciences Juridiques, Politiques, Économiques et de Gestion de l'Université de Lorraine, Hubert Gérardin, Président de l'Association Tiers Monde, et Olivier Damette, BETA-CNRS et Faculté DEA Metz, Université de Lorraine.

1. ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT. VERS UNE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT

Depuis les recherches originelles menées par Kraft et Kraft (1978) aux États-Unis, les économistes se sont intéressés au lien susceptible d'exister entre la consommation énergétique et la croissance économique. Par la suite, de très nombreux travaux sur cette relation statistique ont été recensés (Ozturk, 2010). Bien qu'il existe une forte controverse sur le sens de causalité de la relation, sa validité à différents types de pays (OCDE, pétroliers, émergents, à faibles revenus,...), et son horizon temporel (la relation pouvant changer entre le court et le long terme), il semble difficile de ne pas considérer les liens qui existent entre l'énergie et le développement au sens large.

Sur le seul plan de la croissance économique, le rapport de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) consacré à la stratégie énergétique future de l'Afrique (Ouedraogo, 2017) montre que la croissance économique des quinze dernières années s'est accompagnée d'une augmentation de la consommation énergétique de 45% sur le continent. En Asie du Sud-Est, la forte croissance de ces vingt dernières années a multiplié par cinq la demande énergétique.

Si la relation causale entre énergie et croissance n'est pas forcément évidente à établir et que l'intérêt du développement de l'accès à l'énergie demeure controversé, c'est qu'il existe des effets dont la nature (non-linéaire, par exemple, pour les économètres) est difficile à évaluer. De même, il est nécessaire de s'intéresser aux dynamiques conjointes du prix de l'énergie et des fluctuations macro-économiques. N'observe-t-on pas, en effet, une récession économique d'ampleur après chaque hausse du prix du pétrole et des principales énergies fossiles ? La crise de 2008 n'y fait pas exception. Au final, la relation historique entre énergie et développement est complexe, en particulier lorsqu'on met en parallèle domestication de l'énergie et développement des civilisations (Quenault, 2020 ; Robert, 2017 ; Carbonnier et Grinvald, 2011).

¹ BETA-CNRS Nancy, Université de Lorraine. olivier.damette@univ-lorraine.fr

² Association Tiers-Monde et BETA-CNRS Nancy, Université de Lorraine. hubert.gerardin@univ-lorraine.fr

³ Association Tiers-Monde. jean-brot@orange.fr

Par ailleurs, il est paradoxal de constater que si la consommation énergétique mondiale ne cesse de croître, tous les pays n'ont pas accès à des systèmes modernes d'énergie. Bien que de nombreux pays en développement (PED) disposent de ressources énergétiques mobilisables, l'accès à l'énergie demeure inégal et insuffisamment développé pour les pays à bas revenus. Près d'un milliard d'habitants, dont près de deux tiers des Africains, sont encore en attente d'électrification (AIE, 2014). En Asie du Sud-Est, les accès à l'électricité sont plus élevés mais n'en demeurent pas moins très inégaux et les taux d'électrification parfois faibles, comme au Cambodge ou à Myanmar.

Pour autant, la possibilité d'accéder à l'énergie ne saurait être une condition suffisante au développement. Au-delà de la disponibilité des ressources, c'est leur accessibilité pour les ménages, notamment les plus pauvres, qui est en jeu ; une intervention publique est alors parfois nécessaire (Winkler et *al.*, 2010). Il est donc impératif de repenser la politique énergétique future des pays en développement ainsi que la gouvernance énergétique mondiale et son articulation avec les pouvoirs publics locaux (Avadikyan et Mainguy, 2016).

En tout état de cause, l'un des objectifs majeurs de ces pays dans les années futures sera de fournir un accès pour tous aux sources d'énergie les plus modernes, de manière à accompagner leur développement économique et social. Si on part du postulat qu'il existe un lien positif entre la production d'énergie et les indicateurs sociaux et de développement, une politique énergétique efficace devrait permettre d'améliorer la qualité de vie des individus (par le biais de l'accès aux ressources telles que l'eau, à l'éducation, aux soins,...), de dynamiser la croissance des entreprises et du secteur industriel, tout en parvenant à achever la transition énergétique (Chartier et Tsayem Demaze, 2020).

Bien évidemment, la politique énergétique des PED devra tenir compte de l'impact de la consommation énergétique sur le changement climatique (Gérardin et Damette, 2020). Les effets de la déforestation sur la biodiversité, de même que les tensions liées à la croissance économique et démographique des PED doivent être prises en compte – la taille des économies africaines devrait quadrupler d'ici à 2040 et leur population doubler (AIE, 2016) – pour gérer l'énergie de manière efficiente, tout en respectant l'environnement et la sécurité des populations. Les PED qui font face au défi du développement et à la nature du régime de la croissance vont inéluctablement devoir gérer une consommation énergétique et des besoins croissants et, par conséquent, des tensions sur les ressources renouvelables croissantes (par exemple, l'énergie issue de la biomasse par le bois-énergie ou les déchets agricoles représente encore la source principale d'énergie pour le chauffage et la cuisine dans les PED). Dans ce contexte, comment trouver un équilibre énergétique dans l'articulation entre changement climatique, agriculture et développement ?

Dès lors, si l'on souhaite atteindre les objectifs de développement durable et dépasser l'hypothèse bien connue de la courbe de Kuznets environnementale (EKC dans la littérature) qui veut que les premiers stades de développement détériorent la qualité environnementale, le développement des énergies renouvelables devient primordial pour accompagner la consommation énergétique. L'AIE prévoit que la moitié de la croissance de la production d'électricité en 2040 proviendra des sources renouvelables dans les pays d'Afrique subsaharienne. Là encore, les politiques d'accompagnement et de développement seront nécessaires pour que les institutions politiques, l'accès aux marchés financiers et au crédit, les connexions et les infrastructures entre pays proches, soient rendues optimales au développement des énergies vertes (Kern, 2019). Une gouvernance adéquate prenant appui sur les institutions internationales et les pays industrialisés, ainsi que des financements suffisants en soutien des projets de développement énergétique pour contourner les restrictions financières des PED sont nécessaires (Fontan-Sers, Loubet Duthil et Pecastaing, 2016 ; Lacour et Simon, 2013). De même, il conviendra de prendre en compte les contraintes locales géographiques spécifiques, la diversité et la sociologie des acteurs locaux (villages ruraux *versus* zones denses urbaines) dans la mise en place des politiques énergétiques futures.

2. BILAN SCIENTIFIQUE DES XXXV^{es} JOURNÉES ATM METZ

Étalées sur trois jours du 27 au 29 mai, les XXXV^{es} Journées de l'Association Tiers-Monde ont réuni 82 participants originaires de 14 pays et de trois continents, 63 communications réparties en 21 ateliers, deux séances plénières, une table-ronde et une séance de clôture.

Lors de la conférence inaugurale du 27 mai, Michel Deshaies, géographe à l'université de Lorraine, a contextualisé les enjeux de la transition énergétique dans l'arbitrage qui doit se faire entre les énergies fossiles émettrices de CO₂ et les nouvelles énergies renouvelables qui sont des énergies « propres », décarbonées.



Le conférencier a montré la corrélation existante entre consommation d'énergie domestique et industrielle et le niveau du PIB par habitant, tout en rappelant que notre mode de développement est étroitement lié à sa consommation d'énergie. Mais cet arbitrage est d'autant plus difficile à réaliser dans des pays dont la principale ressource est précisément les énergies fossiles. Il a insisté sur la question du rendement énergétique/m², qui permet au nucléaire de rivaliser avec les centrales thermiques au fuel, au gaz ou au charbon, mais pas avec l'éolien, le solaire ou la biomasse qui nécessitent de grandes superficies pour atteindre des économies d'échelle. Ensuite, il a souligné la tension entre centralisation et décentralisation dans la production et la consommation d'électricité. Enfin, il a abordé le mode de transition énergétique et son rapport au territoire. Les nouvelles énergies renouvelables (ce qui exclut les énergies propres car décarbonées, comme le nucléaire) représentent une opportunité en termes de systèmes décentralisés.

Luc-Désiré Omgba, économiste à l'université Paris-Nanterre, lors de la seconde conférence sur les énergies fossiles et les pays pétroliers, a rappelé que les trajectoires historiques liées à la forme que prend la division primaire du travail peuvent être déterminantes dans les modalités de la transition énergétique au Sud. En appliquant son raisonnement aux pays pétroliers, il montre que les sentiers de croissance ne sont pas les mêmes selon que le pétrole a été exploité avant ou après l'indépendance des pays étudiés, c'est-à-dire avant ou après l'apparition d'une classe « bourgeoise » dominante. C'est sur ce dernier point qu'il insiste à partir de travaux ayant eu un écho retentissant en montrant que les étudiants de ces pays délaissent les études d'ingénieur pour surinvestir dans le droit et l'économie ouvrant sur des carrières permettant une plus ample captation des revenus de la rente pétrolière.



La Table-ronde a rassemblé, dans une approche pluridisciplinaire, plusieurs membres de Lorraine Université d'excellence (LUE), Université de Lorraine Hydrogène Sciences et Technologies (ULHYS). Elle a mis le focus sur les énergies du futur, tout particulièrement sur « l'hydrogène : vecteur énergétique du développement de demain », incontournable pour penser la transition grâce au stockage de l'électricité qu'elle pourra permettre, les nouveaux marchés qu'elle initiera et les nouveaux usages qui en découleront ; elle a ouvert notre horizon cognitif sur la transition énergétique au Nord comme au Sud.

3. LES CONTRIBUTIONS

Le recours aux énergies renouvelables est considéré aujourd'hui comme un défi majeur afin de réduire la consommation d'énergie fossile, de contribuer à la réduction des émissions des gaz à effet de serre et de limiter ainsi le réchauffement climatique à moins de 2°C (COP 21, Paris 2015). Les efforts établis par tous les pays, aussi bien développés qu'en développement, sont nécessaires mais se révèlent encore insuffisants. **Nadine MOGODE** analyse les principaux déterminants de l'investissement dans les énergies renouvelables et révèle les freins et les leviers au développement des énergies renouvelables abondantes (éoliens, hydroélectricité et solaire) en Afrique nordique francophone : Maroc et Tunisie, ainsi qu'en Egypte.

L'énergie renouvelable constitue une opportunité pour l'Afrique. Malheureusement certaines ressources, comme les déchets, ne disposent pas toujours de filières formelles dans l'ensemble de leur processus de valorisation. Pourtant, ce secteur est l'une des réponses à la crise environnementale. Quels sont les déterminants de la valorisation du secteur des énergies renouvelables ? Ce secteur est-il à la fois un moteur de croissance et de développement humain ? **Josiane GNASSOU** sur la base d'enquêtes au Burkina Faso et en Côte d'Ivoire présente des projets en cours, en souligne les progrès comme les limites et suggère des solutions.

Pendant que des États industrialisés d'Europe abordent la question de la transition énergétique sous l'aspect d'une réduction de leur impact carbone, de la promotion des sources d'énergies renouvelables et des économies d'énergie, les pays d'Afrique y voient une opportunité pour s'approcher de l'autosuffisance énergétique et développer de nouveaux services énergétiques par la valorisation des énergies renouvelables de leur territoire. **Modeste YEHOUENOU et Florence RUDOLF** présentent les différentes trajectoires de transition suivies sur les deux continents, puis l'illustrent avec l'énergie solaire au Bénin.

Gwenaëlle OTANDO, Stéphane CALLENS, William BROWNFOOT détaillent les conditions de succès des programmes d'accès aux énergies renouvelables avec un focus particulier sur le PAER (Programme d'accès à l'énergie renouvelable) au Sénégal. Les données collectées sont celles de l'ONG « Le Partenariat », qui participe à la mise en place du PAER dans la région de Saint-Louis, au Sénégal. Cette étude de cas apporte des éléments probants en faveur d'une vision plus décentralisatrice du secteur énergétique. Il s'agit surtout d'améliorer la distribution, à la fois de l'énergie, et des sous-produits de la filière biogaz, comme les fertilisants. Un effort de modernisation de la distribution en faveur des énergies renouvelables semble aux auteurs une étape importante à venir.

En misant sur une politique de développement basée sur l'utilisation des énergies renouvelables afin de mieux accompagner la consommation énergétique, **Théophile DZAKA-KIKOUTA et Francis KERN** mettent en évidence le leadership des groupes publics chinois dans l'hydroélectricité en Afrique et un double paradoxe de l'hydroélectricité dans les pays d'Afrique centrale. Le premier paradoxe est lié à la production de l'hydroélectricité au regard du développement durable. L'emprise territoriale et les populations déplacées constituent le « revers de la médaille » de ces chantiers gigantesques, généralement destinés à assurer la sécurité énergétique des industries extractives privilégiées par les investissements directs étrangers (IDE) des multinationales chinoises. Le second paradoxe a trait au financement extérieur des barrages hydroélectriques et au risque concessionnel auquel s'exposent ces infrastructures en cas de non-remboursement des prêts contractés auprès des créanciers publics chinois.

Marie-Françoise DELAITE explore la relation entre la finance et les mutations du système énergétique liées au changement climatique. Elle s'interroge sur la compatibilité entre la nature et la logique de la finance avec les exigences de la transition énergétique. Après avoir montré en quoi le processus de financiarisation dans le capitalisme financiarisé mondial est susceptible de

constituer un obstacle à la transition énergétique, elle souligne que la finance exerce une influence croissante dans la marche de l'économie mondiale en suivant sa propre logique. Ensuite, elle propose un cadre analytique permettant d'identifier les caractéristiques d'une finance verte et responsable, susceptible de participer de manière active au développement des énergies renouvelables et des technologies propres. Elle fournit une grille de lecture de ce qu'il serait possible de faire en matière de régulation financière (microprudentielle et macroprudentielle) et orientée vers la transition énergétique.

Placide SOSSOU part du postulat qu'il existe un lien positif entre la production d'énergie et les indicateurs sociaux et de développement. Une politique énergétique efficace permet d'améliorer la qualité de vie des individus en facilitant l'accès des ménages les plus pauvres aux énergies renouvelables tel que le biogaz, lequel, en alimentant des dispositifs mécaniques, fournit de l'électricité. Ce système favorise le recyclage des déchets organiques transformés en gaz (pour la cuisine, l'électricité) et en engrais organiques pour fertiliser les sols en vue de disposer d'une agriculture écologique, durable. Cette technique vise aussi à limiter l'utilisation des pesticides et des engrais chimiques qui constituent un danger pour la santé de l'être humain et, plus généralement, pour l'écosystème. Les biodigesteurs installés au Bénin illustrent sa recherche.

Nouredine SAHALI et Mohand SAHNOUNE analysent l'évolution de l'agriculture saharienne et dressent un bilan de la contribution des régions du sud à la production agricole nationale. Ils constatent une nette évolution au regard des superficies plantées comme des quantités produites. La wilaya de Biskra est devenue un pôle de productions maraichères sous serre, avec 54 % de la production nationale. La wilaya de d'El Oued, pour la pomme de terre, occupe la première place avec le quart de la production nationale. Par ailleurs, les potentialités naturelles dont dispose cette région constituent un gisement non encore exploité permettant la production d'énergies renouvelables. Dans ce domaine, un programme ambitieux est mis en place en prévision de la production de 22 000 MW, pour la période 2015-2030. Ce dernier ne peut être que bénéfique pour l'agriculture saharienne qui a besoin de davantage d'énergie pour l'irrigation.

La République Démocratique du Congo possède plus de 60% des réserves forestières de l'Afrique et 17 % de la surface totale du pays devraient être protégés et mis sous un régime d'aires protégées (parcs, etc.) (FAO, 2007). Les forêts en RDC couvrent une superficie d'environ 1 280 000 Km², représentant 54% de l'étendue nationale. **Stany VWIMA NGEZIRABONA, Ciza NEEMA et Francine SAFINA BORA** s'interrogent sur l'articulation entre la valorisation économique de cette ressource et l'avenir des populations dépendantes de ces forêts au Sud-Kivu. Leurs travaux portent sur la demande de bois-énergie dans la ville de Bukavu. Ils en estiment les quantités consommées, évaluent l'impact de la demande sur le patrimoine forestier de l'aire d'approvisionnement et pointent les échecs des politiques gouvernementales sur le bois-énergie.

Matouk BELATTAF, Ouari MERADI et Halim ZIDELKHIL mettent en exergue la relation atypique entre la consommation d'énergie et la croissance économique en Algérie, où la consommation énergétique ne contribue pas fortement à l'accroissement du PIB puisque ce dernier dépendrait plus de l'exportation d'hydrocarbures à l'état brut et non d'une dynamique économique consommatrice d'énergie. Les résultats du modèle VAR montrent que la consommation d'énergie est complètement décorrélée de la croissance du PIB et que la consommation des industries énergétiques ainsi que les exportations de l'énergie brute expliquent mieux la croissance.

La responsabilité sociale d'une entreprise, est l'énonciation d'une théorie managériale, parue dans les années 1950 et intégrée dans la démarche stratégique des firmes. La RSE est une éthique à laquelle l'entreprise ne devrait pas déroger. L'entreprise occupe une place prépondérante dans la vie économique et sociale, elle se doit de conjuguer avec une pression, venant de la société civile, qui tend à vouloir modifier ses façons de faire, et de gérer ses activités. Le secteur des hydrocarbures est considéré comme étant un leader en matière de responsabilité sociale. Les firmes pétrolières

attachent de plus en plus d'importance à leur impact économique, social et environnemental. Selon **Lila DOUADI et Habib AMIAR**, cette quête de la bonne image se concrétise par la mise en place des codes de conduite et par des initiatives relatives à la responsabilité sociale, telle que le « *global compact* » de Kofi Annan⁴.

L'avantage de la fusion nucléaire sur la fission nucléaire est double. Contrairement à la fission nucléaire, qui caractérise le mode de fonctionnement des centrales nucléaires actuelles, la production d'électricité par la fusion, ne génère « aucun déchet radioactif de haute activité à vie longue » et, de plus, il n'y a aucun risque de fusion du cœur de la centrale et d'explosion, comme cela a été le cas pour les centrales de Tchernobyl ou de Fukushima. **Jacques POIROT** fait « le point » sur les perspectives actuelles de la production d'une énergie de fusion nucléaire, en analysant, non seulement les perspectives du projet le plus connu actuellement, le projet ITER, mais également les autres projets, relativement nombreux, dans ce domaine. Ensuite il décrit les avantages, tant au niveau écologique qu'au niveau économique, du passage au « tout électrique » que permettrait la mise en œuvre généralisée de la fusion nucléaire pour la production d'électricité, tout en soulignant les difficultés et, parfois, les limites de cette nouvelle forme de transition écologique.

La prise de conscience généralisée de l'importance des problématiques urbaines au regard du développement durable et ses différentes déclinaisons sont devenues aujourd'hui une préoccupation importante des décideurs. Dans ce contexte, **Hafedh ELLOUZE** s'intéresse à la ville métropole de Sfax, présentant plusieurs problèmes environnementaux ayant des impacts sur son développement et réduisant son pouvoir d'attraction sur la région et sur le pays. Son projet d'aménagement repose sur la création d'une extension éco-urbaine autonome flottante. Cette dernière va participer à l'absorption du processus de développement urbain irréversible en offrant un modèle de logements éco-urbains et un mode de vie différent dans un cadre naturel dépourvu de réseau routier, donc sans voiture, sans pollution et sans rejet de CO₂.

4. LES PUBLICATIONS ET LES PERSPECTIVES

Outre la sélection des 13 contributions réunies dans ce trente-cinquième numéro des *Cahiers de l'Association Tiers-Monde*, 7 articles figurent au sommaire du numéro 192 de *Mondes en Développement* (paru fin 2020) intitulé *Transition énergétique et développement*. Un ouvrage collectif en préparation regroupe une dizaine de textes. Par ailleurs, une vingtaine d'auteurs nous ont signalé avoir trouvé preneur de leurs textes dans différentes revues européennes ou africaines. Le bilan global est donc très satisfaisant.



Le colloque s'est achevé par la tenue de l'assemblée générale de l'Association Tiers-Monde le 29 mai, durant laquelle ont été présentés les projets des XXXVI^{es} journées de Rennes, en 2020, et des XXXVII^{es} journées de Brest, en 2021, ... dont les dates allaient être décalées d'un an consécutivement à la pandémie et au confinement instauré en mars 2020.

⁴ Le septième secrétaire général des Nations unies. Il a entamé son premier mandat le 1er janvier 1997. Le 29 juin 2001 il a été réélu pour un second mandat allant 1er janvier 2002 au 31 décembre 2006.

Le colloque a été, de l'avis de tous les participants et des organisateurs, une réussite. Les différents moments de convivialité organisés (à la Mairie de Metz et à la Citadelle) ont permis de découvrir et d'apprécier les charmes de la cité messine.

Les organisateurs remercient chaleureusement de leur soutien financier ou technique la Région Grand Est, Metz Métropole, la ville de Metz, l'Université de Lorraine, le Laboratoire BETA-CNRS, Lorraine Université d'Excellence (ULHYS) et la Faculté Droit, Économie et Administration de Metz. Enfin, comme les



années précédentes, la qualité de ces Cahiers doit beaucoup à l'active implication d'Anne-Marie et Marie-Paule, auxquelles il nous est agréable d'exprimer notre profonde reconnaissance...

BIBLIOGRAPHIE

- AIE (Agence Internationale de l'Énergie) (2016) *Rapport annuel*, Paris, AIE, 150 p.
- AIE (Agence Internationale de l'Énergie) (2014) *Africa Energy Outlook (2014) A focus on energy prospects in sub-Saharan Africa*, World Energy Outlook 2014. Paris, AIE, novembre.
- AVADIKYAN A., MAINGY C. (2016) Accès à l'énergie et lutte contre le changement climatique : opportunités et défis en Afrique subsaharienne, *Mondes en Développement*, tome 44, n° 176, 7-24.
- CARBONNIER G., GRINEVALD J. (2011) Énergie et développement, *Revue internationale de politique de développement*, n° 2, 9-28.
- CHARTIER A., TSAYEM DEMAZE M. (2020) L'Afrique dans l'agenda international de réduction des émissions de gaz à effet de serre : quelle transition énergétique pour quel développement ? L'exemple de Madagascar, *Mondes en Développement*, tome 48, n° 192, 71-88.
- FONTAN-SERS C., LOUBET DUTHIL V., PECASTAING N. (2016) Changement climatique et développement : le cas du mécanisme pour un développement propre en Afrique, *Les Cahiers de l'Association Tiers-Monde*, n° 31, 151-160.
- GÉRARDIN H., DAMETTE O. (2020) Quelle transition énergétique, quelles croissance et développement durables pour une nécessaire transition écologique ?, *Mondes en Développement*, tome 48, n° 192, 7-24.
- KERN F. (2019) L'émergence, de quoi est-elle le nom ?, *Les Cahiers de l'Association Tiers-Monde*, n° 34, 21-26.
- KRAFT J., KRAFT A. (1978) On the relationship between energy and GNP, *Journal of Energy and Development*, n° 3, 401-403.
- LACOUR P., SIMON J.-C. (2013) Les avancées du mécanisme pour un développement propre : une étape décisive vers un développement "décarboné" au Sud ?, *Mondes en Développement*, tome 41, n° 162, 67-86.
- OUEDRAOGO N. S. (2017) Africa energy future: Alternative scenarios and their implications for sustainable development strategies, *Energy Policy*, n° 106, 457-471.
- OZTURK I. (2010) A literature survey on energy-growth nexus, *Energy Policy*, n° 38, 340-349.
- QUENAULT B. (2020) Transition énergétique, résilience et durabilité des trajectoires de développement : vers un simple ajustement à la marge ou une transformation de rupture ?, *Mondes en Développement*, tome 48, n° 192, 45-70.
- ROBERT P. (2017) Énergies renouvelables et opérateurs privés pour l'électrification des zones rurales au Sénégal, in T. Montalieu, J. Brot, H. Gérardin (dir.) *Mobilités et soutenabilité du développement*, Paris, Karthala, 77-100.
- WINKLER H., SIMOES A. F., LA ROVERE E. L., ATIQ RAHAM M. A., MWAKASONDA S. (2011) Access and Affordability of Electricity in Developing Countries, *World Development*, vol. 39, n° 6, 1037-1050.



"L'Association a pour objet de promouvoir toutes études et recherches relatives aux problèmes culturels, économiques, sociaux, financiers, juridiques ou autres, que posent les pays en développement". Elle se situe dans une approche de recherche rigoureuse et réaliste. Elle se veut incitatrice. C'est pourquoi :

- elle organise annuellement les "Journées sur le développement" et, ponctuellement, des *workshops* en Afrique, durant lesquels des communications issues de travaux de recherche sont présentées ;
- elle encourage, provoque et accroît les contacts entre étudiants, enseignants et professionnels qualifiés, en vue de favoriser le rapprochement des expériences des uns et des autres ;
- elle fait appel au concours de spécialistes, aussi bien dans les domaines de la recherche que des applications.

L'association tiers-monde, fondée par le professeur François Perroux, dirigée ensuite par le professeur René Gendarme puis par Pierre-Etienne Fournier, est présidée depuis juin 2013 par Hubert Gérardin. La composition du bureau : Philippe Adair (Prix P. Hugon et Cahiers ATM), Bruno Boidin (coordination publications), Arnaud Bourgain (coordination workshops), Francis Kern (contacts partenaires scientifiques), Fabienne Leloup (fil d'information), Jean Brot, secrétaire, et Thierry Montalieu, trésorier.

L'association rassemble en son sein des personnalités venues d'horizons divers, unies par le souci, selon la formule du fondateur, de « *mettre la recherche économique et ses résultats pratiques au service du plein développement de la ressource humaine.* »

Portrait du fondateur François PERROUX

Homme de science aux vues prémonitoires, pour François Perroux l'analyse des faits économiques et sociaux n'est pas simple explication ou normalisation. Elle entend mettre à la disposition des acteurs du monde économique des méthodes d'inspiration scientifique applicables à l'espace économique concret, favorables au plein développement de la ressource humaine.

François Perroux (1903-1987) est l'auteur d'un nombre considérable d'ouvrages, d'articles et de travaux, dont *L'Europe sans rivage*, *L'économie du XX^{ème} siècle*, *Les Entreprises transnationales et le nouvel ordre économique du monde* et *Pour une philosophie politique du nouveau développement*. Il est licencié es lettres classiques, puis agrégé d'économie politique. Successivement professeur aux Facultés de Droit de Lyon et de Paris, il termine son enseignement au Collège de France. Utilisant couramment cinq langues, il enseigne dans quelques trente nations. Il fonde, notamment, l'Institut de Science Economique Appliquée (ISEA) en 1945, qui deviendra l'Institut de Sciences Mathématiques et Economiques Appliquées (ISMEA), l'Association Tiers-Monde (ATM) et la revue *Mondes en développement*, en 1973.

Quels sont ses buts ?

Au moment où de nombreux et graves problèmes, tant d'ordre économique qu'humain, assombrissent tragiquement les perspectives ouvertes aux populations des pays du Tiers-Monde et où de nouveaux équilibres générés par la transformation de l'Europe ne peuvent que se répercuter sur le reste du globe, à commencer par le Sud du Bassin méditerranéen et l'Afrique, l'Association vise à promouvoir, modestement mais avec détermination, une meilleure compréhension des conditions d'existence et de développement des populations concernées.

L'économie du XXI^e siècle devra être mondiale pour atteindre ses objectifs, c'est-à-dire satisfaire les besoins de chacun. Le développement, qui favorise la vie des hommes, n'est ni un privilège ni le fruit d'une localisation favorable. La réussite dépend de l'effort de tous. L'émergence des Jeunes Nations et de leurs cinq milliards de ressortissants dont il convient de faciliter l'essor du niveau de vie et d'assurer, à plus long terme, les bases de l'autonomie ethnique et culturelle, leur entrée sur des marchés aux frontières estompées, sont déjà en cours. Dans les nouveaux équilibres en gestation, les techniques ne suffisent plus, elles peuvent même avoir des effets pervers. L'enjeu réclame une solidarité active et l'accompagnement attentif des efforts de réflexion de tous. C'est le grand œuvre du XXI^e siècle.

Quels sont ses moyens ?

L'ASSOCIATION TIERS-MONDE, indépendante de toute institution, n'a pour ressources que le produit des cotisations de ses membres et de ses activités. L'organisation des Journées sur le développement et les publications réalisées les absorbent. Le maintien de ce qui est entrepris, le développement souhaité, voire la création de nouvelles activités, nécessitent un accroissement de son budget et des adhésions.

Quelles sont ses réalisations ?

Depuis 1985 l'Association a organisé chaque année des *Journées Jeunes Chercheurs*, puis, à partir de 1997, des *Journées sur le développement*, sous forme d'un colloque en partenariat avec des universités françaises ou étrangères. Après Mons en Belgique, ces journées se sont tenues en 2008 à l'Université Gaston Berger de Saint Louis du Sénégal, en 2009, en partenariat avec le CREA à l'Université du Luxembourg, en 2010, à Strasbourg avec le BETA-CNRS, puis en 2011 en Suisse, à Fribourg. En 2012, avec le LEO, elles se déroulèrent à Orléans. En 2013 elles ont été organisées avec ERUDITE à l'Université Paris-Est Créteil. L'Université Cadi Ayyad et le GREMID les ont accueillies à Marrakech en 2014, le CREAM et l'Université de Rouen en 2015. Avec le CLERSE et l'Université de Lille 1 elles se tinrent sur le campus de Villeneuve d'Ascq en 2016. L'Université libre de Bruxelles les a reçues en 2017. Enfin, le CREG de l'Université Grenoble Alpes en a assuré le parfait déroulement en 2018.

En janvier 2018, l'Association Tiers-Monde a organisé un premier *workshop* en économie du développement au Cameroun, en partenariat avec les universités de Dschang et du Luxembourg, ainsi que le Laboratoire international associé Inégalités du CNRS. En mars 2019, un second *workshop* s'est tenu en Côte d'Ivoire, en partenariat avec l'université Alassane Ouattara de Bouaké et son Laboratoire d'analyse et de modélisation des politiques publiques et le Centre for Research in Economics and Management de l'Université du Luxembourg.

L'Association Tiers-Monde, depuis fin décembre 1991, assure la diffusion d'un bulletin d'information **FP CONTACT** destiné en priorité à ses membres et fait paraître des ouvrages :

- **François Perroux, penseur de notre temps**, 1992, Nancy, Presses Universitaires de Nancy, 72 pages.
- **Entreprise, région et développement. Mélanges en l'honneur de René Gendarme** (sous la direction de Jean Brot), 1997, Metz, Ed. Serpenoise, 464 pages.
- **Infrastructure et développement** (sous la direction de Jean Brot et Hubert Gérardin), 2001, Paris, L'Harmattan, 306 pages.
- **Quels acteurs pour quel développement ?** (sous la direction de Géraldine Froger, Claire Mainguy, Jean Brot et Hubert Gérardin), 2005, Paris, Karthala, 290 pages.
- **Catastrophe et gouvernance. Succès et échecs dans la gestion des risques majeurs** (sous la direction de Jean Brot, Stéphane Callens, Hubert Gérardin et Olivier Petit), 2008, Belgique, Cortil-Wodon, Éditions Modulaires Européennes, 216 pages.
- **L'État, acteur du développement**, (sous la direction de Fabienne Leloup, Jean Brot et Hubert Gérardin), 2012, Paris, Karthala, 298 pages.
- **L'intégration de l'Afrique dans l'économie mondiale** (sous la direction d'Arnaud Bourgain, Jean Brot et Hubert Gérardin), 2014, Paris, Karthala, 300 pages.
- **Dynamiques des sociétés civiles en économie ouverte. Études de cas et perspectives (Afrique de l'Ouest, Europe, Maghreb)** (sous la direction de Jean-Jacques Friboulet, Jean Brot et Hubert Gérardin), 2015, Paris, Karthala, 266 pages.
- **Mobilités et soutenabilité du développement** (sous la direction de Thierry Montalieu, Jean Brot et Hubert Gérardin), 2017, Paris, Karthala, 352 pages.



Ligne éditoriale

Revue francophone à comité de lecture fondée en 1973 par François Perroux (Collège de France), *Mondes en développement* publie au plan international des contributions en français ou, pour certaines, en anglais. Elle s'intéresse aux différents modes et trajectoires de développement des pays dans le monde, selon des valeurs humaines (économie des ressources humaines, éthique du développement...), économiques (coopérations, mondialisation, sous-développement et pauvreté, dynamiques migratoires...), sectorielles et techniques (industrialisation, agriculture, transferts de technologies...), financières (financement du développement, dette, microfinance...). Une attention particulière est accordée aux enjeux institutionnels (gouvernance) et de la société civile dans une perspective de développement durable. Ouverte sur les approches pluridisciplinaires, *Mondes en développement* veut être un lieu de débats et de réflexions sur les recherches théoriques et appliquées en matière de développement.

BON DE COMMANDE

Mondes en développement

Je soussigné(e), M./Mme

☐ Institution ☐ Particulier

NOM Prénom

Institution

N° TVA

Rue

N° Bte

Code postal

Localité Pays

abonnement annuel 2021 à *Mondes en développement*
(4 numéros l'an),

au prix de 100 € pour les particuliers et 145 € pour les institutions (Frais de port et d'emballage compris pour tous pays).

☐ Paiement à la réception de la facture par chèque ou mandat poste.

☐ J'autorise la société De Boeck Services à débiter ma carte du montant de la facture.

Carte N° / / /

N° CVV*

* Les 3 numéros au dos de votre carte, pour une meilleure sécurité des transactions.

☐ VISA ☐ MASTER CARD ☐ A.E.

Date de validité

Date : Signature

À retourner à

De Boeck Services

Fond Jean-Pâques, 4 • B-1348 Louvain-la-Neuve.

_ +32 10 48 25 11 • _ +32 10 48 25 19 •

abo@deboeckservices.com

Les commandes sont servies après réception du paiement.



Éditée par De Boeck, la revue *Mondes en Développement* est accessible en ligne sur www.cairn.info, portail de plusieurs centaines de revues de sciences humaines et sociales francophones.

- En texte intégral pour les articles de plus de trois ans depuis 2001.

- En accès conditionné : achat d'article en ligne ou en libre consultation pour les universités ayant souscrit un abonnement au bouquet de revues CAIRN.

Mondes en Développement, classée CNRS et HCERES, est indexée par ECONLIT (The American Economic Association's Electronic Bibliography), GEOBASE, IBSS et ZETOC.

 **de boeck**

Derniers numéros parus

2018

181 Économie populaire et développement réel dans les Suds : un état des lieux des savoirs

182 Nouvelles ruralités en quête d'autres développements

183 Varia (échanges commerciaux, institutions, santé)

184 Migrations et institutions

2019

185 De la microfinance à l'inclusion financière

186 L'émergence en question. Marqueurs et dynamiques du développement

187 L'ambiguïté des politiques de santé dans les pays en développement. Les dispositifs de santé marocains en perspective

188 Expériences de développement en Amérique latine : la politique et l'économie

2020

189 Nouvelles régulations minières, nouvelles trajectoires de développement ?

190 Les politiques de l'emploi dans les pays en développement

191 Transition énergétique chinoise : enjeux économiques et urbains

192 Transition énergétique et développement

Rédaction	Conseil de rédaction
Directeur de publication Hubert GÉRARDIN BETA-CNRS Université de Lorraine Faculté de Droit, Sciences économiques et gestion 13, place Carnot CO n° 700 26 F-54035 Nancy cedex Hubert.gerardin@univ-lorraine.fr Rédaction en chef Thierry MONTALIEU thierry.montalieu@univ-orleans.fr Réception des articles Fabienne LELOUP fabienne.leloup@uclouvain-mons.be Evaluation des articles Catherine FIGUIÈRE catherine.figuiere@univ-grenoble-alpes.fr Rubrique veille Internet Bruno BOIDIN bruno.boidin@univ-lille1.fr Géraldine FROGER geraldine.froger@ut-capitole.fr Conseillers de la rédaction : Pierre ENGLEBERT PE004747@pomona.edu André PHILIPPART a_philippart@hotmail.com Secrétaire de rédaction et rubrique notes de lecture Jean BROT jean-brot@orange.fr Responsable rubrique MED il y a 30 ans François DENOËL francois.denoel@laposte.net Finance-comptabilité Laurence ROUDART laurence.roudart@ulb.ac.be	Denis ACCLASSATO (Abomey-Calavi, Bénin), Philippe ADAIR (Paris-Est Créteil Val de Marne), Jérôme BALLEET (Bordeaux), Bruno BOIDIN (Lille 1), Arnaud BOURGAIN (Luxembourg), Jean BROT (Lorraine), Stéphane CALLENS (Artois), Olivier DAMETTE (Lorraine), François DENOËL (Paris-Est), Pierre ENGLEBERT (Pomona College, Los Angeles), Nathalie FABRY (Paris-Est), Catherine FIGUIÈRE (Grenoble Alpes), Jean-Jacques FRIBOULET (Fribourg, Suisse), Géraldine FROGER (Toulouse), Jean-Jacques GABAS (CIRAD et Sciences Po Paris), Hubert GÉRARDIN (Lorraine), Vincent GERONIMI (UVSQ Paris-Saclay), Joseph KAMANDA KIMONA-MBINGA (Ministère de l'Environnement, Canada), Francis KERN (Strasbourg), Marc LABIE (Mons), Michel LELART (Orléans), Fabienne LELOUP (Louvain-Mons), Claire MAINGUY (Strasbourg), Marcel MAZOYER (AgroParisTech), Thierry MONTALIEU (Orléans), Solène MORVANT-ROUX (Genève), André PHILIPPART (Bruxelles), Gautier PIROTTE (Liège), Isabelle RABAUD (Orléans), Laurence ROUDART (Bruxelles), Stéphanie TREILLET (Paris-Est), Sylvain ZEGHNI (Paris-Est).

Collection numérisée des numéros 1 à 120 (1973-2002)

Sur deux CD-Rom

Libre accès, plus de 1200 fichiers, sommaires, articles, notes, documents, résumés, table générale

Prix de vente TTC et frais d'expédition inclus

CD1 (1973-1993) (n° 1 à 44) 300€

CD2 (1984-2002) (n° 45 à 120) 300€

CD1 + CD2 (Collection complète) 580€

Commande à adresser à

Association Mondes en Développement

Laurence ROUDART

Faculté des Sciences sociales et politiques

Université Libre de Bruxelles

CP 124/50

Avenue Franklin Roosevelt

B-1050 Bruxelles

Laurence.Roudart@ulb.ac.be

**1972**Création du BETA
à Strasbourg**1985**Association du
BETA au CNRS**2005**Extension du
BETA en Lorraine**2018**Association du BETA à
AgroParisTech et Inra
(INRAE depuis 2020)

Unité mixte de recherche du CNRS, des universités de Strasbourg et de Lorraine, de INRAE et d'AgroParisTech, le BETA est localisé sur cinq sites : à Strasbourg et Nancy, mais aussi à Metz, Colmar et Mulhouse.

Depuis la création du laboratoire, les recherches conduites au BETA sont orientées par la volonté d'articuler les aspects théoriques et les applications de la recherche en économie et en gestion. Historiquement, le laboratoire s'est construit autour de plusieurs axes de recherche ancrés dans les théories micro et macro-économiques et bénéficie de l'héritage d'une longue tradition en histoire de la pensée économique. Plusieurs thématiques ont marqué son identité : l'économie de l'innovation, la gestion des technologies et des organisations, l'évaluation des actifs environnementaux, l'étude de la relation formation-emploi ou encore l'économie historique. Accompagnant le développement du laboratoire et les évolutions sociales, les thématiques se sont enrichies : l'économie du droit s'est affirmée, l'économie de l'énergie, de la forêt (avec, en particulier, un observatoire pour l'économie de la forêt), et plus largement l'analyse économique des transitions énergétiques, environnementales et démographiques se sont renforcées. Les outils et approches méthodologiques spécifiques, qui ont été progressivement cultivés, constituent aujourd'hui de véritables compétences collectives : modélisation, cliométrie, économétrie, méthodes d'évaluation et de prospective... Dernier en date, le savoir-faire en «Lab experiment» s'adosse à une infrastructure dédiée : le laboratoire d'économie expérimentale de Strasbourg.

Poursuivant des recherches d'excellence dans ses multiples domaines de spécialité, le BETA est particulièrement attentif à la formation et au suivi de ses doctorants. Bénéficiaires de nombreux contrats avec des organismes

publics et des partenaires privés, les chercheurs du BETA destinent leurs travaux à la communauté scientifique, mais aussi aux décideurs et aux citoyens.

L'équipe compte plus de deux cent quarante membres, dont 120 enseignants-chercheurs et chercheurs titulaires, près de 80 doctorants et une vingtaine d'ingénieurs et de personnel administratif. Le laboratoire est animé par un bureau scientifique composé des responsables d'axe et de l'équipe de direction.

BETA Université de Strasbourg 61 avenue de la Forêt Noire 67085 Strasbourg Cedex Tél. : +33 (0)3 68 85 20 69 g.delfabbro@unistra.fr	BETA Université de Lorraine Faculté de droit, sciences économiques et de gestion 13 place Carnot C.O. 70026 54035 Nancy Cedex Tél. : +33(0)3 72 74 20 70 sylviane.unterreiner@univ-lorraine.fr	BETA AgroParisTech 14 rue Girardet CS 14216 54 042 Nancy Cedex Tél. : +33(0)3 83 39 68 67 evelhne.lenel@inrae.fr Tél. : +33(0)3 83 39 68 65 annick.demangejaouen@agroparistech.fr
--	---	--

Site internet : www.beta-umr7522.fr **Twitter :** @beta_economics

Les recherches au BETA

L'activité scientifique du laboratoire est organisée autour de cinq axes de recherche



Les Cahiers de l'Association Tiers-Monde

- N°1, PARIS, 1985, ISMEA-Institut Henri Poincaré (épuisé)
 Les problèmes de la théorie du développement, volume I, 97 pages.
- N°2, NANCY, 1986, CREDES, Faculté de Droit, Sciences (épuisé)
 économiques et Gestion
 Les problèmes de la théorie du développement, volume II, 107 pages.
- N°3, PARIS, 1987, Centre Beaubourg-Georges Pompidou (épuisé)
 Industrialisation et développement, 97 pages.
- N°4, TOULOUSE, 1988, Palais d'Assézat (épuisé)
 L'endettement international, 180 pages.
- N°5, BORDEAUX, 1989, Faculté de Droit (épuisé)
 Innovation et développement, 180 pages.
- N°6, STRASBOURG, 1990, Palais de l'Europe (épuisé)
 L'Europe et le développement des nations, 121 pages.
- N°7, PARIS, 1991, Ministère de la Recherche et de la Technologie
 Monnaie, finance, banque et développement des nations, 206 pages.
- N°8, METZ, 1992, Faculté de Droit
 Effort endogène et développement des nations, 161 pages.
- N°9, LYON, 1993, Université Louis Lumière, Lyon II
 La cité et le développement des nations, 132 pages.
- N°10, NICE, 1994, CEMAFI, Université de Nice-Sophia-Antipolis
 Europe-Afrique : vers quel développement ? 178 pages.
- N°11, PARIS, 1995, Banque de France-Malesherbes
 Les voies du développement durable, 158 pages.
- N°12, ORLÉANS, 1996, LEO, Université d'Orléans
 Quel développement face à la mondialisation ? 162 pages.
- N°13, POITIERS, 1997, IERS, Université de Poitiers
 Les composantes locales, régionales, mondiales du développement des nations.
 Antagonismes ou complémentarités ? 226 pages.
- N°14, BENDOR, 1998, CRERI, Université de Toulon et du Var
 Europe-Méditerranée : vers quel développement ? 222 pages.
- N°15, BÉTHUNE, 1999, EREIA, Université d'Artois
 Infrastructures et développement, 238 pages.
- N°16, EVRY, 2000, Université d'Evry-Val-d'Essonne
 Tertiarisation et développement, 264 pages
- N°17, AIX-EN-PROVENCE, 2001, CEREFI, Université d'Aix Marseille III
 Intégration régionale et développement, 438 pages.
- N°18, TUNIS, 2002, LIEI, Faculté des Sciences Économiques et de Gestion de Tunis
 Libéralisation, transferts de connaissances et développement, 358 pages.
- N°19, PARIS, 2003, GEMDEV, Université Denis Diderot Paris VII
 Quels acteurs pour quel développement ? 222 pages.
- N°20, NANCY, 2004, BETA-Nancy, Faculté de Droit, Sciences Économiques et Gestion
 Droits et développement, 244 pages.
- N°21, MARRAKECH, 2005, CREQ, Faculté de Droit, Sciences Économiques et Gestion
 Formation, emploi et développement, 236 pages.
- N°22, ARRAS, 2006, EREIA, Université d'Artois
 Urgence, solidarité, gouvernance et développement, 190 pages.
- N°23, MONS, 2007, FUCAM, Facultés Universitaires Catholiques de Mons
 L'État malgré tout ? Acteurs publics et développement, 276 pages.
- N°24, SAINT LOUIS DU SÉNÉGAL, 2008, Université Gaston Berger
 Économie de la connaissance et développement, 350 pages.
- N°25, LUXEMBOURG, 2009, CREA, Université du Luxembourg
 Attractivité, gouvernance et développement, 208 pages.

- N°26, STRASBOURG, 2010, BETA CNRS, Université de Strasbourg
Crises et soutenabilité du développement, 272 pages.
- N°27, FRIBOURG (CH), 2011, Université de Fribourg
La construction de la société civile et le développement.
Entre innovation, subsidiarité et développement, 210 pages.
- N°28, ORLÉANS, 2012, LEO, Université d'Orléans
Mobilités internationales, déséquilibres et développement :
vers un développement durable et une mondialisation décarbonée ? 220 pages.
- N°29, CRÉTEIL, 2013, Université Paris-Est Créteil
Économie informelle et développement :
emploi, financement et régulations dans un contexte de crise, 286 pages.
- N°30, MARRAKECH, 2014, GREMID, Université Cadi Ayyad
Éthique, entrepreneuriat et développement, 208 pages.
- N°31, ROUEN, 2015, CREAM, Université de Rouen
Le bilan des Objectifs du Millénaire pour le développement 15 ans après :
réduction de la pauvreté et/ou montée des inégalités ?, 238 pages.
- N°32, LILLE, 2016, CLERSE, Université de Lille 1
Catastrophes, vulnérabilités et résiliences dans les pays en développement, 210 pages.
- N°33, BRUXELLES, 2017, CECID, Université libre de Bruxelles
Agricultures, ruralités et développement, 188 pages.
- N°34, GRENOBLE, 2018, CREG, Université Grenoble Alpes
L'émergence en question. Marqueurs et dynamiques du développement, 186 pages.
- N°35, METZ, 2019, BETA-CNRS, Université de Lorraine
Énergie et développement. Vers une transition énergétique au service du développement, 158 pages.

La consommation des énergies renouvelables en Afrique du Nord

Nadine MOGODE¹

L'énergie est indispensable aux activités économiques et humaines. Elle est une source importante de croissance économique, d'industrialisation et d'urbanisation d'un pays. Mais la croissance de la consommation d'énergie est l'une des causes du réchauffement climatique. Elle accroît les émissions des gaz à effet de serre et est la cause des événements extrêmes (avalanches, élévations du niveau des mers...). Dans ce sens, la facture énergétique également augmente exponentiellement dû à la raréfaction et l'épuisement des fossiles.

Les pays africains possèdent d'un énorme potentiel en énergies renouvelables qui doit être exploité et financé pour le rendre accessible et abordable aux populations (objectif 7, ODD). Le déploiement des énergies renouvelables en Afrique nécessite encore des investissements considérables malgré une diminution des coûts de production. Car les prix de ces énergies vertes sont de plus en plus compétitifs avec la concurrence globale. La situation énergétique en Afrique du Nord est encourageante, le taux d'électrification avoisine les 100% d'où le choix de nos pays d'études comme exemple à suivre. L'Algérie et le Maroc sont couverts à 100% suivie de l'Égypte et la Tunisie (99,8%) et la Libye (99,4%). Les pays d'Afrique du Nord s'améliorent ainsi dans la promotion des énergies renouvelables et l'accompagnement des mesures d'efficacité énergétique. Avec des revenus par tête presque semblables pour l'Égypte, le Maroc et la Tunisie comprise entre 2 785 et 4 304 \$₂₀₁₅/tête (BM, 2017).

L'Égypte, l'un des plus grands pays d'Afrique avec d'abondantes ressources énergétiques : éolienne, hydroélectricité et solaire. Seul des faibles capacités de l'hydroélectricité et le solaire sont exploités. L'Égypte assiste à une demande croissante de l'énergie notamment dans le secteur touristique et la restauration. Selon l'agence internationale de l'énergie (IEA), la consommation énergétique finale en Égypte est respectivement de 47% pour l'industrie, 29% pour les transports, 20% pour les bâtiments, 2% pour l'agriculture et 2% pour les autres secteurs. L'Égypte a lancé en 2014 une stratégie nationale pour diversifier son mix énergétique d'ici à 2035, avec entre autre pour ambition de porter à 42% la part des énergies renouvelables dans la production nationale d'électricité à cet horizon (et à 20% en 2022). À l'heure actuelle, seule l'hydroélectricité est relativement développée (7,2% de la production électrique, 2016) parmi ces filières renouvelables. Selon les estimations les plus ambitieuses de l'agence internationale des énergies renouvelables (IRENA, 2018), la part des énergies renouvelables pourrait dès 2030 être portée à 53% de la production d'électricité et à 22% de la consommation finale d'énergie en Égypte. Avec comme avantage, la réduction de la facture énergétique nationale et la présence d'externalités positives en matière d'environnement et de santé publique. L'Égypte et le Maroc profitent d'une irradiation supérieure à 2 000KWh/m², un potentiel important d'autant plus que les coûts moyens à l'échelle mondiale du solaire photovoltaïque devraient baisser au moins de 50% durant la période allant de 2015 à 2025 (IRENA, 2018). Le potentiel de la biomasse est également sous-estimé dans la stratégie égyptienne.

Au Maroc, 97% de l'énergie consommée provenait de l'importation des combustibles fossiles en 2014 (Banque mondiale, 2015) dû au manque de combustibles fossiles produit localement. En plus de cette forte

¹ Laboratoire d'Économie d'Orléans (LEO). mogodenadine@yahoo.fr

dépendance énergétique extérieure, le Maroc était aussi le seul pays de la région disposant de centrales électriques au charbon (soit 75% de la production globale d'électricité) avec de fortes émissions de dioxyde de carbone. Mais depuis, des efforts ont été fournis notamment l'inauguration à Ouarzazate de l'une des plus grandes centrales solaires au monde, noor solar. Le royaume a ainsi fait passer son taux de couverture énergétique de 48% à 98% en misant sur les énergies renouvelables. En plus de l'énergie solaire, des projets d'exploitation de l'énergie éolienne ont été mis en place au Maroc. Le potentiel éolien du Maroc est abondant avec une capacité d'environ 25 000 MW, seulement 300 MW est produite par l'usine de Tarfaya (Agence marocaine de développement des investissements, 2015). L'énergie hydro-électrique est produite à hauteur de 1770 MW. Avec le développement massif de ces énergies renouvelables, le taux d'électrification provenant des énergies renouvelables a atteint 37% en 2017 et devrait atteindre 52% d'ici 2030. Le Maroc prévoit même exporter son électricité sur les marchés voisins subsahariens notamment ouest africains (Sénégal, Côte d'Ivoire) avec lesquels ils entretiennent de bonne relation de coopération.

En Tunisie les énergies renouvelables sont un levier important du développement durable, mais elles ne représentent à ce jour que 3% du mix énergétique. Importatrice nette d'énergie depuis 2001, la Tunisie pour réduire sa vulnérabilité énergétique doit investir dans les énergies renouvelables (Ben Jebli et Ben Youssef, 2015). La chute du cours du dinar tunisien par rapport à l'euro et la hausse de la dette publique², combinées à un environnement économique et politique marqué par des crises post-électorales, fragilisent le développement durable du pays. Néanmoins, la Tunisie envisage de réduire ses émissions de GES à travers un accroissement de la part des énergies renouvelables estimée à 30% en 2030 (Ministère de l'environnement et du développement durable, 2015).

Dans ce cadre, l'article propose une analyse des facteurs socioéconomiques, institutionnels et environnementaux liés à la consommation des énergies renouvelables. À partir des travaux économétriques portant sur les déterminants de la promotion des énergies renouvelables, nous utilisons un modèle auto régressif à retards échelonnés en Egypte, au Maroc et en Tunisie durant la période de 1990 à 2014. Les résultats nous montrent que les différents facteurs agissant sur le développement des énergies renouvelables exercent des effets qui varient sur le court et le long terme.

1. REVUE DE LA LITTÉRATURE

D'après la revue de la littérature, le déploiement des énergies renouvelables est expliqué par différents facteurs subdivisés en sept catégories : économique, environnementale, politique, réglementaire, sociale, technique et technologique. La contribution des énergies renouvelables à la croissance économique, tout en maintenant durablement la qualité de l'environnement, est mesurée par différentes méthodes économétriques sur des périodes plus ou moins longues.

Sur le plan empirique, les premiers travaux de Kraft & Kraft (1978) ont montré que le produit national brut est la cause de la consommation d'énergie (une causalité unidirectionnelle) aux États-Unis durant la période de 1947 à 1974. Dans ce sens, des politiques énergétiques restrictives peuvent être envisagées sans conséquence sur le niveau de croissance de l'économie. Akarca et Long (1980) ont critiqué ces résultats estimant que la période 1947-1974 est instable puisqu'elle inclut le 1^{er} choc pétrolier de 1973. Ils ont repris cette analyse sur une période plus courte et stable (1950-1968) et ont montrés qu'il n'existe pas de causalité entre le produit Intérieur Brut (PIB) et la consommation d'énergie.

Les travaux d'Apergis et Payne (2010) ont mis en évidence une relation bidirectionnelle entre les énergies renouvelables et la croissance économique à court et à long terme dans les pays de l'Organisation de Coopération et de développement économique (OCDE). Selon eux, la consommation des énergies renouvelables ne contribue pas toujours à réduire les émissions de dioxyde de carbone en raison de leur difficulté de stockage et de leur intermittence. D'où la nécessité du mix énergétique pour pallier aux insuffisances des énergies vertes. Le lien énergie-croissance est ainsi déterminé par quatre hypothèses principales : « l'hypothèse de croissance », « l'hypothèse de conservation », « l'hypothèse de neutralité » et « l'hypothèse de rétroaction » (Apergis et Payne, 2009).

En Afrique, Ben Jebli et Ben Youssef (2017) ont examinés la relation entre la consommation des énergies renouvelables, les émissions de CO₂, le PIB réel, la valeur ajoutée agricole et l'utilisation des terres arables au Maroc au cours de la période 1980-2013. Les résultats montrent une relation à long terme entre ces différentes variables. Toutefois, la consommation des énergies renouvelables est affectée positivement par le PIB et négativement par les émissions de CO₂. Ces mêmes auteurs ont étudiés en Tunisie, durant la période 1980-

² L'euro dépasse la barre de 3,400 Dinars en décembre 2018 et le taux de l'endettement est de 71,7% en 2018.

2009, à travers un modèle ARDL et un modèle vectoriel à correction d'erreur les relations entre les émissions de CO₂ par tête, la consommation d'énergies renouvelables et non renouvelables et le commerce international (importations ou exportations). Dans le court terme, ils notent une relation de causalité unidirectionnelle du commerce, du PIB, des émissions de CO₂ et des énergies renouvelables vers les énergies renouvelables. L'estimation de long terme révèle un impact positif sur les émissions de CO₂ des énergies non renouvelables et du commerce, tandis que les énergies renouvelables impactent fortement et négativement les émissions de CO₂ dans le cas du modèle avec les exportations. Cet impact est statistiquement insignifiant dans le cas du modèle avec les importations.

Da Silva et al. (2018) utilisent la technique des données de panel, à savoir le modèle ARDL sur une période de 15 ans (1990-2014) pour 17 pays africains. Les résultats suggèrent que le développement économique (exprimé par le produit intérieur brut par habitant) et une utilisation accrue d'énergie accélèrent le développement des énergies renouvelables. Toutes les autres variables, le prix des combustibles fossiles, les importations, la croissance démographique, les émissions de CO₂ ont un effet négatif. Les pays d'Afrique subsaharienne, en raison de leur niveau de revenu, ont tendance à surmonter leurs défis énergétiques par des technologies moins chères ou plus rapides et donc, recourent aux combustibles fossiles. En revanche, les dirigeants de ces pays s'intéressent peu ou pas aux problèmes environnementaux. La ratification du protocole de Kyoto ne s'est pas traduite par la promotion des énergies renouvelables en Afrique. Ces pays ont poursuivi leur propre mode de développement insoutenable.

Durant, plusieurs décennies d'études, le débat s'est poursuivi sur ce large éventail de la relation entre énergie-environnement-économie tant pour les pays développés qu'en développement. L'absence de résultats concordants sur le lien entre consommation d'énergie et croissance économique doit être attribuée pour partie à l'hétérogénéité des pays et à la différence de spécification économétrique et d'échantillonnage.

2. MÉTHODOLOGIE

En se basant sur la littérature économique et en prenant en considération la disponibilité des données, nous avons retenu six variables afin d'expliquer le développement des énergies renouvelables, classées en trois grandes catégories : institutionnelles, socioéconomiques et environnementales. Quelques travaux portent sur les pays de l'Afrique subsaharienne. Le nombre limité d'études empiriques sur les déterminants des énergies renouvelables en Afrique du Nord francophone nous a dicté le choix des pays et des variables à analyser. Nous utilisons les données annuelles de 1990 à 2014 pour l'Egypte, le Maroc et la Tunisie. Ces trois pays assurent durant cette dernière décennie leur croissance économique en investissant dans l'agriculture et le tourisme. Cela entraîne une augmentation de la consommation d'électricité et des émissions de CO₂. Le choix de la période 1990-2014 est lié à la disponibilité des données. Notre base de données est issue de celles de la banque mondiale.

En se basant sur la littérature économique et en prenant en considération la disponibilité des données, nous avons retenu six variables afin d'expliquer le développement des énergies renouvelables, classées en trois grandes catégories : institutionnelles, socioéconomiques et environnementales (tableau 1).

Tableau 1 : Description des variables et source des données

Variables	Définition	Unité de mesure	Source	Signe attendu
ERTJ	Consommation d'énergies renouvelables : solaire, vent, bois, géothermie, hydraulique, déchets...	Téra Joules	BM	
GDP	Produit intérieur brut par habitant	dollars américains constants de 2011	BM	positif (effet accélérateur)
ECO2	Emission de dioxyde de carbone par habitant	tonnes métriques par habitant	BM	Positif (mais minima)
FDI	Investissement Direct Etranger	dollars américains constants	BM	positif ou négatif
CORRUP	L'indice de perception de la corruption	Index de 0 à 6 (faible au plus fort)	PRS	Négatif
INT	Intensité énergétique : ratio entre la consommation d'énergie et le PIB.	Joules/PIB en dollars américains constants de 2011	BM	Positif

Source : Banque Mondiale (2017), PRS (2015).

Nous prenons en compte le déterminant institutionnel qui est la corruption. Les variables socio-économiques sont les investissements directs étrangers et la croissance économique. Les facteurs environnementaux sont les émissions de CO₂ et l'intensité énergétique (considérée comme un proxy de la sécurité énergétique). Nous avons déterminé le signe attendu des variables sélectionnées avant les estimations économétriques. Toutes les variables proviennent de la banque mondiale, sauf les données sur la corruption (PRS).

Les travaux d'Aguirre et Ibikunle (2014), ont inclus le PIB par habitant dans leurs modèles explicatifs de la demande en énergies renouvelables (ER). L'hypothèse de base est que les pays à revenu plus élevé sont plus susceptibles de déployer les technologies d'ER car ils peuvent supporter plus facilement les coûts de développement voire les encourager par des incitations économiques. L'utilisation des énergies renouvelables, réduirait le coût de l'électricité en Afrique francophone et influencerait positivement la croissance économique. Nous avons retenu la variable corruption pour rendre compte de la qualité institutionnelle d'un pays et nous avons fait l'hypothèse que cette dernière influence fortement les investissements en énergies renouvelables. Selon Aguirre et Ibunkilé (2014), les technologies d'énergies renouvelables sont relativement coûteuses et ne peuvent être mises en place qu'avec le support des politiques publiques. Cela peut prendre la forme d'instruments de régulation économiques, taxes ou subventions. Daniel Gbetnkom (2012) montre le rôle néfaste que la corruption peut avoir sur les investissements étrangers et locaux. En captant une partie des bénéfices des entreprises en contrepartie de meilleurs services, la corruption jouerait le rôle d'une taxe ; les projets d'éducation, de santé, d'électrification sont ainsi délaissés au profit des projets non-productifs susceptibles de générer une rente pour les gouvernants. Aussi, la corruption accroît l'incertitude sur les investissements et prolonge la durée des procédures (Banque Mondiale, 1997).

Tableau 2 : Statistiques descriptives

Pays	LERTJ		LIDE		LGDP		LECO ₂		LINT		LCORRUP	
	Moy.	Ecart type	Moy.	Ecart type	Moy.	Ecart type	Moy.	Ecart type	Moy.	Ecart type	Moy.	Ecart type
Egypte	11.483	0.136	21.336	1.41	8.942	0.187	0.641	0.222	1.328	0.056	0.741	0.278
Maroc	11.031	0.241	19.809	2.099	8.529	0.205	0.288	0.212	1.237	0.042	1.048	0.12
Tunisie	10.385	0.222	20.247	0.87	8.979	0.222	0.738	0.142	1.398	0.062	0.94	0.181

Source : auteurs, à partir des données de la BM (2017) et PRS (2015). Les variables sont en log.

La variable investissement direct étranger (IDE) a une forte valeur en écart-type pour les 3 pays (tableau 2) exprimant une instabilité dans le temps des investissements étroitement liée à l'instabilité politique (printemps arabe) dans cette région d'Afrique durant la dernière décennie. Les statistiques descriptives nous montrent que la consommation des énergies renouvelables et l'intensité énergétique sont en moyenne approximativement proches dans les trois pays de notre étude.

Nous partons du modèle d'Apergis et Payne (2014), qui spécifie la demande de consommation en énergies renouvelables par tête comme une fonction du produit intérieur brut par tête, des émissions de dioxyde de carbone par tête auxquels nous ajoutons des variables de contrôle. Ces dernières sont composées des investissements directs étrangers, de l'intensité énergétique et de la corruption.

Nous utilisons un modèle Auto Regressive Distributed Lag (ARDL) pour étudier la dynamique de nos variables aussi bien à court terme qu'à long terme comparativement à un modèle VAR. Notre modèle ARDL s'écrit sous sa forme générale :

$$Y_t = \delta + \sum_{i=1}^p \alpha_i Y_{t-i} + \sum_{j=0}^q \beta_j X_{t-j} + \mu_t$$

Où Y est la consommation des énergies renouvelables, X : le vecteur des variables explicatives, p et q : le nombre des retards, δ : la constante, μ : le terme d'erreur, t : de 1990 à 2014.

Les modèles ARDL ont l'avantage de s'appliquer sur des échantillons de petite taille, ce qui est le cas pour notre étude. Selon Harris et Sollis (2003), le problème d'endogénéité est résolu avec cette méthode d'estimation.

D'où le modèle général se présente comme suit :

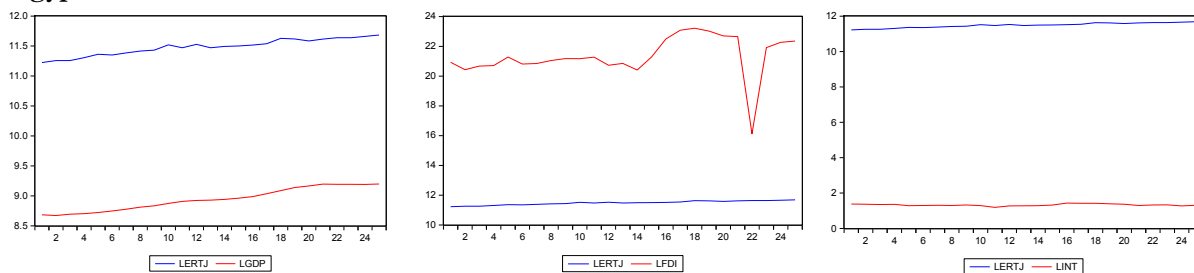
$$\begin{aligned} \Delta LERTJ_t = & \delta + \sum_{i=1}^p \alpha_{1i} \Delta LERTJ_{t-i} + \sum_{i=1}^q \alpha_{2i} \Delta LFDI_{t-i} + \sum_{i=1}^q \alpha_{3i} \Delta LGDP_{t-i} + \\ & \sum_{i=1}^q \alpha_{4i} \Delta LINT_{t-i} + \sum_{i=1}^q \alpha_{5i} \Delta LCORRUP_{t-i} + \sum_{i=1}^q \alpha_{6i} \Delta LECO2_{t-i} + \beta_1 LERTJ_{t-1} + \beta_2 LFDI_{t-1} + \\ & \beta_3 \ln GDP_{t-1} + \beta_4 LINT_{t-1} + \beta_5 LCORRUP_{t-1} + \beta_6 LECO2_{t-1} + \varepsilon_t. \end{aligned}$$

où LERTJ est la consommation d'énergies renouvelables, LFDI les investissements directs étrangers, LGDP le PIB réel, LINT l'intensité énergétique, LCORRUP l'index de la corruption, LECO2 les émissions de CO₂. Les paramètres α_i traduisent les effets à court terme. Les paramètres $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ représentent l'élasticité de long terme des énergies renouvelables par rapport à LFDI, LGDP, LINT, LCORRUP LECO2 respectivement. ε_t , le terme d'erreur.

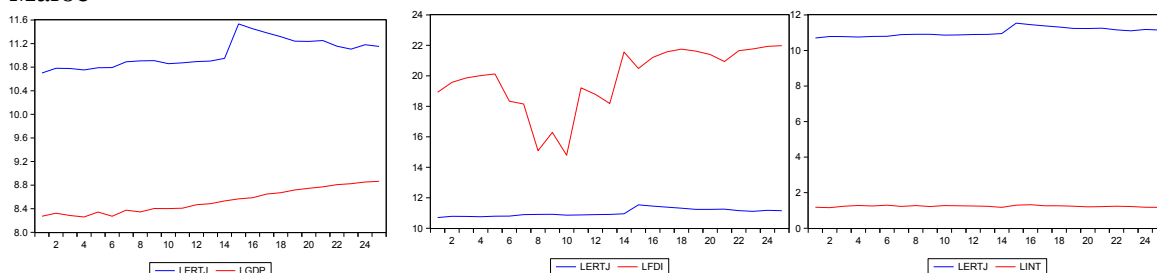
L'analyse graphique des séries en Egypte, au Maroc et en Tunisie de 1990 en 2014 est représentée ci-dessous.

Figure 1 : évolution du PIB par tête, de la consommation des énergies renouvelables, de l'intensité énergétique et des investissements directs étrangers dans les trois pays sélectionnés

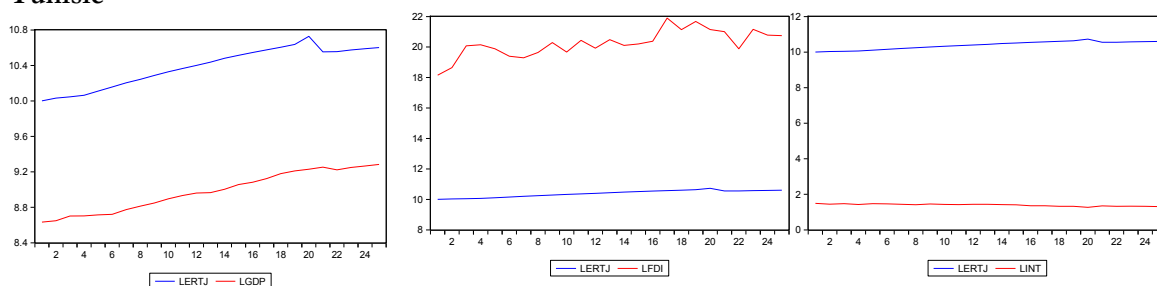
Egypte



Maroc



Tunisie



Source : auteurs, à partir des données de la BM (2017) et PRS (2015).

Ces graphiques confirment que l'évolution de la croissance économique et la consommation des énergies renouvelables suivent la même tendance dans le temps (effet accélérateur). On observe une tendance dans le temps à une légère baisse de l'intensité énergétique dans les trois pays. L'évolution des investissements directs étrangers en Egypte, au Maroc et en Tunisie est fortement instable.

3. RÉSULTATS EMPIRIQUES

Afin de connaître l'ordre d'intégration de nos variables, nous procédons aux tests de racine unitaire de Dickey-Fuller augmenté, (ADF), de Phillips Perron (PP) et de Kwiatkowski, Phillips, Schmidt et Shin (KPSS). Nous vérifions la stationnarité des séries car la plupart des variables sont non stationnaires en niveau dans la réalité (Green, 2002). Les résultats des tests de racine unitaire sont rapportés dans le tableau 3. Ils indiquent que presque toutes les séries sont non stationnaires en niveau mais stationnaires en 1^{ère} différence. Les statistiques des tests ADF, PP et KPSS ont des probabilités supérieures à 5% autorisant de ne pas rejeter l'hypothèse nulle de racine unitaire (non stationnarité) à l'exception de la série LFDI (pour l'Egypte) et LINT (Maroc). Les séries sont intégrées d'ordre 0 et 1. Donc nous pouvons utiliser le test de cointégration de Pesaran et *al.* (2001) s'appliquant dans le cas des séries intégrées d'ordre inférieur à 2.

La cointégration introduite par Granger (1980), permet de déterminer s'il existe ou pas une relation de long terme entre des variables stationnaires. Pour étudier la cointégration des variables dans un modèle ARDL, on utilise le test de cointégration aux bornes de Pesaran et *al.* (2001) ou test de cointégration pour les retards échelonnés. Ce test vaut sur des séries temporelles non stationnaires sans la contrainte du même ordre d'intégration. L'existence d'au moins une relation de cointégration est nécessaire pour attester de l'opportunité et de l'adéquation du modèle vectoriel à correction d'erreur pour voir les effets à court et long terme.

Tableau 3 : Résultats des tests de racine unitaire

PAYS	VARIABLE	ADF		PP		KPSS	
		niveau	diff.1 ^{ère}	niveau	diff.1 ^{ère}	niveau	diff.1 ^{ère}
EGYPTE	LGDP	-1.508	-3.325	-0.356	-2.906*	0.712	0.104
	LERTJ	-1.32	-7.271***	-1.449	-7.418***	0.717	0.137
	LFDI	-4.004		-4.004		0.23	
	LECO2	-1.539	-5.82	-1.574	-5.82	0.682	0.247
	LINT	-2.262	-5.141	-2.262	-5.144**	0.097	
	LCORRUP	-1.562	-3.53**	-1.848	-3.53**	0.299***	
MAROC	LGDP	-0.792	-9.829**	0.746	-9.07**	0.712	0.243***
	LERTJ	-1.665	4.773***	1.677	-4.776***	0.543	0.108***
	LFDI	-1.614	-6.869	-1.5584	-6.673	0.40772	
	LECO2	-1.061	-5.582	-1.097	-5.686	0.7158	0.161
	LINT	-3.235**		-3.19**		0.177**	
	LCORRUP	-0.326	-4.4003	-0.326	-4.388**	0.448**	—
TUNISIE	LGDP	-0.876	-4.261**	-0.865	-4.268**	0.722	0.171**
	LERTJ	-1.622	-5.109**	-1.732	-5.109**	0.681	0.271**
	LFDI	-2.712	-6.813**	0.852	-6.767**	0.629	0.146**
	LECO2	-0.115	-9.883**	-1.158	-10.158**	0.724	0.075**
	LINT	-0.444	-8.935**	-1.170	-9.103**	0.675	0.028
	LCORRUP	-1.598	-5.071**	-1.587	-5.071**	0.380**	—

Notes : *, **, *** indique la signification statistique au seuil de 10%, 5% et 1%, respectivement.

Le test d'hypothèse est le suivant :

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = 0$ Absence de cointégration

$H_1 : \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq \beta_4 \neq \beta_5 \neq \beta_6 \neq 0$ cointégration

La statistique du test calculée, soit la valeur F de Fisher, sera comparée aux valeurs critiques (qui forment des bornes) comme suit :

Fisher > Borne Supérieure : Cointégration

Fisher < Borne Inférieure : Pas de Cointégration

Borne Inférieure < Fisher < Borne Supérieure : Pas de conclusion

Les deux étapes pour appliquer le test de cointégration de Pesaran, qui consiste à déterminer d'abord le nombre de retard optimal puis de tester la cointégration aux bornes, sont détaillées comme suit.

i/ détermination du nombre de retard optimal selon les critères de AIC et SIC

Les critères d'AIC, SC, LR et HQ sont ensuite utilisés pour sélectionner le nombre de retard optimal du modèle. Ce dernier est fixé par parcimonie si les critères de sélection donnent des retards différents.

Pour l'Egypte, le nombre de retard optimal est fixé à 2 selon les critères d'AIC, SC, LR et HQ (annexe 2).

Pour le Maroc, le nombre de retard optimal est fixé à 1 selon les critères de SC et LR par parcimonie (annexe 7). On retient le nombre de décalage optimal à 1 par parcimonie pour la Tunisie (annexe 11).

Après avoir déterminé le nombre de retard optimal, la prochaine étape est de procéder au test de cointégration de test de Pesaran et *al.* (2001) afin d'établir les relations de court et de long terme.

ii/ test de cointégration aux bornes, test de Pesaran et *al.* (2001)

La procédure du test de Pesaran et *al.* (2001) consiste à comparer la F-statistique aux valeurs critiques (ou bornes) inférieures et supérieures au seuil de significativité de 5% et de 1%. La borne inférieure reprend les valeurs des variables intégrés d'ordre 0 et la borne supérieure celle des variables intégrés d'ordre 1.

Les résultats du test de cointégration sont donnés par les tableaux suivants.

Tableau 4 : Résultats du ARDL Bound Test

F- statistique	Egypte		Maroc		Tunisie	
	3.408560		1.208589		5.913179	
	Valeurs Critiques		Valeurs Critiques		Valeurs Critiques	
Seuil de significativité	Borne <	Borne >	Borne <	Borne >	Borne <	Borne >
10%	2.08	3	2.08	3	2.08	3
5%	2.39	3,38	2.39	3.38	2.39	3.38

Source : auteurs, à partir des données de la BM (2017) et PRS (2015).

Selon les résultats du test de cointégration, on rejette l'hypothèse nulle d'absence de cointégration et on conclut l'existence d'une relation de long terme entre les variables du modèle en Egypte (annexe 3). La F-statistique qui est égale à 3.408560 est supérieure aux bornes supérieures au seuil de 10% et 5% (3 et 3.38 respectivement). Pour le Maroc, on ne rejette pas l'hypothèse nulle d'absence de cointégration et on conclut qu'il n'y a pas de relation de long terme entre les variables du modèle (annexe 7). La F-statistique qui est égale à 1.208589 est inférieure aux bornes inférieures au seuil de 10% et 5% (3 et 3.38 respectivement). Ce résultat nous amène à recourir au test de Toda-Yamamoto, basé sur la statistique de Wald. Les résultats du test de cointégration aux bornes de la Tunisie, permettent de conclure qu'il existe une relation de long terme entre les variables du modèle. La F-statistique calculée est égale à 5.913179. Cette statistique est supérieure à la borne supérieure au seuil de 10% et 5% (3,38 et 4,15 respectivement). Par conséquent, on rejette l'hypothèse nulle d'absence de cointégration et on conclut l'existence d'une relation de court et de long terme.

4.1 Les estimations des coefficients à court et long terme

Compte tenu des résultats différents de la cointégration, des caractéristiques, des critères et des niveaux d'implémentation des énergies renouvelables dans ces 3 pays du Maghreb, nous avons estimés séparément l'Egypte, le Maroc et la Tunisie.

Egypte

Le modèle ARDI (1, 0, 0, 0, 1, 0) montre que la force de rappel est significativement négative à travers le terme de correction d'erreur (ECT). Le terme est négatif (-0.65), et significatif à 5%, ce qui permet d'établir un modèle de correction d'erreur, et donc une cointégration entre les variables de long terme. Seules les émissions de dioxyde de carbone sont significatives à court et long terme. Leur impact positif sur la promotion des énergies renouvelables s'explique par le fait que la production de l'éolien, du solaire à l'heure actuelle est encore très faible en Egypte. En 2011, l'augmentation des émissions de dioxyde de carbone dû à la production gazière, va inciter les décideurs politiques à s'orienter vers des projets d'énergies renouvelables.

L'équation de cointégration de long terme peut s'écrire sous la forme de :

$$ECT = LERTJ - (0.0494*LGDP - 0.0921*LINT - 0.0015*LFDI + 0.5137*LECO2 + 0.0045*LCORRUP + 10.88).$$

L'Egypte produisant principalement son énergie à partir du gaz doit diversifier son mix énergétique pour assurer sa transition énergétique. Seulement 4% représentaient la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité nationale (BP Statistical Review of World Energy, 2017). L'Egypte est un pays très peuplé (97 millions d'habitants, 2017) avec forte consommation d'énergie gazière (37% du marché africain), il est nécessaire de mieux spécifier le modèle en introduisant d'autres variables de contrôle.

Tunisie ARDI (1, 0, 1, 0, 0, 0)

Pour la Tunisie, nous vérifions que la force de rappel est significativement négative et comprise entre 0 et 1. Le terme, négatif (-0.388) et significatif à 5%, garantit un mécanisme de correction d'erreur et donc l'existence d'une relation de long terme entre variables. À court terme, la variable émissions de dioxyde de carbone est significatif (-0.6331) ainsi que la croissance économique (0.774105).

L'équation de cointégration de long terme peut s'écrire sous la forme de :

$$EC = LERTJ - (1.9944*LGDP + 1.4243*LINT + 0.0331*LFDI - 1.6311*LECO2 - 0.2549*LCORRUP - 8.7112)$$

À long terme toutes les variables sont significatives sauf les investissements directs étrangers et l'intensité énergétique. L'impact positif à court et à long terme de la croissance économique sur la consommation d'énergie renouvelable en Tunisie confirme la théorie de l'effet accélérateur. Ces résultats confirment que les politiques économiques en Tunisie devraient aborder simultanément la croissance économique et la promotion dans les investissements dans le secteur des énergies renouvelables. L'impact négatif à court et à long terme de la hausse des émissions de CO₂ sur la consommation d'énergie renouvelable valide l'apport des énergies renouvelables dans la stratégie de lutte contre la pollution et le réchauffement climatique.

La corruption a un impact significatif et négatif sur la consommation des énergies renouvelables à long terme en Tunisie. L'impact négatif de la corruption sur la promotion des énergies renouvelables souligne l'importance de la stabilité institutionnelle et de la mise en place de mécanismes de gouvernance assurant la transparence afin de créer un environnement favorable au développement des énergies renouvelables.

Les estimations des coefficients de la régression ARDL pour l'Egypte et la Tunisie sont résumées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Résultats d'estimation des coefficients de court et de long terme

EGYPTE	Variable	Coef.	Prob.	TUNISIE	Variable	Coef.	Prob.
court terme	ECT	-0.65	0.0235	court terme	ECT	-0.388	0.0185
	DLGDP	0.0324	0.9039		DLGDP	0.774105	0.0022
	DLINT	-0.06	0.7156		DLINT	-0.29392	0.245
	DLFDI		0.8569		DLINT(-1)	0.5528	0.131
	DLECO2	-0.0058	0.9623		DLFDI	0.0128	0.391
	DLECO2(-1)	0.3375	0.0818		DLECO2	-0.6331	0.003
	DLCORRU	0.0029	0.9212		DLCORRU	0.0989	0.115
long terme	LGDP	0.0494	0.8788	long terme	LGDP	1.9944	0.0003
	LINT	-0.0921	0.6262		LINT	1.4243	0.1036
	LFDI	-0.0015	0.8289		LFDI	0.0331	0.3347
	LECO2	0.5137	0.0751		LECO2	-1.6311	0.0182
	LCORRUP	0.0045	0.9046		LCORRUP	- 0.2549*	0.0494

Source : auteurs, à partir des données de la BM (2017) et PRS (2015).

Maroc

Au Maroc, on constate une absence de cointégration aux bornes, la F-statistique, égale à 1.208589, est inférieure aux bornes inférieures. On recourt au test de causalité de Toda et Yamamoto (1995) qui est une alternative aux critiques du test de causalité de Granger exigeant que les variables soient stationnaires et cointégrées. Selon ces deux auteurs, il faudrait s'attarder sur les restrictions théoriques plutôt que sur les considérations d'ordre technique faciles à surmonter. Les résultats du test de Toda-Yamamoto sont synthétisés dans le tableau 6 (Cf. annexe 9).

Tableau 6 : résultats du test de causalité de Toda-Yamamoto, Maroc

Variables Dépendantes	Variables causales						Sens de la causalité
	ERTJ	GDP	INT	FDI	ECO2	CORRUP	
LERTJ	-	1,19 (0.55)	1,10 (0.57)	1,30 (0.52)	0,39 (0.82)	0.40 (0.82)	
LGDP	4.22 (0.12)	-	4.59* (0.1)	3.23 (0.19)	3.85 (0.14)	0.82 (0.66)	GDP -> INT
LINT	1.65 (0.43)	2.51 (0.28)	-	2.46 (0.29)	0.69 (0.70)	0.42 (0.80)	
LFDI	0.19 (0.90)	0.49 (0.78)	0.39 (0.82)	-	0.65 (0.72)	0.20 (0.90)	
LECO2	1.30 (0.52)	0.78 (0.67)	3.43 (0.17)	19.55*** (0.000)	-	12.35*** (0.000)	ECO2 -> FDI ECO2 -> COR
LCORRUP	6.32** (0.04)	2.09 (0.35)	3.34 (0.18)	0.35 (0.83)	0.31 (0.85)	-	COR -> ERTJ

Source : auteurs, à partir des données de la BM, 2017 et de la PRS, 2015.

Notes : *, **, *** indique la signification statistique au seuil de 10%, 5% et 1%, respectivement.

D'après ces résultats, aucune variable n'a une influence directe sur la consommation d'énergies renouvelables. Le niveau de croissance économique n'affecte pas la consommation en énergies renouvelables (Carfora et al., 2018). Les investissements directs étrangers et la corruption exercent une influence directe sur les émissions de dioxyde de carbone, tandis que la consommation d'énergies renouvelables cause la corruption. La stratégie de développements durable mise en place au Maroc prend en compte les trois volets : économique, environnemental et social. L'un des objectifs de cette stratégie consiste à réduire l'émission des gaz à effet de serre par la promotion des énergies propres. Le Maroc vient de se lancer dans sa transition énergétique mais un problème de maturité technologique se pose. Les coûts d'investissements et d'entretien élevés de ces énergies se présentent comme des freins financiers à surmonter.

4.2 La validation des tests statistiques de la régression ARDL

Nous vérifions par ces trois principaux tests sur les résidus, que les modèles ARDL que nous avons étudiés pour l'Egypte et la Tunisie satisfont aux conditions de non corrélation, d'homoscedasticité et de normalité des erreurs. Nous pouvons conclure à partir de ces tests, qu'il y a absence d'autocorrélation des erreurs. Les tests de Jarque Bera ou normalité des erreurs nous confirment la distribution normale de nos erreurs. Le test

d'hétéroscédasticité de white nous confirme l'homoscedasticité des erreurs. Nous vérifions ensuite graphiquement si les modèles étudiés sont stationnaires.

Tableau 7 : les tests sur les résidus.

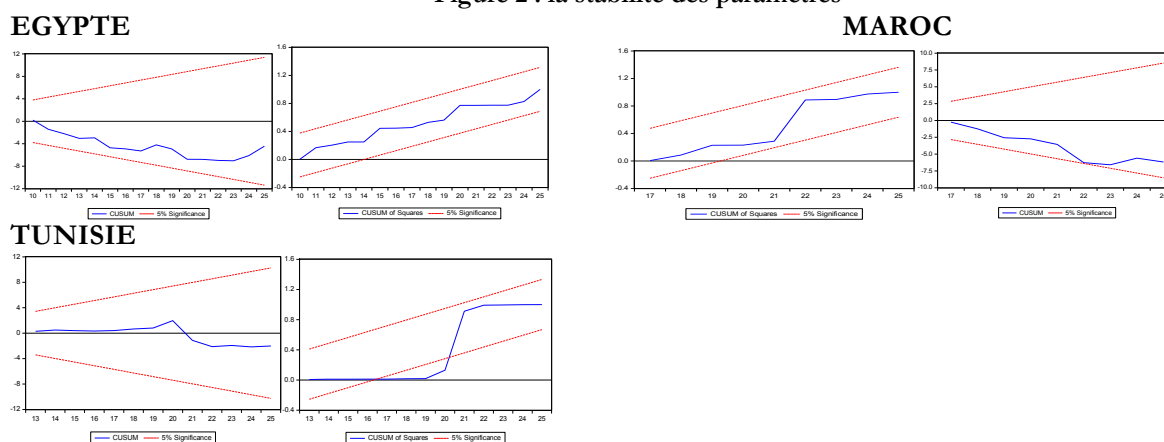
Egypte	F statistique	Prob
Breusch-Godfrey Serial LM	0.0972	0.90
Test de BP GODFREY	0.2146	0.97
Test de Jarque Bera	0.29	0.86
Tunisie		
Breusch-Godfrey Serial LM	1.688146	0.25
Test de BP GODFREY	0.62533	0.72
Test de Jarque Bera	1.95	0.37

Source : auteurs, à partir des données de la BM (2017) et PRS (2015).

4.3 La stabilité des paramètres

La stabilité des paramètres à court et long terme s'étudie par les techniques de CUSUM et CUSUMQ. Elles se fondent sur la somme cumulée et la somme cumulée au carré des résidus récurrents.

Figure 2 : la stabilité des paramètres



Les résultats montrent que les statistiques de CUSUM et CUSUMQ demeurent à l'intérieur de l'intervalle des valeurs critiques au seuil de 5%. Cela implique que les coefficients estimés sont stables dans les pays, étant donné qu'ils sont dans les limites critiques de 5% (à l'exception du cuspide carré de la Tunisie).

CONCLUSION

En plus de la transition démographique et numérique, l'Afrique francophone doit faire face à une transition énergétique. Selon les objectifs de développement durable (ODD), l'objectif 7 est de garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes à un coût abordable à l'horizon 2030. 2/3 de la production électrique en Afrique subsaharienne entre 2008-2014 ont été alimentées par des combustibles fossiles alors que l'Afrique dispose des sources d'énergies renouvelables comme le vent, la biomasse, le solaire et l'hydro-électricité repartie inégalement. Le Sahara reçoit un ensoleillement exceptionnel mais son potentiel reste limité car les populations locales, très pauvres, ne disposent pas de l'expertise dans le développement de ces énergies. L'utilisation des énergies renouvelables pourrait réduire considérablement le coût de l'électricité en Afrique francophone, donc influencer positivement la croissance économique et avoir des conséquences vertueuses sur la qualité de l'environnement. La connaissance de cette causalité permet à un pays d'améliorer l'accessibilité aux services énergétiques, la fiabilité et la disponibilité de l'offre en termes environnementaux et sociaux (Ouedraogo, 2011).

Nos résultats confirment que les politiques d'amélioration de l'efficacité énergétique menées dans ces trois pays depuis plusieurs années contribuent à promouvoir et à faciliter les investissements en énergies propres et à développer les infrastructures énergétiques. Ces financements dans les énergies renouvelables favorisent également la croissance économique et le développement financier dans les pays receveurs. Les principaux obstacles à la transition énergétique sont d'ordres institutionnels, financiers et politiques. Dans la plupart des pays africains où la pauvreté sévit, l'État reste le garant de la stabilité à long terme pour faire face aux

dommages climatiques. Car l'implémentation des politiques gouvernementales qui favorisent le développement du secteur des énergies renouvelables (Apergis et Danuletu, 2014).

Face aux conséquences environnementales du changement climatique accentué dans les pays du Sud, il convient de développer et de diversifier les stratégies d'adaptation. Les projets énergétiques d'interconnexion tels que Desertec au Maroc, « desert to power » au Sahel ou le barrage d'Inga en République démocratique du Congo devraient compenser la demande croissante des populations en énergies et densifier les réseaux énergétiques afin de pallier à la défaillance des infrastructures énergétiques en Afrique.

BIBLIOGRAPHIE

- AGENCE MAROCAINE DE DÉVELOPPEMENT DES INVESTISSEMENTS (2015) Le secteur des énergies renouvelables et l'emploi des jeunes en Algérie, Libye, Maroc et Tunisie, Document de la banque africaine de développement.
- AGUIRRE M., IBIKUNLE G. (2014) Determinants of renewable energy growth: A global sample analysis, *Energy Policy*, 69, 374-384.
- AKARCA A. T., LONG T. V. (1980) On the relationship between energy and GNP: a reexamination, *The Journal of Energy and Development*, 326-331.
- APERGIS N., DANULETIU D. C. (2014) Renewable Energy and Economic Growth: Evidence from the Sign of Panel Long-Run Causality, *International Journal of Energy Economics and Policy*, Econjournals 4(4), 578-587.
- APERGIS N., PAYNE J. E. (2014) Renewable energy, output, CO₂ emissions, and fossil fuel prices in Central America: Evidence from a non-linear panel smooth transition vector error correction model. *Energy Economics*, 42, 226-232.
- APERGIS N., PAYNE J. E. (2010) Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries, *Energy Policy*, 38, 656-660.
- APERGIS N., PAYNE J. E. (2009) Energy consumption and economic growth in Central America: Evidence from a panel cointegration and error correction model, *Energy Economics*, 31, 211-216.
- BANQUE MONDIALE (2017) Indicateurs du développement mondial 2017, Washington, D.C., World Bank.
- BANQUE MONDIALE (1997) Helping countries combat corruption, the role of the World Bank, poverty reduction and economic management, World Bank..
- BEN JEBLI M., BEN YOUSSEF S. (2017) Renewable energy, arable land, agriculture, CO₂ emissions, and economic growth in Morocco. JO MPRA Paper, 76798.
- BEN JEBLI M., BEN YOUSSEF S. (2015) The environmental Kuznets curve, economic growth, renewable and non-renewable energy, and trade in Tunisia, *Renew Sustain Energy Rev*, 47, 173-185.
- BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY (2017) 66^{ème} édition, juin, 52 pages.
- CARFORA A., PANSINI R. V., ROMANO A. A., SCANDURRA G. (2018) Renewable energy development and green public policies complementarities: The case of developed and developing countries, *Renewable Energy*, 115, 741-749.
- DA SILVA P. P., CERQUEIRA P. A., OGBE W. (2018) Determinants of renewable energy growth in Sub-Saharan Africa: Evidence from panel ARDL, *Energy*, 156, 45-54.
- GBETNKOM D. (2012) Corruption and small and medium-sized enterprise growth in Cameroon, African economic conference, Kigali, Rwanda. <https://pdfs.semanticscholar.org/3730/e02b3d078d52cff4e6be320adb21fd604298.pdf>.
- GRANGER C. (1980) Testing for causality: A personal viewpoint, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2(1) 329-352.
- GREENE W. H. (2002) LIMDEP: Version 8.0: Econometric Modeling Guide, Econometric Software.
- HARRIS R., SOLLIS R. (2003) *Applied Time Series Modelling and Forecasting*, editions John Wiley & Sons, 320 pages.
- IRENA (2018) Renewable capacity statistics 2018. IRENA. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2018.pdf.
- IRENA (2018) https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-pt-vue/irena_outlook_egypt_2018.pdf
- KRAFT J., KRAFT A. (1978) On the relationship between energy and GNP, *The Journal of Energy and Development*, 401-403.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE (2015) Contribution prévue déterminée au niveau national, Tunis, août.
- ORGANISATION DES NATIONS UNIES (2015) Objectifs de développement durable, Rapport 2015, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/>
- OUÉDRAOGO N. (2011) Les défis énergétiques et le développement socioéconomique de l'Afrique sub-saharienne: pauvreté et vulnérabilité énergétiques, variation des prix des hydrocarbures et développement socio-économique des pays importateurs pauvres, Thèse de doctorat en Sciences économiques dirigée par J.-M. Chevalier, Paris 9, 410p.
- PESARAN M., SHIN Y., SMITH R. J. (2001) Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships, *Journal of Applied Econometrics*, vol. 16, n° 3, 289-326 (<http://dx.doi.org/10.1002/jae.616>).
- PRS Group (Political Risk Services) (2015) International Country Risk Guide (ICRG), East Syracuse, NY, USA; <http://www.prsgroup.com/>.
- TODA H. Y., YAMAMOTO T. (1995) Statistical Inference in Vector Autoregressions with Possibly Integrated Processes, *Journal of Econometrics*, vol. 66, 225-250 ([http://dx.doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01616-8](http://dx.doi.org/10.1016/0304-4076(94)01616-8)).

ANNEXES

PAYS 1 : EGYPTE

Annexe 1

	LERTJ	LGDP	LFDI	LECO2	LINT	LCORRUP
Moyenne	11.48396	8.942484	21.33665	0.641022	1.328570	0.741357
Médiane	11.50013	8.928153	21.17351	0.693144	1.323748	0.693147
Maximum	11.68302	9.198247	23.21406	0.927495	1.432862	1.386294
Minimum	11.22393	8.671915	16.11810	0.279733	1.191132	0.405465
Ecart type	0.136265	0.187829	1.410560	0.222655	0.056377	0.278719
Skewness	-0.369830	0.058554	-1.815395	-0.268796	-0.009329	1.281577
Kurtosis	2.066635	1.624950	8.591716	1.699894	2.985550	3.967727
Jarque-Bera	1.477359	1.983831	46.30201	2.061752	0.000580	7.819016
Probabilité	0.477744	0.370866	0.000000	0.356694	0.999710	0.020050
Somme	287.0991	223.5621	533.4161	16.02556	33.21425	18.53393
Sum Sq. Dev.	0.445634	0.846716	47.75229	1.189808	0.076282	1.864420
Observations	25	25	25	25	25	25

Annexe 2 :

Included observations: 23

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	87.37579	NA	3.41e-11	-7.076155	-6.779939	-7.001658
1	198.2342	154.2379	5.71e-14	-13.58559	-11.51208	-13.06410
2	258.0721	52.03290*	1.57e-14*	-15.65844*	-11.80764*	-14.68997*

Annexe 3

F-Bounds Test Null Hypothesis: No levels relationship

Test Statistic	Value	Signif.	I(0)	I(1)
Asymptotic: n=1000				
F-statistic	3.408560	10%	2.08	3
k	5	5%	2.39	3.38
		2.5%	2.7	3.73
		1%	3.06	4.15

Annexe 4

ARDL Long Run Form and Bounds Test

Dependent Variable: D(LERTJ)

Selected Model: ARDL(1, 0, 0, 0, 1, 0)

Case 2: Restricted Constant and No Trend

Date: 04/03/19 Time: 16:47

Sample: 1 25

Included observations: 24

Conditional Error Correction Regression				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	7.153241	2.439180	2.932641	0.0098
LERTJ(-1)*	-0.657007	0.262356	-2.504256	0.0235
LGDP**	0.032428	0.264232	0.122725	0.9039
LINT**	-0.060521	0.163178	-0.370893	0.7156
LFDI**	-0.000980	0.005345	-0.183282	0.8569
LECO2(-1)	0.337501	0.181756	1.856893	0.0818
LCORRUP**	0.002936	0.029204	0.100544	0.9212
D(LECO2)	-0.005894	0.122855	-0.047973	0.9623

* p-value incompatible with t-Bounds distribution.

** Variable interpreted as $Z = Z(-1) + D(Z)$.

Levels Equation				
Case 2: Restricted Constant and No Trend				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LGDP	0.049357	0.318721	0.154860	0.8789
LINT	-0.092117	0.185489	-0.496618	0.6262
LFDI	-0.001491	0.006788	-0.219670	0.8289
LECO2	0.513695	0.269845	1.903667	0.0751
LCORRUP	0.004469	0.036737	0.121653	0.9047
C	10.88762	2.680384	4.061964	0.0009
EC = LERTJ - (0.0494*LGDP -0.0921*LINT -0.0015*LFDI + 0.5137*LECO2 + 0.0045*LCORRUP + 10.8876)				

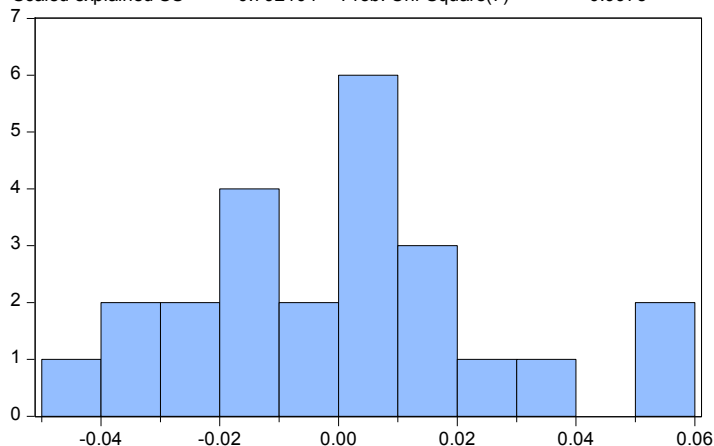
Annexe 5

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:
Null hypothesis: No serial correlation at up to 2 lags

F-statistic	0.097263	Prob. F(2,14)	0.9079
Obs*R-squared	0.328902	Prob. Chi-Square(2)	0.8484

Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey
Null hypothesis: Homoskedasticity

F-statistic	0.214674	Prob. F(7,16)	0.9767
Obs*R-squared	2.060547	Prob. Chi-Square(7)	0.9564
Scaled explained SS	0.792104	Prob. Chi-Square(7)	0.9975



Series: Residuals
Sample 25
Observations 24

Mean -1.70e-15
Median 0.001353
Maximum 0.052613
Minimum -0.049895
Std. Dev. 0.026045
Skewness 0.236402
Kurtosis 2.729864

Jarque-Bera 0.296518
Probability 0.862208

Tableau de corrélation

	LFDI	LGDP	LECO2	LINT	LCORRUP
LFDI	1	0.27311304...	0.29086951...	0.29372303...	-0.1327817...
LGDP	0.27311304...	1	0.95988214...	0.06302005...	-0.4677867...
LECO2	0.29086951...	0.95988214...	1	0.12329874...	-0.5094660...
LINT	0.29372303...	0.06302005...	0.12329874...	1	-0.0805487...
LCORRUP	-0.1327817...	-0.4677867...	-0.5094660...	-0.0805487...	1

PAYS 2 : MAROC

Annexe 6

	LERTJ	LGDP	LFDI	LECO2	LINT	LCORRUP
Moyenne	11.0317418	8.529150	19.80945	0.288831	1.237641	1.048528
Médiane	10.9114914	8.485494	20.12711	0.256514	1.239792	1.098612
Maximum	11.5340840	8.864871	21.98326	0.632290	1.320203	1.098612
Minimum	10.7004815	8.259305	14.79077	-0.055238	1.158270	0.693147
Ecart type	0.24161788	0.205552	2.099439	0.212648	0.042473	0.120241
Skewness	0.49733231	0.271274	-1.023872	0.086937	-0.150411	-2.209799
Kurtosis	2.03238876	1.649440	3.198069	1.610137	2.329467	6.349689
Jarque-Bera	2.00586376	2.206634	4.408844	2.043698	0.562614	32.03465
Probabilité	0.36680244	0.331769	0.110313	0.359929	0.754797	0.000000
Somme	275.793545	213.2288	495.2362	7.220776	30.94103	26.21319
Sum Sq. Dev.	1.40110090	1.014039	105.7835	1.085263	0.043295	0.346990
Observations	25	25	25	25	25	25

Annexe 7

VAR Lag Order Selection Criteria

Endogenous variables: LERTJ LGDP LINT LFDI LECO2 LCORRUP

Exogenous variables: C

Date: 04/02/19 Time: 23:24

Sample: 1 25

Included observations: 23

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	104.0830	NA	7.97e-12	-8.528955	-8.232739	-8.454457
1	204.5491	139.7789*	3.30e-14	-14.13470	-12.06119*	-13.61322
2	254.6289	43.54768	2.12e-14*	-15.35903*	-11.50823	-14.39057*

* indicates lag order selected by the criterion

Annexe 8

ARDL Long Run Form and Bounds Test

Dependent Variable: D(LERTJ)

Selected Model: ARDL(1, 1, 1, 0, 0, 0)

Case 2: Restricted Constant and No Trend

Date: 04/03/19 Time: 17:35

Sample: 1 25

Included observations: 24

Conditional Error Correction Regression				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.560633	12.47046	0.044957	0.9647
LERTJ(-1)*	-0.400965	0.233317	-1.718545	0.1063
LGDP(-1)	0.357088	1.394412	0.256085	0.8014
LINT(-1)	0.540985	1.846323	0.293007	0.7735
LFDI**	0.009488	0.014977	0.633505	0.5359
LECO2**	-0.092802	1.181658	-0.078535	0.9384
LCORRUP**	-0.053770	0.263198	-0.204294	0.8409
D(LGDP)	2.603943	1.189235	2.189595	0.0448
D(LINT)	2.668652	1.329097	2.007869	0.0630

* p-value incompatible with t-Bounds distribution.

** Variable interpreted as $Z = Z(-1) + D(Z)$.

Levels Equation Case 2: Restricted Constant and No Trend				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LGDP	0.890570	2.535586	0.351229	0.7303
LINT	1.349206	3.229858	0.417729	0.6821
LFDI	0.023662	0.027721	0.853596	0.4068
LECO2	-0.231446	2.285305	-0.101276	0.9207
LCORRUP	-0.134101	0.545589	-0.245790	0.8092
C	1.398208	24.90101	0.056151	0.9560

$$EC = LERTJ - (0.8906*LGDP + 1.3492*LINT + 0.0237*LFDI - 0.2314*LECO2 - 0.1341*LCORRUP + 1.3982)$$

F-Bounds Test		Null Hypothesis: No levels relationship		
Test Statistic	Value	Signif.	I(0)	I(1)
Asymptotic: n=1000				
F-statistic	1.208589	10%	2.08	3
k	5	5%	2.39	3.38
		2.5%	2.7	3.73
		1%	3.06	4.15
Finite Sample: n=35				
Actual Sample Size	24	10%	2.331	3.417
		5%	2.804	4.013
		1%	3.9	5.419
Finite Sample: n=30				
		10%	2.407	3.517
		5%	2.91	4.193
		1%	4.134	5.761

Annexe 9

VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald Tests

Date: 04/04/19 Time: 00:19

Sample: 1 25

Included observations: 23

Dependent variable: LERTJ

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
LGDP	1.190525	2	0.5514
LINT	1.103315	2	0.5760
LFDI	1.301164	2	0.5217
LECO2	0.392481	2	0.8218
LCORRUP	0.400105	2	0.8187
All	6.871698	10	0.7375

Dependent variable: LGDP

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
LERTJ	4.225405	2	0.1209
LINT	4.591009	2	0.1007
LFDI	3.233889	2	0.1985
LECO2	3.851164	2	0.1458
LCORRUP	0.824027	2	0.6623
All	24.50386	10	0.0064

Dependent variable: LINT

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
LERTJ	1.651841	2	0.4378
LGDP	2.516899	2	0.2841
LFDI	2.465341	2	0.2915
LECO2	0.695255	2	0.7064
LCORRUP	0.421950	2	0.8098
All	24.72855	10	0.0059

Dependent variable: LFDI

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
LERTJ	0.195577	2	0.9068
LGDP	0.490398	2	0.7825
LINT	0.393573	2	0.8214
LECO2	0.652245	2	0.7217
LCORRUP	0.208500	2	0.9010
All	9.670313	10	0.4699

Tableau de Corrélation

	LGDP	LINT	LFDI	LECO2	LCORRUP
LGDP	1	-0.2367506...	0.67643286...	0.97480466...	-0.5873552...
LINT	-0.2367506...	1	-0.2497836...	-0.0411984...	0.27806044...
LFDI	0.67643286...	-0.2497836...	1	0.65357291...	-0.4118664...
LECO2	0.97480466...	-0.0411984...	0.65357291...	1	-0.5271804...
LCORRUP	-0.5873552...	0.27806044...	-0.4118664...	-0.5271804...	1

PAYS 3 : TUNISIE**Annexe 10**

	LFDI	LGDP	LECO2	LINT	LCORRUP
LFDI	1	0.78067049...	0.76626143...	-0.7273822...	-0.6125249...
LGDP	0.78067049...	1	0.97556068...	-0.9187802...	-0.6219570...
LECO2	0.76626143...	0.97556068...	1	-0.8939107...	-0.5918350...
LINT	-0.7273822...	-0.9187802...	-0.8939107...	1	0.58307152...
LCORRUP	-0.6125249...	-0.6219570...	-0.5918350...	0.58307152...	1

Annexe 11

VAR Lag Order Selection Criteria

Endogenous variables: LERTJ LGDP LINT LFDI LECO2 LCORRUP

Exogenous variables: C

Sample: 1 25

Included observations: 23

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	153.3919	NA	1.09e-13	-12.81669	-12.52047	-12.74219
1	264.4111	154.4615*	1.81e-16*	-19.34010	-17.26659*	-18.81861
2	306.7983	36.85842	2.27e-16	-19.89550*	-16.04470	-18.92704*

* indicates lag order selected by the criterion

Annexe 12

ARDL Long Run Form and Bounds Test

Dependent Variable: D(LERTJ)

Selected Model: ARDL(1, 0, 1, 0, 0)

Case 2: Restricted Constant and No Trend

Date: 04/05/19 Time: 19:54

Sample: 1 25

Included observations: 24

Conditional Error Correction Regression				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-3.381219	1.677148	-2.016053	0.0609
LERTJ(-1)*	-0.388148	0.148104	-2.620787	0.0185
LGDP**	0.774106	0.212863	3.636636	0.0022
LINT(-1)	0.552857	0.348150	1.587987	0.1319
LFDI**	0.012846	0.014581	0.881022	0.3913
LECO2**	-0.633103	0.185457	-3.413752	0.0036
LCORRUP**	-0.098940	0.059498	-1.662918	0.1158
D(LINT)	-0.293922	0.243787	-1.205652	0.2455

* p-value incompatible with t-Bounds distribution.

** Variable interpreted as $Z = Z(-1) + D(Z)$.

Levels Equation				
Case 2: Restricted Constant and No Trend				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LGDP	1.994358	0.431161	4.625553	0.0003
LINT	1.424346	0.825290	1.725874	0.1036
LFDI	0.033096	0.033271	0.994739	0.3347
LECO2	-1.631086	0.620514	-2.628606	0.0182
LCORRUP	-0.254902	0.112161	-2.272645	0.0372
C	-8.711161	4.680033	-1.861346	0.0812

$$EC = LERTJ - (1.9944*LGDP + 1.4243*LINT + 0.0331*LFDI - 1.6311*LECO2 - 0.2549*LCORRUP - 8.7112)$$

F-Bounds Test Null Hypothesis: No levels relationship

Test Statistic	Value	Signif.	I(0)	I(1)
Asymptotic: n=1000				
F-statistic	5.913179	10%	2.08	3
k	5	5%	2.39	3.38
		2.5%	2.7	3.73
		1%	3.06	4.15
Finite Sample: n=35				
Actual Sample Size	24	10%	2.331	3.417
		5%	2.804	4.013
		1%	3.9	5.419
Finite Sample: n=30				
		10%	2.407	3.517
		5%	2.91	4.193
		1%	4.134	5.761

Annexe 13

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:

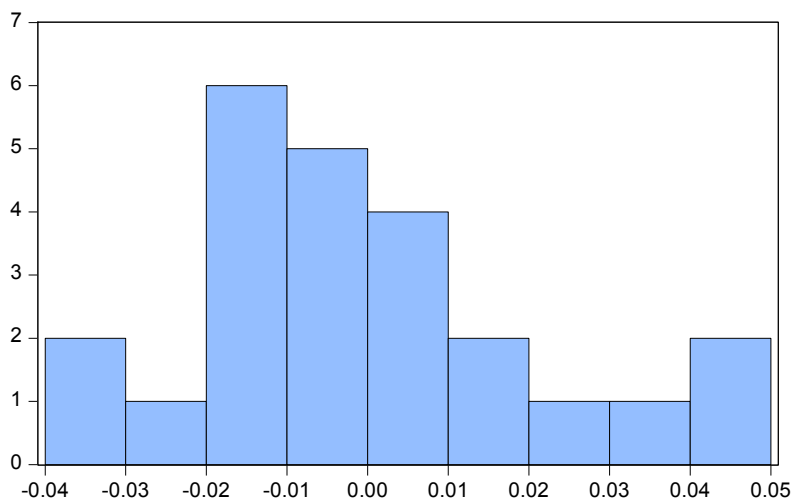
Null hypothesis: No serial correlation at up to 2 lags

F-statistic	1.520659	Prob. F(2,14)	0.2526
Obs*R-squared	4.283216	Prob. Chi-Square(2)	0.1175

Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey

Null hypothesis: Homoskedasticity

F-statistic	0.625330	Prob. F(7,16)	0.7283
Obs*R-squared	5.155509	Prob. Chi-Square(7)	0.6410
Scaled explained SS	2.158412	Prob. Chi-Square(7)	0.9506



Series: Residuals

Sample 2 25

Observations 24

Mean -1.07e-15
 Median -0.002664
 Maximum 0.049950
 Minimum -0.035035
 Std. Dev. 0.022162
 Skewness 0.695967
 Kurtosis 2.883976

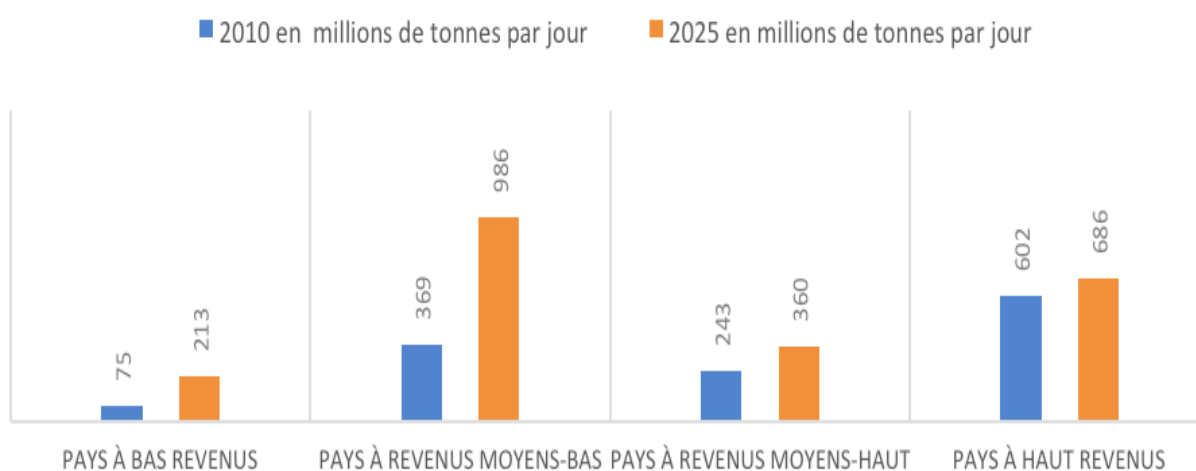
Jarque-Bera 1.950943
 Probability 0.377014

L'énergie renouvelable source de valeur pour l'Afrique. Cas de la Côte d'Ivoire et du Burkina Faso

Josiane GNASSOU¹

L'état sur les déchets peut être envisagé sous un angle international. Il s'articule autour de la différence entre les zones géographiques du monde : Nord, Sud et pays émergents. Dans l'ensemble de ces zones géographiques, la quantité de déchets sera différente en fonction du niveau de vie des populations.

Figure 1 : Projections 2025 de la production de déchets urbains



Source : World Bank 2012 cité par Cave et Campana (2015, 20).

Une grande partie de l'énergie produite aujourd'hui dans le monde (plus de 80%) provient de gisements de combustibles fossiles (charbon 29%, pétrole 31%, gaz 21% ou d'uranium 5%). La part des énergies renouvelables dans la fourniture d'énergie mondiale est de 10% (Vernier, 2017). Or l'épuisement des ressources naturelles est un enjeu mondial dont les effets sont visibles. Si tous les pays sont concernés par cette problématique, elle se décline différemment dans une même zone géographique. En fonction des caractéristiques de chaque quartier, de chaque groupe de population, l'une ou l'autre des solutions sera privilégiée (Durand, 2012).

Les ressources naturelles sont vitales pour l'ensemble des populations. De nouveaux modèles économiques se développent pour répondre à ce problème. C'est le cas de l'économie circulaire. Selon le Ministère de la transition écologique et solidaire, elle permet de rompre avec le modèle de l'économie

¹ Institut Saint Jude d'Armentières. gnassou@ymail.com

linéaire “extraire”, “fabriquer”, “consommer”, “jeter”. Les ressources assurent l'équilibre de l'écosystème, la sauvegarde de notre environnement et participent à la croissance économique. En Afrique les populations adoptent des processus de consommation plus modernes. Ces nouvelles habitudes de consommation engendrent de nouveaux types de déchets. Pour Kaza et *al.* (2012, 82) la quantité totale de déchets générés dans les pays à faible revenu devrait augmenter de plus de trois fois d'ici 2050. Les travaux de la Banque mondiale (2012) permettent de constater qu'en l'absence de système de collecte et de traitement approprié, ces déchets contamineront et dégraderont les cours d'eau et les écosystèmes pour des centaines, voire des milliers d'années. Cette assertion est valable pour les autres régions du monde. Ces propos sont confirmés par l'analyse de Desachy 2011, 5-7). Il se base sur les éléments des ressources naturelles et les êtres vivants. Cette démarche lui permet de constater que les impacts négatifs ou positifs sur l'un des éléments affectent l'ensemble du système.

Cette crise nécessite des réponses immédiates et durables. L'utilisation des énergies renouvelables constitue l'une des solutions pour résoudre ce problème. Les énergies renouvelables ont pour avantages de pouvoir être produites sur place et à un coût limité pour l'environnement. Il existe deux filières : l'une sans combustibles (hydraulique, solaire, éolien, géothermie), l'autre avec (biomasse et cogénération fossile) (Collard, 2015). Une diversité de ressources contribue à la valorisation de l'ensemble de ces filières : le soleil, le vent, les chutes d'eau, la croissance des végétaux, la chaleur de la terre. À cela il convient d'ajouter les “déchets urbains et ruraux renouvelables”. L'utilisation des déchets urbains et ruraux renouvelables est l'une des solutions pour réduire la prolifération des déchets dans l'écosystème, protéger la santé des populations surtout les plus vulnérables.

Pour Emelianoff (2007), la notion de développement durable est appropriée par les acteurs d'une manière très inégale selon les villes et les régions en fonction des initiatives locales mais aussi du travail de traduction opéré par certaines associations et institutions environnementales. Le point commun de l'ensemble des parties prenantes s'articule autour de la transition énergétique qui permet de couvrir les besoins croissants et de réduire les effets des activités humaines sur l'environnement. Le développement autosuffisant est un développement qui stimule la capacité à satisfaire localement les besoins fondamentaux (Fontan Sers, Loubet Duthil et Pecastaing, 2016). Le principal reproche qui a souvent été fait aux énergies renouvelables serait (sauf pour la géothermie) d'être consommatrices, voire dévoreuses d'espace. Un deuxième handicap est le caractère intermittent de certaines énergies renouvelables, notamment le soleil ou le vent, qui ne se transportent pas et ne se stockent pas (Vernier, 2017). C'est pourquoi nous avons décidé de mener notre étude sur les déchets qui sont produits au quotidien par l'ensemble des parties prenantes : ménages, industriels, artisans, associations, institutions et reste du monde... Lorsqu'ils ne sont pas traités, ils constituent un danger public et contribuent à la dégradation lente ou rapide de l'humain et de l'environnement.

Le déchet est une réalité qui ne date pas d'aujourd'hui : « la pollution entraînée par les déchets mal gérés existait déjà... dès la préhistoire » (Pichat, 1995, 22). Le déchet est une invention humaine dont la catégorie économique et juridique naît à la fin du XIX^e siècle. La logique de transmission des biens aux autres générations engendrait un usage durable des objets. Un rapport de la Banque Mondiale de 2012, intitulé *"What a Waste : A Global Review of Solid Waste Management"*, prévoit une augmentation d'ici 2025. Ce volume passera de 1,3 milliard de tonnes par an aujourd'hui à 2,2 milliards, l'essentiel de la hausse provenant des villes à forte croissance des pays en développement⁴. Cette augmentation de la production humaine des déchets correspond à une hausse de plus de 70% en 13 ans (Cave et Campana, 2015, 13). « Les déchets ancestraux font l'objet de travaux de recherches, d'exposition historiques et scientifiques. Ce qui subsiste des déchets de nos ancêtres préhistoriques fait aujourd'hui le bonheur des archéologues... le peuplement humain était alors peu important et l'incidence sur l'environnement probablement... minime » (Balet 2005, 3).

La création de déchets découle de toute activité humaine : primaire, secondaire et tertiaire. « Les hommes, créent continuellement de nouveaux types de produits (sur quatre-vingt mille substances utilisées en Europe, environ trois cents nouvelles molécules sont mises chaque année sur le marché), qui vont, eux aussi, en fin d'utilisation, devenir des déchets » (Pichat, 1995, 25). La production des déchets par habitant dans différentes zones géographiques est donnée par le tableau 1.

⁴ Plateforme re-sources. Education et sensibilisation, 3, 33p., www.plateforme-re-sources.org.

Tableau 1 : Quantité annuelle de déchets par habitant

Zones	Productions	Auteurs
Afrique	Entre 180 et 240 kg/habitant	Thonart et Diabate (2005)
Tunisie	213 kg/habitant	Thonart et Diabate (2005)
Tunis	320 kg/habitant	Thonart et Diabate (2005)
Algérie	Entre 91 000 et 130 000 kg/j	Cheniti (2014)
Centre de stockage Nkoloulou (Yaoundé)	1 200 000 kg/j	Ngnikam et al. (2016)
Accra (Ghana), 2004	De 1 200 000 kg/j à 430 000 000 kg/an	Quenot (2010)
Ouagadougou (Burkina Faso)	250 000 000 kg/an	Quenot (2010)
Abidjan (Côte d'Ivoire), 2000	0,98 kg/ha/j	Soro et Ouattara (2010)
Côte d'Ivoire	Abidjan : 0,9 kg/j Grande ville autre qu'Abidjan : 0,8 kg/j Villes moyennes : 0,75 kg/j Petites villes : 0,5 kg/j Campements : 0,2 kg/j	Agence Nationale de l'environnement (2001), cité par Gilbert (2006)
Côte d'Ivoire (1990-1996)	761 178 000 kg à 982 220 000	Sané (2002) cité par Aya (2012)
Nouakchott (Mauritanie)	0,35 kg/habitant	Aloueimine (2005)
Niamey (Niger)	400 000 kg/j	Tini (2003)
Cotonou (Bénin)	0,6 kg	Gbinlo (2010)
Abomey Calvi (Bénin)	0,89 kg/habitant	Topanou (2012)
Nairobi (Kenya)	En moyenne 0,56 kg/j en 2000 Quartiers aisés 0,65 kg/j en 2000	Merino (2007)

Source : revue de la littérature.

1. LES ENJEUX DE L'ÉNERGIE RENOUVELABLE DANS LES PED

L'énergie est une monnaie d'échange universelle dans la nature, la technique et l'économie (Clément et Papon, 2010). L'usage de l'énergie renouvelable est incontournable dans le processus de développement des pays en développement (PED). Le développement des zones rurales, la démographie galopante en Afrique et l'urbanisation croissante mettent en évidence la question de l'équité de la distribution des ressources énergétiques. Nous constatons que les pays en voie de développement ont d'importants besoins énergétiques pour assurer leur décollage économique et le bien-être de leurs populations alors qu'on prévoit une augmentation de la population mondiale (probablement 9 milliards d'habitants en 2050) et que 1,5 milliards d'habitants de la planète n'ont pas encore d'accès direct à l'électricité. Certaines populations en Afrique n'y ont pas accès. Pourtant, l'Afrique est riche en sources d'énergie, fournissant environ 19% de la production mondiale de combustibles fossiles : un chiffre qui contraste avec ceux de la consommation énergétique. Les populations africaines ne consomment que 3,2% de l'énergie primaire mondiale, ce qui est la consommation par habitant la plus faible par continent (Cantoni et Musso, 2017). Si l'Afrique n'a pu réaliser la révolution industrielle et celle des NTIC, elle regorge de multiples atouts pour valoriser aux niveaux local et international l'énergie renouvelable. Ce challenge est possible par la révolution verte. Cette dernière combine plusieurs facteurs : un marché et des ressources importantes ainsi que le savoir technique. L'Afrique dispose en abondance des deux premiers. Une révolution à l'image des objectifs, techniques, politiques et besoins des pays. Une révolution qui ne se base pas uniquement sur le secteur primaire (agriculture ...). Concernant le savoir technique, il est nécessaire pour l'Afrique de travailler en partenariat afin de bénéficier du transfert de technologies. Elle doit mettre en place le cadre juridique et développer sa capacité d'optimisation des projets pour accompagner cette révolution. Toutes les énergies renouvelables ne doivent pas être béatement considérées comme ne présentant aucun risque environnemental : les risques de déforestation dus à l'usage abusif du bois, les attentes aux paysages causées par certaines éoliennes, les inconvénients de certains barrages hydroélectriques, sont autant de freins possibles au développement de certaines énergies renouvelables (Vernier, 2015). Elle doit également soutenir et encadrer les initiatives locales dans ce domaine.

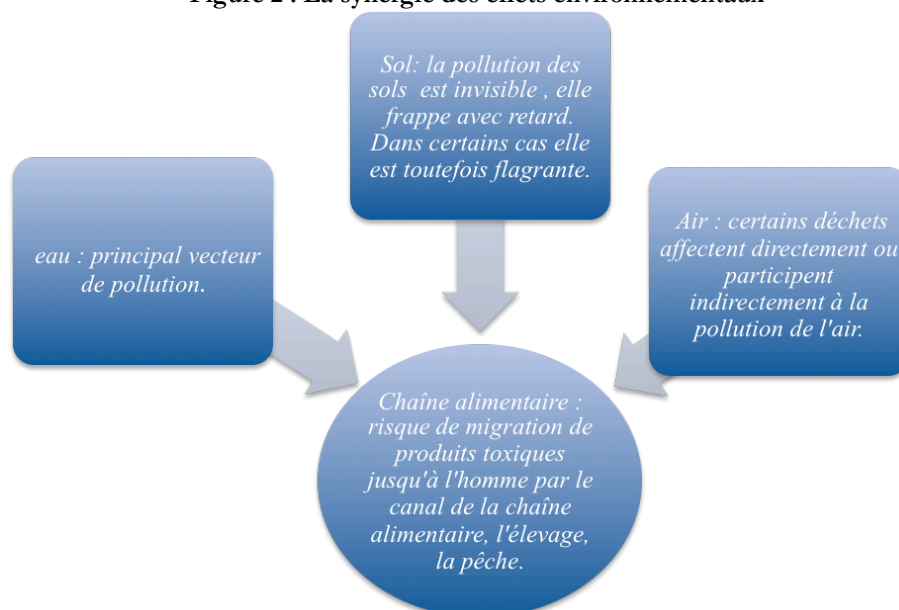
L'énergie peut-être une solution à la problématique du chômage qui entraîne de fortes vagues de migration de jeunes africains à la recherche d'une vie meilleure en mettant en péril leur vie. Ce secteur favorise la création d'emplois. À titre d'exemple en France, d'après le SER (Syndicat des énergies renouvelables), dans le secteur des énergies renouvelables, si les objectifs sont tenus, 200 000 emplois supplémentaires seront créés pour atteindre 300 000 postes en 2020 (Meunier, 2008). Pour la banque mondiale, l'énergie

rend possible les investissements, les innovations et l'apparition de nouveaux secteurs⁹. De plus, l'investissement dans l'énergie renouvelable permettra à l'Afrique d'éviter de passer par une phase de croissance énergivore et polluante comme ce fut le cas des pays industrialisés (Avadikyan et Mainguy, 2016). L'énergie renouvelable semble être l'unique opportunité pour l'Afrique d'accéder au développement (Ouédraogo, 2011). De nombreux ménages utilisent encore le bois comme source d'énergie. Pourtant ces pays regorgent d'énergies renouvelables notamment des déchets. Le développement de cette filière nécessite la mise en valeur de l'économie durable. Une économie qui se fonde sur les valeurs humaines et la préservation des ressources naturelles (Gacha, Affessi et Assi, 2018). En effet, les crises actuelles montrent les limites du capitalisme. Les auteurs justifient leur critique à l'égard du capitalisme en s'appuyant sur ses quatre sources principales d'indignation :

- Source de désenchantement et d'inauthenticité,
- Source d'oppression, en tant qu'il s'oppose à la liberté, à l'autonomie et à la créativité des êtres humains
- Source de misère et d'inégalités
- Source d'opportunisme et d'égoïsme, destructeurs des liens sociaux et des solidarités communautaires (Saule, 2003).

L'enjeu réside également dans la recherche de satisfaction croissante des parties prenantes en ressources énergétiques. La question des décharges sauvages et incontrôlées demeure centrale dans toutes politiques de gestion des déchets. Elle matérialise les limites des pouvoirs publics dans la gestion des déchets urbains (Onibokun, 2001 ; Ngnikam et Tanawa, 2006) et ruraux face à la croissance des populations, au développement de la consommation et à la multiplication et la diversité des déchets. Au niveau des ménages, cela peut être analysé comme un manque de civisme, une gestion autonome et anarchique de leurs déchets en raison du passage limité des professionnels de la collecte lié à l'inaccessibilité de certaines zones. Concernant les acteurs informels, cela met en évidence le manque de coordination avec les acteurs publics, le manque de formation et de moyens. Quant aux entreprises, la présence de décharges sauvages constitue une solution simple et peu coûteuse pour se débarrasser de leurs déchets. Ces décharges sauvages sont riches en matières sanitaires, industrielles, alimentaires, administratives. Ces déchets se retrouvent généralement sans traitement formel dans les différents marchés. L'ensemble des acteurs adopte chacun un comportement de « *Free-rider* » en raison de la défaillance du système de gestion. Les techniques de recyclages archaïques mettent en danger les acteurs du secteur informel particulièrement les enfants qui travaillent au quotidien dans les différents sites au profit des grossistes. Certains y demeurent jusqu'à l'âge adulte. Ces techniques exposent le reste de la population à des risques sanitaires. Il existe de plus en plus une nature variable de maladies et le développement de nouvelles formes de maladies (Callens et Bendaoud, 2017). Celles-ci sont certainement liées à la prolifération des déchets qui affecte l'ensemble de l'écosystème.

Figure 2 : La synergie des effets environnementaux



Source : Desachy (2011).

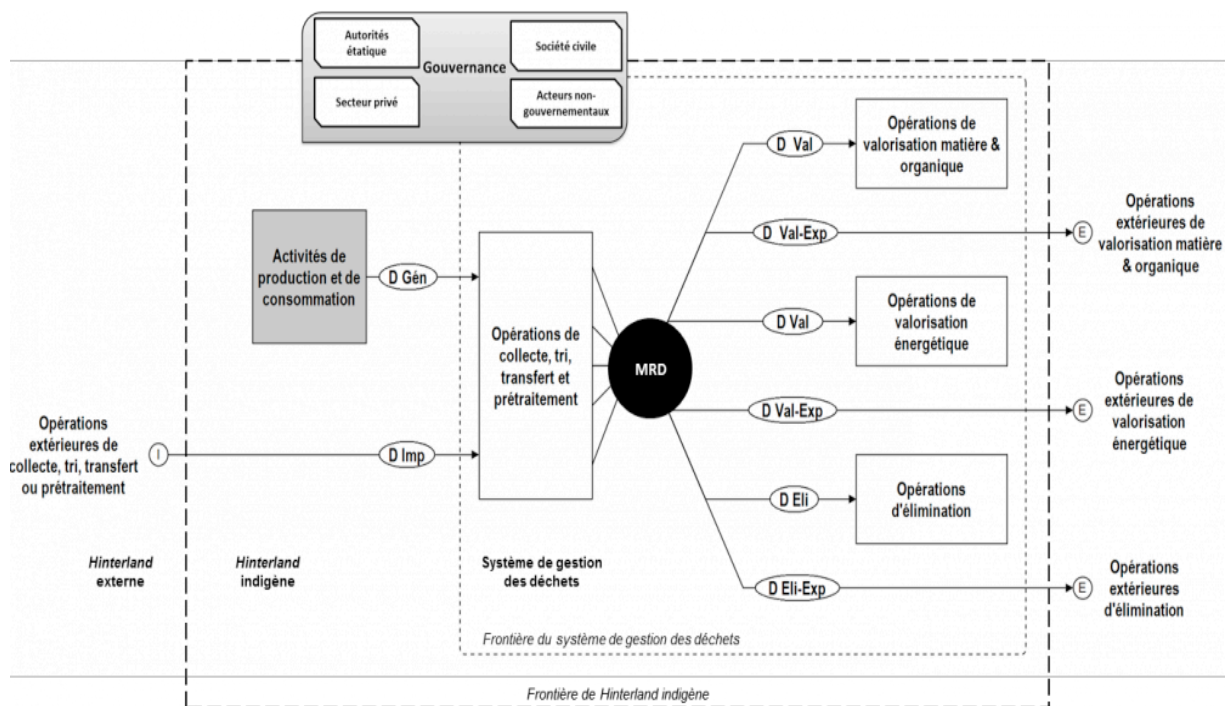
⁹ Banque mondiale. L'énergie. Banquemondial.org.

Après l'élimination des décharges aucun système de dépollution n'est mis en place et ces sites sont réinvestis en espaces commerciaux, logements et deviennent parfois des espaces de jeux pour les enfants. Durand (2012) propose l'hypothèse suivante : en lieu et place de dépenser leurs ressources financières et humaines à faire la chasse aux systèmes illégaux, les municipalités des pays en développement auraient tout intérêt à concentrer leurs efforts sur une meilleure articulation entre les systèmes formels et informels. À la suite de cet auteur nous énonçons l'hypothèse ci-après : une gestion résiliente et solidaire des ressources urbaines et rurales renouvelables permettra de réduire les décharges sauvages.

Le caractère complexe des ressources renouvelables permet de comprendre qu'il ne s'agit pas uniquement de copier des modèles issus d'autres pays, mais d'adapter les techniques aux réalités locales. Le processus de biomasse qui se développe dans certains pays d'Afrique comme la Côte d'Ivoire peut être source de danger pour les forêts. Or le couvert végétal de la Côte d'Ivoire se réduit à grande vitesse depuis les années 1960 jusqu'à ce jour en raison du trafic illicite du commerce du bois et l'utilisation du bois ou charbon de bois comme principale source d'énergie par les ménages et les acteurs du secteur informel dans le cadre de leurs activités. Quel est le modèle d'énergie renouvelable le plus adapté aux réalités de nos zones géographiques ? Nous proposons comme solution un modèle de gestion résilient et solidaire.

Notre propos se justifie à travers l'assertion de Deleuil et Berdier (2006). Selon eux la gestion des déchets en Europe a évolué au cours du temps. Ils distinguent ainsi un système archaïque, où le terme même de déchets n'existait pas puisque ceux-ci étaient systématiquement valorisés, un système hygiéniste depuis la révolution industrielle qui conduit à la destruction systématique des déchets et, enfin, un système économique depuis la prise de conscience écologiste, où le recyclage permet de redonner une valeur monétaire aux déchets. Cette typologie temporelle de la gestion des déchets en Europe est bien distincte de la typologie spatiale. Au niveau de l'Afrique, les acteurs visent le profit au détriment de la protection de l'environnement. Le système archaïque est combiné au système économique. Les résultats de nos travaux de recherche mettent en évidence un manque de culture du recyclage dans le processus de transformation des déchets en énergie renouvelable.

L'ensemble des opérations liées à la gestion des déchets n'est pas maîtrisée dans les PED : collecte, transfert, tri et prétraitement, valorisation matière et organique, valorisation énergétique, élimination et transport. Le cas de la décharge d'Akouédo en Côte d'Ivoire illustre parfaitement nos propos (Sangaré et *al.*, 2016).

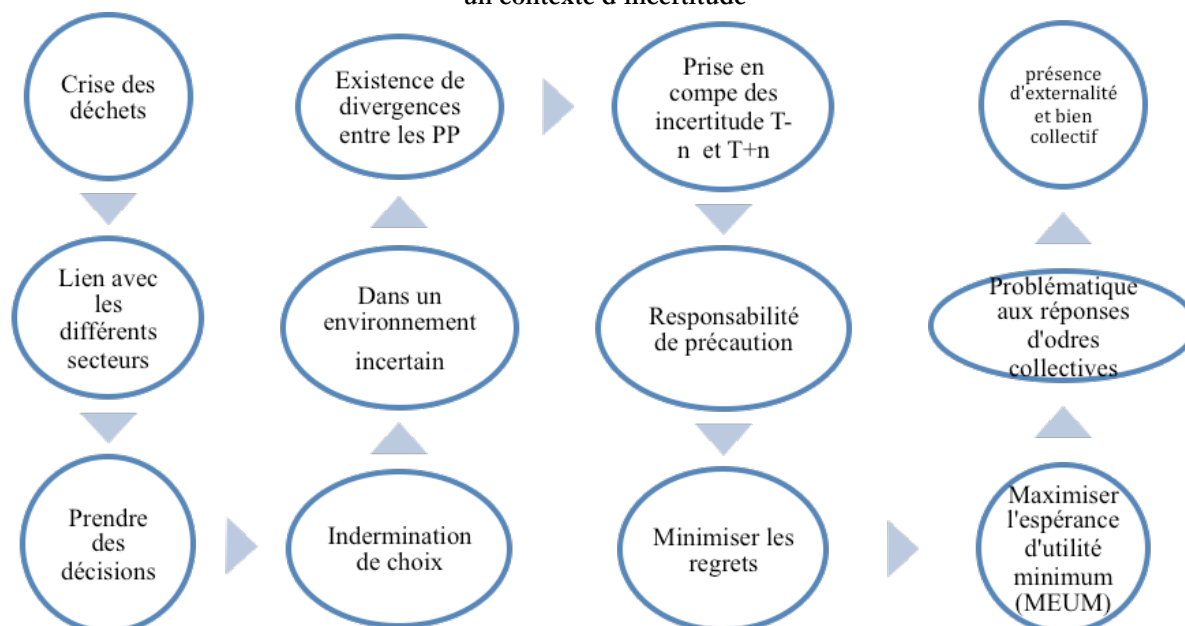


Source : Bergeron (2015).

La présence d'incertitude dans un contexte de récurrence de la crise des déchets complique le choix des décisions. Existe-t-il une décision optimale pour faire face aux défis des déchets en environnement instable ? Le défi que tous les pays sont appelés à relever consiste à mettre en œuvre une transition vers un

système énergétique plus sûr et moins émetteur de CO₂ sans entraver le développement économique et social (Omri, 2016).

Figure : Conceptual framework des travaux de recherche sur la prise de décisions environnementaux dans un contexte d'incertitude



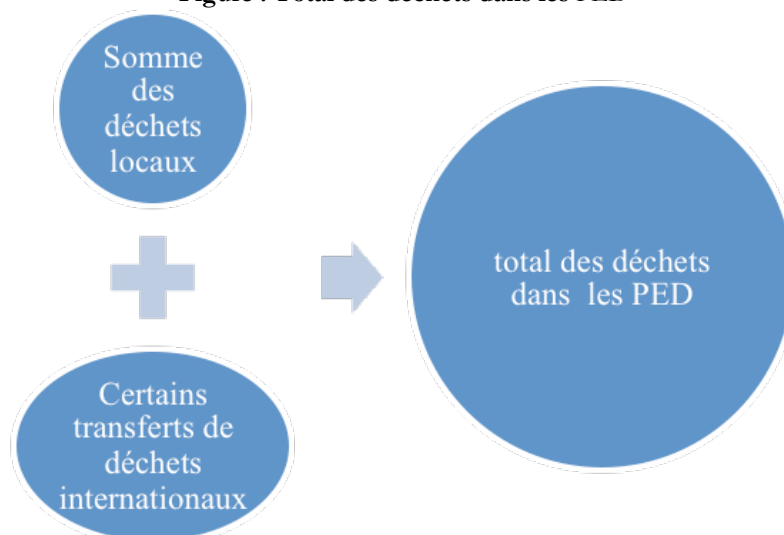
Source : Arnaud et *al.* (2009).

2. MÉTHODOLOGIE

Cette méthodologie se basera sur une étude comparative de l'usage des énergies renouvelables dans nos deux zones géographiques : la Côte d'Ivoire et le Burkina Faso. Cette première phase de notre article s'articule autour de la culture du recyclage dans nos différentes zones qui est importante dans le processus de réalisation d'énergies renouvelables.

La crise environnementale dans les PED traverse une phase de transition entre le développement et paroxysme-basculement. Ces différentes phases s'alternent en fonction du contexte sociopolitique. Selon le modèle de Roulmann et *al.* (2006, 7) ce processus laisse toujours des séquelles : même dans le cas d'un retour à la normale, il reste toujours une impression et/ou une présence, un souvenir dans l'esprit des personnes et dans l'environnement. Nous appliquerons ce modèle à nos zones d'étude. Ce modèle permet d'établir la relation suivante par rapport à la typologie des déchets dans les PED.

Figure : Total des déchets dans les PED



La typologie des déchets dans les PED et le modèle de la viabilité basé sur la théorie de la viabilité (Durand et *al.*, 2012, 273, 281) nous permettent de proposer les variables suivantes :

P : population	C : consommation
K : capital manufacturé	N : taux de croissance de la population
S : ressource épuisable	Y : taux de croissance de la consommation par personne
R : ressource totale extraite par période	Z : indicateur de niveau d'équité

On pose :

K : capital manufacturé par personne ($K = K/P$)

C : consommation par personne ($C = C/P$)

R : Quantité de ressource extraite par personne ($R = R/P$)

S : quantité de ressource disponible par personne ($S = S/P$)

S0 : quantité de ressource initiale disponible par personne

SB : quantité de ressources par personne garantie à toutes les générations

CB : consommation minimale garantie à toutes générations.

Nous proposons les variables suivantes :

TD : typologie de déchets

P : population

R : revenu

Z : zone

C : collecte

M : méthode

E : effet

En : effet négatif

Ep : effet positif

Dv : déchet valorisable

Dnv : déchet non Valorisable

ER : énergies renouvelables

T = traitement des déchets

R = Recyclage

v = valorisation des déchets

Nous posons alors :

TD : typologie des déchets ($Dv + Dnv$)

Dv : déchets valorisable (R/P)

E : effet ($C+M$)

Ep : effet positif (Dv/Dvn)

En : effet négatif (Dvn/Dv)

$Dv = T+R$

$Dv = ER$

3. RÉSULTAT DES ENQUÊTES TERRAIN

Pour mener cette étude, nous nous sommes référés aux travaux de Botta, Berdier et Deleuil (2002) pour le cas de la Côte d'Ivoire relatifs à la propreté dans une grande ville d'Afrique centrale : le cas de Yaoundé au Cameroun. Ces travaux s'adaptent bien à la situation ivoirienne. Cette étude s'articule autour de quatre axes principaux : 1/ Aperçu de la ville ; 2/ Collecte des ordures histoire d'un échec ; 3/ les acteurs de la propreté urbaine (cf. nos enquêtes) ; 4/ Gestion des ordures (cf. nos enquêtes). Concernant le Burkina Faso nous nous sommes appuyés sur des ressources de responsables d'ONG investis dans le domaine de la collecte. Le questionnaire a été soumis à 301 usagers en juillet 2015 en zones urbaine (Abidjan) et rurale (Yamoussoukro) et en juillet 2016 au Burkina Faso.

- Les habitants sont fragilisés par une série de crises politiques « La lassitude politique des dix années de crise militaro-politique et surtout la crise postélectorale, l'absence du FPI et de la LMP aux municipales, le manque de professionnalisme et la gestion gérontocratique voire pseudo-monarchique des partis ont réduit le capital de confiance entre partis politiques et citoyens » (Kouadio, Kra, Koffi, 2016, 115).

- La seule grande décharge est régulièrement fermée : « l'influence de la décharge d'Akouédo sur la contamination des eaux environnantes par les éléments traces métalliques (Cd, Pb, Cu, Zn, Fe et Co) et les risques sanitaires pour l'Homme ont été évalués respectivement à partir des indices de pollution de décharge (LWPI : *Landfill Water Pollution Index*) et de risque (HI : *Hazard Index*) » (Sangaré et al., 2016, 279). D'autres décharges sauvages se situent à proximité des commerces, maternités, habitations, écoles. De multiples agents interviennent dans ce circuit : « Les acteurs publics et formels restent généralement impliqués dans la collecte et la gestion de celles-ci, tandis que les acteurs informels et semi-formels interviennent dans la pré-collecte et le recyclage » (Böni, Müller, et Wittmann, 2012, 1).

- Le logement, la précarité et surtout la stabilité politique occupent une place centrale dans les débats.

En Côte d'Ivoire l'enquête a été administrée dans la capitale politique (Cité Cafop à Yamoussoukro) et économique (dans les quartiers de Williamsville, Cocody et dans le village de Yopougon Kouté). Cette stratégie permet de mettre en relief l'importance de trouver des solutions au niveau local pour répondre à ce phénomène national. Celui-ci se manifeste à travers : la prolifération de décharges sauvages dans l'ensemble des quartiers, des pratiques de recyclage dangereuses pour les collecteurs et les autres parties prenantes, diverses activités commerciales (alimentation, transport...) qui se développent dans cette atmosphère chaotique. Les usagers interrogés étaient diversifiés (intellectuels, analphabètes, chrétiens, musulmans...) pour mesurer la sensibilité de chaque sphère de la société. Notre enquête a commencé le premier juillet 2015 à Adjamé, un quartier précaire de la capitale économique, Abidjan. Ce choix est symbolique, cette commune est un carrefour commercial pour l'ensemble du pays. Quant au Burkina Faso, l'analyse sur le terrain était basée sur la revue de littérature : dossier mission à Ouagadougou juillet 2015 (direction de la propreté, direction de l'attractivité et des relations internationales), direction de la propreté 2012 du Burkina Faso, politique et stratégie nationale d'assainissement (conseil des Ministres 2007), ressources du centre d'information CIFAL, les ressources documentaires du centre francophone de recherche sur l'assainissement, les déchets et l'environnement, les travaux de la plateforme Re-source (réseau pour une gestion durable des déchets solides).

L'enquête au Burkina Faso a été réalisée par des étudiants volontaires. Les zones de l'investigation sont les suivantes : 1 200 logements, Saaba, Bobo, Dassasgho, Wentenga, Songnoaba. L'âge des enquêtés varie entre 14 et 85 ans.

*Âges des personnes

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	1	3	0,6	0,7	0,7
	14	1	0,2	0,2	1
	15	5	1,1	1,2	2,1
	16	6	1,3	1,4	3,6
	17	15	3,2	3,6	7,1
	18	17	3,6	4	11,2
	19	25	5,3	6	17,1
	20	20	4,3	4,8	21,9
	21	15	3,2	3,6	25,5
	22	19	4	4,5	30
	23	15	3,2	3,6	33,6
	24	21	4,5	5	38,6
	25	13	2,8	3,1	41,7
	26	8	1,7	1,9	43,6
	27	13	2,8	3,1	46,7
	28	22	4,7	5,2	51,9
	29	12	2,6	2,9	54,8
	30	18	3,8	4,3	59
	31	7	1,5	1,7	60,7
	32	13	2,8	3,1	63,8
	33	10	2,1	2,4	66,2
	34	6	1,3	1,4	67,6
	35	15	3,2	3,6	71,2
	36	11	2,3	2,6	73,8
	37	6	1,3	1,4	75,2
	38	6	1,3	1,4	76,7
	39	2	0,4	0,5	77,1
	40	11	2,3	2,6	79,8

	41	4	0,9	1	80,7
	42	11	2,3	2,6	83,3
	43	6	1,3	1,4	84,8
	44	4	0,9	1	85,7
	45	9	1,9	2,1	87,9
	46	2	0,4	0,5	88,3
	47	3	0,6	0,7	89
	48	5	1,1	1,2	90,2
	49	3	0,6	0,7	91
	50	6	1,3	1,4	92,4
	51	3	0,6	0,7	93,1
	52	6	1,3	1,4	94,5
	53	1	0,2	0,2	94,8
	54	1	0,2	0,2	95
	55	1	0,2	0,2	95,2
	56	2	0,4	0,5	95,7
	57	2	0,4	0,5	96,2
	58	2	0,4	0,5	96,7
	60	3	0,6	0,7	97,4
	61	1	0,2	0,2	97,6
	62	1	0,2	0,2	97,9
	63	2	0,4	0,5	98,3
	65	2	0,4	0,5	98,8
	66	2	0,4	0,5	99,3
	79	1	0,2	0,2	99,5
	83	1	0,2	0,2	99,8
	85	1	0,2	0,2	100
	Total	420	89,4	100	
Missing	System	50	10,6		
Total		470	100		

***Professions des enquêtés**

Quelle est votre profession ?					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Cadres	85	18,1	18,6	18,6
	Employés	67	14,3	14,7	33,3
	Commerçants	41	8,7	9	42,2
	Étudiants	117	24,9	25,6	67,8
	Autres	147	31,3	32,2	100
	Total	457	97,2	100	
Missing	System	13	2,8		
Total		470	100		

***Ramassage des déchets**

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Oui	304	64,7	67	67
	Non	149	31,7	32,8	99,8
	3	1	0,2	0,2	100
	Total	454	96,6	100	
Missing	System	16	3,4		
Total		470	100		

Tableau 2 : Fréquence de collecte hebdomadaire des déchets ménagers
***Opinion des personnes par rapport à la régularité de la collecte**

Nombre de fois par semaine					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	1 fois	174	37	54,7	54,7
	2 fois	82	17,4	25,8	80,5
	3 fois	28	6	8,8	89,3
	4 fois	2	0,4	0,6	89,9
	5 fois et plus	31	6,6	9,7	99,7
	7	1	0,2	0,3	100
	Total	318	67,7	100	
Missing	System	152	32,3		
Total		470	100		

Tableau 3 : Pratique du tri des déchets par les ménages
***Variables concernant les attitudes des enquêtés**

Triez-vous vos déchets ménagers ?					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Oui	103	21,9	23,3	23,3
	Non	340	72,3	76,7	100
	Total	443	94,3	100	
Missing	System	27	5,7		
Total		470	100		

CONCLUSION

Le déchet à une double facette : il pollue et peut être considéré parfois comme une valeur. La qualité du déchet évolue avec le temps (Pichat, 1995). Il constitue à court et long terme un gisement de capital dans le processus d'urbanisation. Cette perte de valeur est en effet relative : les terrils constitués à partir des déchets des mines de charbon du Nord de la France sont devenus, un siècle plus tard, un remblai de qualité, apprécié pour construire des autoroutes ; des déchets d'épluchures envoyés en décharge à New York sont dans la banlieue du Caire une nourriture donnée aux moutons... (Pichat, 1995) L'énergie renouvelable est une triple opportunité pour l'Afrique : un atout pour le développement économique et social, une solution au changement climatique et un stimulateur d'un développement respectueux de l'écosystème (Quenault, 2020). La prise en compte de cette stratégie dans sa transition sociétale lui permettra de freiner certains risques épidémiques qui entraînent des morts prématurées. De plus elle pourra préserver ses ressources naturelles.

BIBLIOGRAPHIE

- ALOUÉIMINE S. O. (2005) Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : *contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision*, Thèse Chimie et Microbiologie de l'eau, Université de Limoges, 195 p.
- AYA G. D. (2012) *Gouvernance et gestion des déchets ménagers urbains à Abidjan cas des communes de Cocody, Yopougon et Abobo*, Thèse Sociologie, Université Laval Québec, 404 p.
- ARNAUD A., DAVOINE P.-A., GONOD P.-F., LABOUZE E., BETON A., CHEVE M., CONGAR R. (2009) Approche cartographique et géo visualisation pour représentation de l'incertitude. hal.inria.fr
- AVADIKYAN A., MAINGUY C. (2016) Accès à l'énergie et lutte contre le changement climatique : opportunités et défis en Afrique Subsaharienne. Présentation, *Monde en développement*, tome 44, n° 176, 7-24.
- BALET J.-M. (2005) *Aide-mémoire-gestion des déchets*, Paris, Dunod, 4^{ème} éd., 313p.
- BANQUE MONDIALE (2012) Déchets : quel gâchis 2.0 : un état des lieux actualisé des enjeux de la gestion des ordures ménagères. Banquemondiale.org.
- BANQUE MONDIALE. (2012) L'énergie. Banquemondiale.org.
- BAYON D., LEVRATTO N. (2009) *Faire l'économie des déchets ou quand les dépenses publiques font les profits privés*, ALBANIA, 16p.
- DELEUIL J.-M., BERDIER C. (2006) Le système Ville-Déchets, une mise en perspective historique, E. Dorier-Apprill. *Ville et Environnement*, Sedes, halshs-01144039

- BERGERON F. (2015) Déchets, *Sciences et Techniques*, n° 69, juin.
- BÖNI H., MÜLLER E., WITTMANN A. (2012) Les déchets solides municipaux en Afrique de l'Ouest : entre pratiques informelles, privatisation et amélioration du service public, Ed. EMPA - St. Gallen ENDA Europe, Paris, 6 pages.
- BOTTA H., BERDIER C., DELEUIL J.-M. (2002) *Enjeux de la propreté urbaine*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 180 pages.
- CALLENS S., BENDAOU M. L. (2017) *New Health Systems. Integrated care and health inequalities Reduction*, Editions Elsevier, 145 p.
- CANTONI R., MUSSO M. (2017) L'énergie en Afrique : les faits et les chiffres. Introduction, *Afrique contemporaine*, vol. 261-262, n° 1, 9-23.
- CAVE J., CAMPANA D. (2015) *La ruée vers l'ordure. Conflits dans les mines urbaines de déchets*. Rennes, Presses universitaires de Rennes, Collection Espace et territoires, 250 p.
- CHENITI H. (2014) *Gestion des déchets urbains solides : cas de la ville d'Annaba*, Thèse Science et Technologie : Université Badji Mokhtar Annaba, 136 p.
- CLÉMENT D., PAPON P. (2010) *Vers une énergie durable*, Paris, éditions le pommiers, 372p.
- COLLARD F. (2015) Les énergies renouvelable, *Courrier hebdomadaire du CRISP*, vol. 2252-22, n° 7, 5-72.
- DESACHY C. (2011) Les déchets. Sensibilisation à une gestion écologique. 2^{ème} éd. France : TEC et DO, 70 p.
- DURAND M. (2012) La gestion des déchets dans une ville en développement : comment tirer profit des difficultés actuelles à Lima ? *Flux*, n° 87, 18-28.
- DURAND M.-H., MARTIN S., SAINT-PIERRE P. (2012) Viabilité et développement durable, *Nature Sciences Sociétés*, vol. 20, n° 3, 271-285.
- EMELIANOFF C. (2007) La ville durable : l'hypothèse d'un tournant urbanistique en Europe, *l'information géographique*, vol. 71, n° 3, 48-65.
- FONTAN SERS C., LOUBET DUTHIL V., PECASTAING N. (2016) Changement climatique et développement : le cas du MDP en Afrique, *Les Cahiers de l'Association Tiers-Monde*, n° 31, 151-160.
- GACHA F.-G., AFFESSI A. S., ASSI T. M. (2018) Culture intensive de proximité et dommages environnementaux dans la ville de Korhogo au nord de la Côte d'Ivoire, *Les Cahiers de l'Association Tiers-Monde*, n° 33, 75-82.
- GBINLO R. E. (2010) *Organisation et financement de la gestion des déchets ménagers dans les villes de l'Afrique subsaharienne : cas de la ville de Cotonou au Bénin*, Thèse Sciences économiques, Université d'Orléans, 238 p.
- GILBERT A. Y. (2006) *Production and Management of Household waste in the urban area: the case of Adzope city (Côte d'Ivoire)*, Thèse Géographie, Université de Cocody, 293 p.
- GUILLEMEN C. (1994) La peur des déchets : le début de la sagesse ? *Revue Nature Sciences Sociétés*, 2(1), 9 p.
- KAZA S., YAO L., VAN WOERDEN F. (2012) *What a Waste 2.0 A global snapshot of solid waste management to 2020*, Banque Mondiale, 266p.
- SANGARÉ N., YAO K. M., KOUASSI KWA-KOFFI E., KOUASSI N. L. B., SORO M. B., KOUASSI A. M. (2016) Évaluation de la qualité des ressources en eau près de la décharge urbaine non contrôlée d'Akouédo par le calcul des risques cancérigènes et des indices de pollution, Côte d'Ivoire, *Afrique SCIENCE*, 12(5), 279-290.
- KOUADIO A. F., KRA K. J., KOFFI Y. S. K. (2016) Les élections locales de 2013 en Côte d'Ivoire entre perte d'influence des partis politiques et triomphe des indépendants, *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, n° 1, 111-121.
- LAMMERINK M. P., WOLFFERS I. (1998) *Approches participatives pour un développement durable : exemples d'Afrique, d'Amérique latine et d'Asie*, Paris, Karthala, 209 pages.
- LHUILIER D., COCHIN Y. (1999) *Des déchets et des hommes*, Desclée de Brouwer, 185p.
- MERINO M. (2007) *Sociologie politique de l'action publique urbaine : la politique publique de gestion des déchets à Nairobi (Kenya) de 1964 à 2002*, Thèse Science Politique, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 586 p.
- MEUNIER F. (2008) *Les énergies renouvelables*, éditions le cavalier bleu, 192 p.
- NGNIKAM E., TANAWA É. (2006) *Les villes d'Afrique face à leurs déchets*, Belfort, Pôle éditorial de l'université de technologie de Belfort-Montbéliard, 288 pages. En ligne gratuitement sur le site : <http://www.utbm.fr/editions-multimedia.html>
- NGNIKAM E., NAQUIN P., PAGBE-PEHA C. A., ZAHRAANI F., DJIETCHEU K B. (2016) Comportement des déchets en décharge sous climat tropical humide cas de Nkolofoulou à Yaoundé, *Revue francophone d'écologie urbaine et industrielle*, octobre, n° 71, 14p.
- OMRI A. (2016) *Analyse de la transition vers les énergies renouvelables en Tunisie : risques, enjeux et stratégies à adopter*, Thèse économie, Université Côte d'Azur, 346 p.
- ONIBOKUM A. G. (2001) (Sous la direction de) *La gestion des déchets urbains. Des solutions pour l'Afrique*, Paris, Karthala, CRDI, Ottawa, 250 pages
- OUÉDRAOGO N. (2011) *Les défis énergétiques et le développement socioéconomique de l'Afrique sub-saharienne: pauvreté et vulnérabilité énergétiques, variation des prix des hydrocarbures et développement socio-économique des pays importateurs pauvres*, Thèse de doctorat en Sciences économiques dirigée par J.-M. Chevalier, Paris 9, 410p.
- PICHAT P. (1995) *La gestion des déchets*. Paris, Flammarion, 124 p.
- PLATFORME RE-SOURCES, Éducation et sensibilisation, 3, 33 p. www.platforme-re-sources.org.
- QUENAULT B. (2020) Transition énergétique et durabilité des trajectoires de développement : vers un simple ajustement ou une transformation de rupture ? *Mondes en Développement*, tome 48, n° 192, 45-70

- QUENOT H. (2010) *La construction du champ politique local à Accra (Ghana) et Ouagadougou (Burkina Faso). Le cas de la politique de gestion des déchets*, Thèse Science Politique, Université Montesquieu-Bordeaux IV, janvier, 462 p.
- ROULMANN J.-J., GOULVESTRE L., SEGONDS J., ROUALT F. (2006) *100 questions pour comprendre et agir. La gestion de crise*. France, AFNOR, octobre, 178 p.
- SAULE S. (2003) Compte-rendu de l'ouvrage *Le nouvel esprit du capitalisme* de Luc Boltanski et Ève Chiappell. Service de presse de société, n° 2, 3p.
- SORO N., OUATTARA L. (2010) Déchets, municipaux dans le district d'Abidjan en Côte d'Ivoire : sources potentielles de pollution des eaux souterraines, *International Journal of Biological and chemical Sciences*, 17p.
- THONART P., DIABATE S. I. (2005) *Guide pratique sur la gestion des déchets ménagers et des sites d'enfouissement technique dans les pays du Sud*, Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF), 121p.
- TINI A. (2003) *La gestion des déchets solides ménagers à Niamey au Niger : essai pour une stratégie durable*, Thèse Géographie, Aménagement, Urbaine, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 302 p.
- TOPANOU K. A. N. (2012) *Gestion des déchets solides ménagers dans la ville d'Abomey-Calavi (Bénin). Caractérisation et essais de valorisation par compostage*, Thèse Science de l'Environnement, Université d'Abomey-Calavi et Université d'Aix Marseille, 194 p.
- VERNIER J. (2015) *Les énergies renouvelables*, Paris, PUF, Que sais-je ? n° 3 240.

Les transitions énergétiques, de l'Europe à l'Afrique : le cas du solaire au Bénin

Modeste YEHOUENOU¹ et Florence RUDOLF²

La question de la transition énergétique constitue un nouveau paradigme qui fait couler beaucoup d'encre, une nouvelle façon d'apprécier et de remettre en question notre mode de vie, le modèle économique mondial actuel.

Selon Krolík (2015), la maîtrise de nouvelles énergies, le charbon lors de la première révolution industrielle, puis le pétrole et l'électricité pour la seconde ont contribué à un essor économique et social important. Cependant, malgré le développement que ces énergies ont permis, elles ont engendré de nombreuses nuisances qui nous amènent à tous les niveaux, à repenser la gestion de l'énergie pour préserver l'environnement.

Rifkin (2012) a d'ailleurs estimé que « nos successeurs pourraient bien qualifier notre ère de société du carbone en comparaison aux âges du bronze et du fer ». Malheureusement, cette société basée essentiellement sur la consommation intensive des énergies fossiles a de nombreuses conséquences néfastes sur l'environnement naturel dont nous avons hérité. Il est donc apparu progressivement un questionnement sur la nature du cadre de vie que nous envisageons laisser aux générations futures. Afin de répondre à cette interrogation, plusieurs réflexions ont convergé vers la nécessité d'amorcer un développement durable avec pour principal point d'achoppement, la préservation de nos écosystèmes et le démarrage d'une transition énergétique.

Cette dernière consiste à impulser des changements sociaux, économiques et environnementaux de fond et notamment sur les plans du bouquet énergétique, du progrès technique et du comportement des consommateurs. D'une manière générale, elle renvoie à un processus long et périlleux qui doit permettre progressivement de passer d'une situation initiale que l'on juge aujourd'hui inadéquate pour une planète fragile comme la Terre, à une nouvelle organisation des procédés que l'on présume meilleure.

Pour Scarwell, Leducq et Groux (2015), la notion de transition écologique traduirait la volonté de mise en œuvre simultanée de plusieurs objectifs fondés sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la promotion des énergies renouvelables, l'incitation à l'efficacité et à la sobriété énergétique, tout en interrogeant nos besoins. Cependant, il faudrait encore que la notion même de transition énergétique fasse consensus ; elles constatent un flou sémantique dans l'usage de ce terme par les différents acteurs. Quant à de Perthuis (2017), il estime que c'est un concept à géométrie variable dont l'intérêt est sa malléabilité, ce qui permet de justifier des politiques très différentes, voire frontalement opposées.

Ce concept se décline alors de différentes manières, selon que l'on soit originaire d'un pays industrialisé ou en voie de développement, selon le modèle économique, politique ou social en vigueur dans le pays concerné, selon les ambitions des gouvernements et leurs objectifs de croissance ou encore selon qu'on soit déjà ou non un pays exemplaire dans la consommation et la mise en valeur des énergies renouvelables.

¹ ATER, Université de Bourgogne. y.mogabi@gmail.com

² Université de Strasbourg. florence.rudolf@unistra.fr

Rester lié ou non au réseau pour la distribution de l'électricité, comment s'y prendre pour que la production d'énergies renouvelables soit économiquement compatible aux objectifs de croissance des États, quelle dynamique sociale faut-il impacter pour susciter l'assentiment des utilisateurs finaux, telles sont certaines des réponses complexes qu'il faille apporter à l'égérie de la transition énergétique.

Les dernières rencontres internationales sur la question des changements climatiques et de la transition énergétique, notamment celles des COP 21 à 24 ont été l'occasion pour les différents États parties à la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques, d'en débattre activement et de prendre des engagements communs sur la façon de réduire dans leurs pays respectifs leur impact carbone. Mais de quelle transition énergétique parle-t-on (Bernard, 2016, 1) ? Comment s'opèrera-t-elle dans les pays en développement qui aspirent à une économie à forte croissance (Dubois, 2016) ? Quels sont les différents processus à mettre en œuvre pour ne pas léser les économies de ces pays pauvres (Debizet, 2015) ?

1. LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DANS LES PAYS INDUSTRIALISÉS D'EUROPE

En référence à l'article 2 de la directive 2009/28/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009 relatif à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, JOUE, L 140 du 5 juin 2009, « une énergie renouvelable³ est une énergie produite à partir de sources non fossiles, renouvelables qui sont des ressources naturelles dont la vitesse d'exploitation permet la régénération du stock initial. ». Selon Esnault (2015, 42), l'électricité est ainsi le vecteur privilégié pour la diffusion des énergies renouvelables.

1.1 *Le dilemme de la décentralisation de la production de l'électricité en Europe*

La tendance actuelle en Europe est aux réflexions sur la centralisation ou décentralisation de la production et distribution de l'électricité par le biais de « global grid » ou de « micro grid », à la promotion de pratiques industrielle et sociale, de réduction des émissions de gaz à effet de serre par l'efficacité énergétique et à l'augmentation de la part des énergies renouvelables⁴ dans le mix énergétique. Cependant, les ambitions politiques de décentralisation des sources de production font néanmoins face à la prédominance des grands réseaux connectés⁵, qui constituent un système simple, maîtrisé et rentable de contrôle des flux entre l'offre et la demande.

Les centrales électriques qui dominent actuellement le marché européen sont de très grandes tailles avec des réseaux complexes de hautes, moyennes et basses tensions pour acheminer la production vers le consommateur final tout en conservant la qualité du produit et en réduisant les pertes de transport. Présumées plus efficaces, quand elles sont plus puissantes, elles permettent la centralisation de la demande en équilibrant au mieux et presque instantanément les besoins.

Cependant, l'actuelle transition énergétique préconise la réalisation de microcentrales électriques, moins gourmandes en carbone, présentant la particularité d'exploiter les ressources locales naturelles des territoires et de fournir des services énergétiques de qualité, à moindre coût, et avec le bénéfice de favoriser la naissance d'un lien sociétal de gestion participative des besoins des collectivités. Deshaies (2014, 2) estime « aux yeux des promoteurs de la transition énergétique, il s'agit non seulement de réaliser un changement du système énergétique, mais aussi une transformation profonde de l'économie et de la société, comparable à celui provoqué par la révolution industrielle. Dans cette optique, l'objectif de la transition énergétique est de substituer aux structures de production centralisées et contrôlées par de grandes sociétés capitalistiques, un système très décentralisé de petites structures de production qui, dans l'idéal, appartiendraient aux citoyens pouvant ainsi assurer leur autonomie énergétique. »

³ Selon The Power shift (Goldman Sachs Group, 2016), les énergies renouvelables représenteraient 42 % du total des capacités de productions d'électricité installées en Europe à l'horizon 2025, contre 29 % en 2015.

⁴ La part des sources d'énergies renouvelables dans la consommation intérieure brute de l'Union européenne était de 13 % en 2015 contre 4,3 % en 1990.

⁵ L'Union européenne a notamment pour logique, l'objectif à l'horizon 2030 d'atteindre 15 % d'interconnexion électrique, ce qui signifiera que au moins 15 % de l'électricité produite dans un État membre pourra être injecté dans un autre. Ces efforts rentrent dans le cadre d'action en matière de climat et d'énergie à l'horizon 2030, de la stratégie pour la sécurité énergétique afin de concrétiser la création de l'Union européenne de l'énergie.

Par ailleurs, d'autres approches (Chatzivasilieiadis, Ernst et Anderson, 2013) considèrent que de gigantesques centrales électriques interétatiques, régionales ou même intercontinentales, installées dans des zones favorables en énergies renouvelables de haut rendement, pourraient être efficaces en desservant selon les besoins, les États intéressés. C'est l'exemple des projets de construction des grandes fermes solaires dans le désert du Sahara ou d'immenses champs d'éoliennes dans le Grand Nord.

Il faudrait produire la ressource dans un endroit où elle est certes abondante et où il y a de l'espace, puis la rediriger vers une centrale principale chargée de collecter les différentes formes et sources de production, de les traiter avant de les redistribuer vers ces mêmes localités productrices selon leur besoin de consommation (Hansen et Percebois, 2017, 235).

Prendre juste en considération les facilités d'entretien des équipements isolés, en jetant aux oubliettes l'impact carbone que ce choix engendrerait sur l'environnement et l'agrégation des différents coûts de gestion et de mobilité de cette énergie, semble incompatible à la logique d'efficacité énergétique. Il faut toutefois préciser qu'en raison de l'intermittence des énergies renouvelables, il est nécessaire de les associer soit entre elles ou avec des sources de production moins respectueuses de l'environnement.

De même, « penser le développement des énergies renouvelables quasi exclusivement sur un mode centralisé (centrale solaire, éolienne...etc.) fige notre monde des possibles, bloquant nos représentations et, finalement, les possibilités d'innovations, aussi bien techniques que sociales ou institutionnelles » (Raineau, 2011, 135). Ainsi, les pays de l'Union européenne bien que partageant des objectifs communs de réduction de leur impact carbone, suivent divers chemins pour y parvenir.

1.2 Des itinéraires de transition différenciés au sein de l'Europe

Le rapport 2016 de la Commission européenne sur le développement des marchés français de l'électricité a rappelé que les demandes de raccordement, notamment lorsqu'il est nécessaire de renforcer les réseaux pour accueillir la production, sont traitées par ordre d'arrivée, ce qui rend non prioritaires les installations de production d'électricité à partir de sources renouvelables par rapport aux autres types d'installations de production d'électricité (Commission de régulation de l'énergie, 2016, 25).

Il faut dire que les modèles énergétiques renouvelables européens sont élaborés en prenant soin de garantir le même niveau de développement du pays, de croissance des capitaux et de niveau de consommation des populations.

Tous les pays européens ne sont pas caractérisés par les mêmes architectures énergétiques et n'ont pas les mêmes ambitions d'abandonner résolument et rapidement leur modèle énergétique ; aussi, faut-il clairement souligner que tous les pays n'ont pas une économie basée à 80 % sur des énergies fossiles, ni que développer l'énergie nucléaire soit la solution à la réduction des gaz à effet de serre.

L'énergie nucléaire continue d'être la principale source de production d'électricité en France avec une part de 70,6 % en 2019 contre 21,5 % d'énergies renouvelables (RTE - Bilan électrique, 2019). Bien qu'il semble reconnaître la gravité des conséquences du nucléaire sur l'environnement, l'État français ne pourrait aujourd'hui abandonner cette technologie, quoi que dans ses discours, on note une prise de conscience et des efforts pour intégrer davantage les énergies renouvelables dans le mix énergétique. Ainsi dans la loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat, l'État français a décidé de réduire la part du nucléaire à 50 % d'ici 2035.

L'Allemagne, premier consommateur d'énergie en Europe, est souvent citée comme exemple parce qu'elle a eu le courage de décider de sortir du nucléaire. Le pays s'est aussi illustré par un développement d'un modèle énergétique basé sur les énergies renouvelables avec près de 40 % d'énergie électrique produite en 2019 selon le ministère fédéral de l'économie et de l'énergie⁶. L'objectif étant de faire passer la part des énergies renouvelables de 40 à 45 % dans la consommation d'électricité à l'horizon 2025. Selon le même ministère⁷, environ 35 % du courant électrique produit en Allemagne était à partir de charbon.

La Norvège cependant, est l'un des pays européens à réaliser une belle prouesse dans le développement des énergies renouvelables avec une énergie hydraulique qui comptait pour 95,97 % en 2016 (US EIA, 2019)⁸ dans la production d'électricité du pays. L'État s'est aussi résolument lancé dans la promotion continue de systèmes technologiques propres et de réductions des émissions de gaz à effet de serre déjà très bas dans les secteurs du gaz et du pétrole.

L'Espagne, qui réalise des avancées significatives dans le développement des énergies renouvelables, détient la plus grande centrale solaire thermodynamique d'Europe avec près de 2,3 GW de capacités

⁶ <https://www.bmwi.de/Redaktion/FR/Dossier/transition-energetique.html>

⁷ <https://www.bmwi.de/Redaktion/FR/Dossier/energies-conventionelles.html>

⁸ <https://www.eia.gov/international/analysis/country/NOR>

installées. Le pays a récemment innové sur l'île d'El Hierro en l'alimentant exclusivement avec un système combiné d'énergies renouvelables (éolienne et hydraulique) en circuit fermé.

Outre les considérations techniques et chiffrées, on garde à l'esprit dans l'espace européen, de développer des programmes de transition énergétique qui permettent de maintenir avec les nouvelles énergies, un niveau économique stable, voire à davantage l'élever.

L'un des objectifs concrets des pays membres de l'espace européen est d'arriver à réaliser des économies d'énergie par des mécanismes d'efficacité énergétique. Ces actions concernent la cogénération de la production, la performance énergétique des bâtiments et l'obligation de l'étiquetage énergétique des appareils ménagers.

Cependant, outre les machines et leur technicité, outre les avancées technologiques de limitation des consommations, il est, un domaine du social qui est souvent laissé pour compte dans les scénarii de transition énergétique. La transition énergétique devrait être l'occasion de développer un nouveau rapport à la nature, une nouvelle conscience sociale, une nouvelle façon de consommer les énergies et la technologie. Il s'agit de recréer une société avec de véritables interactions humaines, avec une nouvelle relation avec l'environnement, une territorialisation de la consommation de l'énergie et des moyens simples et accessibles d'avoir les mêmes satisfactions tout en réduisant ses consommations.

1.3 Une redéfinition du rapport à l'énergie

Selon Raineau (2011, 136), « L'atout et l'enjeu des énergies renouvelables ne sont d'ailleurs pas tant d'offrir une nouvelle source d'énergie que d'ouvrir à un autre rapport à l'énergie, à l'environnement, aux objets et à la technique ». Face à l'individualisme et à l'autonomie qu'ont permis d'instaurer le système capitaliste à forte consommation d'énergies fossiles, les énergies renouvelables ne peuvent être perçues comme une simple « réponse » technique au problème énergétique et environnemental de notre société contemporaine. Elles doivent au contraire être appréhendées comme une « réponse sociale ».

C'est ainsi que plusieurs initiatives de covoiturage et d'écoquartiers ont commencé par voir le jour avec la mise en valeur des énergies renouvelables présentes sur des territoires, la création de jardin partagé pour la culture de fruits et légumes bio et la promotion de cercles d'échanges sur la valorisation des ressources locales.

Somme toute, nous retenons que, globalement, la notion de transition énergétique, pour le cas des pays industrialisés d'Europe à forte dépendance aux énergies conventionnelles et n'utilisant pas encore suffisamment les énergies renouvelables dans leur mix énergétique, est le passage progressif d'un système énergétique très polluant (nucléaire et dérivés du pétrole), à un système énergétique moins polluant et exploitant davantage les énergies renouvelables. Elle est aussi caractérisée par une consommation moins intensive, privilégiant les économies, le naturel, avec une composante de nouvelle reconstruction sociale et solidaire.

Partir du nouveau rapport à l'énergie que dessinent les énergies renouvelables, n'est donc pas « réduire ce dernier à une question technique, mais l'ouvrir à un tout autre rapport à la ville, à la société, aux autres et à la nature » (Raineau, 2016, 140).

Cependant, ces rapports à la nature et aux autres qui sont demeurés des valeurs fondamentales sur le continent africain, peuvent-ils constituer des atouts majeurs pour mieux appréhender la transition énergétique dans cette région du monde ?

2. LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DANS LES PAYS AFRICAINS EN DÉVELOPPEMENT

L'Afrique aujourd'hui, c'est un potentiel d'environ 1750 TWh d'énergie hydraulique dont à peine 5 % sont en exploitation sur le continent, c'est aussi une abondante ressource géothermique localisée principalement à l'est du continent que seulement quelques États (Kenya, Ethiopie) exploitent encore très faiblement. L'Afrique, c'est 26 000 km de côtes avec un très fort potentiel éolien notamment au Cap vert, en Érythrée, au Kenya, à Madagascar, en Mauritanie, au Maroc, en Tunisie et en Afrique du sud, sans oublier les vastes déserts et territoires où les vitesses des vents sont favorables à l'exploitation de l'énergie éolienne. L'Afrique c'est une moyenne d'irradiation journalière stable de 5 à 6 kWh/m² dans la plupart des pays et le continent où la biomasse (avec une grosse couverture végétale), est la première énergie consommée par les populations. L'Afrique, c'est donc l'un des plus gros potentiels en énergies renouvelables de la planète.

Les pays d'Afrique, pour la plupart, pays du sud⁹ ou en développement, sont ceux qui polluent le moins à l'échelle mondiale car représentant, pour le cas de l'Afrique à peine 3,8 % des émissions totales de gaz à effet de serre dans le monde et donc sont les moins responsables du réchauffement climatique observé aujourd'hui. De plus, lorsqu'ils polluent ponctuellement, c'est souvent le fait d'activités transnationales (extractions minières, production agricole intensive, filière bois...) dont sont généralement acteurs et destinataires, les pays du nord.

Alors que la question de l'accès à l'électricité et la sécurisation de son approvisionnement demeurent encore aujourd'hui des objectifs centraux¹⁰ dans la plupart des pays en développement d'Afrique, ces dimensions sont obsolètes et résolues depuis des décennies dans les pays industrialisés. Ce qui veut dire que « la transition énergétique dans les pays émergents et en développement devrait se produire dans des conditions bien différentes de celle des pays développés et avec des trajectoires différenciées » (Bersalli et Simon, 2017, 5).

2.1 *De grands défis électriques sur le continent africain*

Selon les données de la banque mondiale, en 2018, le taux d'accès à l'électricité des pays d'Afrique subsaharienne en pourcentage de la population, est encore très faible et très en dessous de la moyenne mondiale de 89,6 % ; il ne s'élève qu'à 47,7 % en moyenne dans cette région¹¹. Ce sont les pays d'Afrique du nord à l'exception de la Lybie qui s'en sortent le mieux avec un pourcentage de la population ayant accès à l'électricité de 99,9 %. Dans le reste des pays du continent, seule l'Afrique du sud a un taux supérieur à 90 %¹².

De ce point de vue, la structuration des politiques nationales de développement de la majorité des pays africains en développement, nécessite le développement de l'accès à l'électricité. Cependant, cet accès devrait prendre en compte des défis climatiques et environnementaux notamment la maîtrise des émissions de dioxyde de carbone (Bersalli et Simon, 2017). Certes, les États prennent individuellement conscience de cette nouvelle réalité, ou y sont contraints ou poussés du fait des organisations internationales et/ou sous-régionales dont ils font partie.

La croissance de la population mondiale¹³ qui passera de 7 milliards 550 millions en 2017 à près de 10 milliards environ d'individus en 2050, avec un fort taux de croissance démographique dans les pays du sud, constitue l'une des préoccupations majeures des pays de ces zones géographiques pour répondre aux besoins énergétiques à venir. L'agence américaine internationale de l'énergie estime que la consommation mondiale d'énergie pourrait augmenter de 48 % d'ici à 2040 et que cette consommation sera portée pour les deux tiers environ par les économies en développement, avec une consommation énergétique de l'Afrique qui pourrait doubler.

Afin de répondre à ces prévisions très concrètes, plusieurs États africains sont en train de dresser ou de finaliser des projets énergétiques nationaux ou d'envergure internationale sur la base des énergies renouvelables. Les barrages Inga III et Grand Inga en République démocratique du Congo avec des productions hydroélectriques respectives de 3500 MW et 39 000 MW en sont des exemples, le fleuve Congo comptant pour une grande partie du potentiel hydroélectrique du continent africain. De même au Maroc, la plus grande centrale solaire d'Afrique, la centrale thermodynamique Noor, déjà en service avec 160 MW devrait permettre à terme de générer 580 mégawatts de puissance.

De même un important potentiel en biomasse est disponible sur le continent avec l'utilisation des déchets agricoles (palmier à huile, coton, riz, canne à sucre) pour produire de la chaleur et de l'électricité par cogénération et les pays d'Afrique subsaharienne hormis l'Afrique du sud et les États insulaires en dépendent fortement pour leur besoin énergétique.

⁹ Il serait aussi utile de différencier parmi les pays du sud, ceux qui sont considérés comme pays émergents tels les BRICS ou ceux encore appelés pays pauvres ou en voie de développement.

¹⁰ Plusieurs auteurs présentent la transition énergétique comme une mutation sociale, c'est-à-dire visant à réduire l'individualisme des sociétés modernes, les effets du capitalisme effréné et le manque d'espace naturel vierge. Cependant, cette conception est tout à fait opposée à la réalité des pays du sud qui sont caractérisés par une forte solidarité, une entraide quotidienne et désintéressée, des espaces verts naturels et qui sont déjà, rien que par la forme des "écoquartiers".

¹¹ <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/EG.ELC.ACCS.ZS>

¹² Selon les données de la banque mondiale, en 2018, l'Afrique du sud a un taux d'accès à l'électricité en pourcentage de la population de 91,2 %.

¹³ Selon l'organisation des Nations Unies, la population mondiale, évaluée à 7,35 milliards d'habitants en 2015, pourrait augmenter de plus de 15% d'ici à 2030 et d'environ 32% d'ici à 2050 (atteignant alors 9,7 milliards d'habitants).

2.2 *L'opportunité de la transition énergétique*

Les pays africains en croissance veulent aussi avoir accès à une énergie stable, à faible coût et disponible tout en réduisant les écarts de modernisation et d'évolution technologique avec les pays du nord. Un des grands enjeux actuels pour les pays du sud consiste à harmoniser le processus de la transition énergétique avec leurs objectifs de développement. Ils doivent réussir à associer efficacement les aspects économiques, techniques, sociaux et environnementaux pour ne pas créer de grands déséquilibres au cours de leur mutation énergétique.

La faiblesse continue du coût des investissements dans les énergies renouvelables et leurs retombées à long terme sur les économies des pays d'Afrique sont d'importants arguments pour accélérer le processus de la transition énergétique.

O'Connor (2010) soutient que si ce qui caractérise une transition énergétique est un impact significatif sur l'économie et sur la qualité de vie d'une société, alors les changements dans les ressources et services énergétiques peuvent constituer une transition énergétique.

De ce point de vue, les modèles de transition énergétique peuvent s'avérer très hétérogènes entre un pays industrialisé et un pays en développement. Il s'agira alors pour chaque entité d'adapter son modèle de transition à ses réalités internes. Les pays africains en développement vont donc se donner les moyens d'exploiter les ressources énergétiques renouvelables disponibles sur leur territoire, et de proposer de nouveaux services énergétiques à leur population. Ils pourraient essayer d'aller à l'autosuffisance énergétique et fournir une énergie de qualité et à moindre coût.

Les pays en développement, auraient donc comme logique de transition énergétique, le développement progressif d'une autosuffisance énergétique sur leur territoire respectif ce qui permettrait un boost économique et favoriserait une émancipation sociale par l'amélioration du niveau de vie des populations.

L'électricité étant l'un des vecteurs du développement industriel, les industries représentant le pilier des exportations ; les exportations étant synonymes de croissance du produit intérieur brut ; la croissance du produit intérieur brut signifiant une augmentation de la richesse du pays ; cette dernière pourrait se traduire, si elle bien redistribuée, par une élévation du pouvoir d'achat et du niveau de vie des ménages (augmentation de l'indice de développement humain). C'est dans ce même ordre d'idée que Sangaré (2015, 17) affirme que : « la démarche stratégique des économies africaines doit être de renforcer les capacités industrielles et de consolider la liaison entre l'agriculture et l'industrie en vue d'accroître considérablement le revenu de la population rurale, qui constitue 70 % de la population totale, d'augmenter l'épargne nationale et d'ouvrir la voie à une industrialisation et à un développement économique accéléré. »

2.3 *Les chemins vers la croissance verte*

Cependant, ce développement économique accéléré, même s'il est légitime, ne doit pas se faire à l'image de certains pays industrialisés, au détriment de la protection de l'environnement et par la surconsommation des énergies fossiles. Malgré leur retard considérable, les pays africains les moins avancés connaissent depuis quelques décennies les plus fortes croissances de leur produit intérieur brut loin devant les pays développés. Et c'est pour cette raison que ces États africains en développement devraient intégrer très rapidement le principe de la durabilité dans leurs choix économiques en exploitant principalement des ressources énergétiques sobres en carbone ; le potentiel en énergies renouvelables du continent africain pouvant à lui seul satisfaire toute la consommation en électricité du monde.

Fouquet (2015) a identifié trois formes de transitions énergétiques, la première correspondant à une mutation progressive de sources d'énergies modernes vers celles plus traditionnelles et la troisième s'entendant comme « une progression de l'électricité, c'est-à-dire l'extension de ses usages, quelle que soit la source employée pour la produire. » C'est fondamentalement cette dernière qui intéresse les pays en développement qui sont caractérisés par un important déficit en électricité et dont l'objectif de transition serait de produire davantage d'électricité pour tous afin d'offrir aux consommateurs de nouveaux services énergétiques, autres que le simple éclairage.

Si l'on prend l'exemple des habitudes de cuisson des repas, les populations des pays d'Afrique subsaharienne continuent d'employer le bois de feu ou le charbon de bois en majorité, alors que les populations des pays industrialisés utilisent généralement des cuisinières électriques. Une logique de transition énergétique pour ces pays en développement pourrait être de développer des fourneaux solaires plus efficaces pour la cuisson des repas ou de mettre en place une filière durable de production de la biomasse-énergie. Cette initiative pourrait permettre à réduire les effets néfastes du déboisement et de la déforestation.

L'Afrique n'a que 9,5 % des réserves prouvées d'énergies fossiles dans le monde et ne participent qu'à 12 % de la production globale d'hydrocarbures. De même, sur les 54 pays du continent, seulement quatre sont de véritables exportateurs de pétrole tandis que les autres sont de gros importateurs, avec des déficits énergétiques importants. Ces statistiques montrent qu'il existe un terrain favorable pour les énergies renouvelables et le besoin de les développer est grand (Youssef et Mutanga, 2007, 1).

Certains États africains en développement ont le mérite de consommer de l'électricité en majorité à partir des sources d'énergies renouvelables. C'est l'exemple du Ghana et du Bénin. Ce dernier avait en 2015 consommé 95 % de son électricité à base d'énergie hydraulique.

3. LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE AU BÉNIN : L'APPORT DU SOLAIRE

« Le secteur électrique¹⁴ constitue un excellent champ d'observation de cette transition possible – pour deux raisons – l'une fondamentale, puisqu'il est un vecteur du développement et de l'industrialisation, l'autre plus « conjoncturelle », car le début de ce siècle voit se déployer dans ce secteur les nouvelles énergies renouvelables qui reflètent une nouvelle configuration de la technologie et des politiques publiques » (Bersalli et Simon, 2017, 1).

Mais le véritable intérêt de cette transition pour un pays en développement comme la République du Bénin pourrait être de profiter de cette mobilisation internationale pour aller à l'autosuffisance énergétique par la mise en valeur des énergies renouvelables en présence sur le territoire.

3.1 *État de l'électricité au Bénin*

L'électricité est la principale énergie dont le coût et la disponibilité sont en souffrance dans le pays. La surcharge du réseau électrique conventionnel est l'une des conséquences du déséquilibre entre l'offre et la demande d'électricité, ce qui s'est longtemps traduit par une distribution intermittente de l'électricité aux consommateurs, d'où des ruptures saisonnières de sa fourniture à certaines périodes.

Selon les données de la banque mondiale, la consommation d'électricité annuelle par habitant est extrêmement faible au Bénin ; elle est de l'ordre de 100,22 kWh/hbts¹⁵ en 2014 sur une moyenne mondiale de 3131 kWh/hbts et de 484 kWh/hbts en Afrique subsaharienne. « Les taux d'accès national, urbain et rural en 2017 sont respectivement de 32,8 %, 59,3 % et 8,3 %. » (SIE, 2017, 11).

Le réseau électrique datant des années 68 au moment de la signature de l'accord binational entre le Togo et le Bénin, n'a été que très faiblement entretenu et renouvelé, ce qui a entraîné en 2006 et 2008, selon les données de la banque mondiale, des pertes de transmission et de distribution respectivement de 82 % et 61,13 %.

Le monopole conféré par les États depuis 1968 à l'organisation supranationale, communauté électrique du Bénin (CEB) et à la société béninoise d'énergie électrique (SBEE), le premier pour la production et le transport, le second principalement pour la distribution de l'électricité, a laissé le pays sans aucun investissement privé, ce qui a aggravé sa dépendance aux approvisionnements extérieurs. En 2017, le taux de dépendance énergétique du Bénin était de 45,9 % (SIE, 2017, 51).

Cette situation de déficit déstabilise au quotidien le développement socio-économique du Bénin, l'insuffisance et l'instabilité de l'électricité décourageant les investissements extérieurs et le développement d'un secteur industriel.

À ce propos, une étude de 1965 à 2014 sur l'analyse de l'impact de l'énergie électrique sur la croissance économique du Togo (pays voisin et frontalier du Bénin, ayant avec lui des similitudes sociales et économiques) a révélé que « La consommation d'électricité a eu un impact positif à long terme, plus sur les secteurs industriels et les services, qu'au plan global respectivement, alors que cet impact est négatif et non significatif dans le cas du secteur agricole. Les résultats du test de causalité de Granger indiquent qu'à long terme, il apparaît une causalité bidirectionnelle entre la consommation d'électricité et la croissance économique, une causalité unidirectionnelle à long terme de la consommation d'électricité vers l'agriculture et les services et de l'industrie vers la consommation d'électricité » (Palakiyèm, 2016, 16).

Ces résultats prouvent que le sous-secteur de l'électricité, s'il est développé, contribuerait substantiellement à développer l'industrialisation du pays, à augmenter la productivité des entreprises et du

¹⁴ L'électricité a compté pour 18,5 % de la consommation finale d'énergie dans le monde en 2015 (contre 9,4 % en 1973). Le mix de la production électrique mondiale reste encore largement dominé par le charbon (39,3 % de la production mondiale en 2015), pourtant montré du doigt pour les fortes émissions de gaz à effet de serre associées à sa combustion.

¹⁵ <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/EG.USE.ELEC.KH.PC>

secteur tertiaire, et ainsi à aller vers une meilleure croissance, source de l'amélioration des conditions de vie des citoyens.

La crise de l'électricité au Bénin contraste cependant avec les nombreuses ressources énergétiques renouvelables (hydraulique, marémotrice, éolienne, géothermique, biomasse) du pays, et l'important gisement solaire sur toute l'étendue du territoire national.

3.2 *Mix électrique au Bénin*

Il y a quelques années, l'électricité consommée au Bénin était exclusivement achetée par la communauté électrique du Bénin (CEB) auprès des fournisseurs extérieurs.

Mais avec les nouvelles dispositions législatives, notamment la révision du code bénino-togolais de l'électricité et son autorisation de ratification en 2018, l'organisation binationale a perdu sa qualité d'acheteur unique. La loi n° 2020 - 05 du 1^{er} avril 2020 portant sur le code de l'électricité en République du Bénin est venue confirmer l'ouverture du secteur à la concurrence.

L'État béninois avec le concours de l'Union Économique et Monétaire Ouest-Africaine (UEMOA) a implanté des milliers de pico centrales solaires sur son territoire et de nombreux lampadaires solaires destinés à l'éclairage public. Il n'existe pas encore sur le territoire national d'installations de production d'électricité à partir d'éoliennes ou de la géothermie. La production d'électricité à partir de la biomasse est quant à elle en expérimentation, notamment au niveau de programmes en cours de réalisation ou en projets.

3.3 *L'apport du solaire*

Au Bénin, l'énergie solaire à des fins de fourniture d'électricité est une technologie nouvelle qui n'est pas encore rentrée dans les habitudes des ménages. Une moyenne d'irradiation annuelle d'environ 1241 kWh/m² est relevée sur le territoire national selon les données des stations synoptiques de l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne (ASECNA). L'énergie solaire est donc abondante sur toute l'étendue du territoire national.

Pour Labouret, Cumunel, Braun et Faraggi (2010, 1), « Cette énergie respecte notre environnement en réduisant les émissions des gaz à effet de serre (elle n'en émet aucun lors de son utilisation). Les prix ne cessent de baisser grâce à l'accroissement des volumes de production car le marché est fortement stimulé par le rachat du courant par les compagnies d'électricité, et il croît de 40 % par an au niveau mondial depuis quelques années. Peu de secteurs économiques peuvent afficher de tels résultats. »

Les autorités béninoises ont mis en place plusieurs structures de promotion des énergies renouvelables telle que l'Agence Béninoise d'Électrification Rurale et de Maîtrise d'Énergie (ABERME) et l'unité chargée des Politiques de Développement des Énergies Renouvelables (UC/PDER) qui sont chargées de faire la promotion de ces énergies. Plus spécifiquement, des projets comme le PRODRE ou le PROVES ont permis l'implantation de près de 15 000 lampadaires solaires sur toute l'étendue du territoire et de 105 microcentrales solaires dans des localités selon l'État béninois.

De même, le projet DEFISOL, lancé en décembre 2017, cofinancé par l'agence française de développement et l'union européenne, prévoit la construction d'une centrale photovoltaïque de 25 Mwc dans la commune de Pobè au sud-est du pays, celle-ci sera la plus grande en service au Bénin. Le millénium challenge account accompagne aussi la dynamique du pays par la construction de 4 nouvelles mini centrales à hauteur de 45 Mwc.

CONCLUSION

Pour la première fois au monde, la transition énergétique actuelle, telle que perçue, vise à réduire nos consommations énergétiques en faisant des économies et en revenant aux systèmes techniques à faible demande énergétique. Cet idéal, pour une partie de l'humanité, est toutefois considéré comme une régression pour l'autre, qui y voit un basculement du système énergétique, capitaliste et in fine un monde sans croissance (Dubois, 2016).

Lejoux et Ortat (2014) soulignent que « le changement de système énergétique apparaît motivé par deux éléments : la raréfaction prévisible des ressources énergétiques et les impacts négatifs de notre système sur l'environnement ». Selon Bersalli et Simon (2017), « le premier argument a perdu de l'importance du fait de la percée des pétroles et des gaz de schiste, du développement des centrales nucléaires de nouvelles

générations qui limiteraient les risques d'accident, et des réserves abondantes en charbon dont le monde dispose. »

En tout état de cause, et comme le dit Defeuille (2018), la transition énergétique actuelle n'est pas de la même nature que celles passées, car l'objectif assigné au secteur énergétique change. Il ne s'agit plus de booster la croissance économique, mais plutôt de favoriser l'émergence d'une économie décarbonée.

À l'échelle globale, l'enjeu majeur ne porte donc pas principalement sur notre capacité à répondre aux besoins énergétiques amenés à croître dans les prochaines décennies, mais sur notre capacité à maîtriser les conséquences environnementales de notre consommation énergétique, et particulièrement l'impact planétaire des gaz à effet de serre (GES).

L'Union européenne a décidé, au travers du Paquet Énergie-Climat 2020 et celui de 2030 adopté en 2017 en y associant d'autres ambitions de réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'efficacité énergétique, d'atteindre à l'intérieur de la communauté au moins 20 % d'énergies renouvelables dans son bouquet énergétique en 2020 et au moins 27 % en 2030.

En ce qui concerne certains pays de l'Afrique, conformément aux prescriptions de l'UEMOA et de la Communauté Économique Des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO), certains pays ont ouvert le secteur de la production, le transport et la distribution de l'électricité aux opérateurs privés.

Le gouvernement du Bénin bien qu'engagé à travers les organisations internationales dans le processus de la transition énergétique, membre de l'alliance solaire internationale, et bien qu'ayant à son actif plusieurs documents de politiques d'énergies renouvelables a encore beaucoup d'efforts à faire.

BIBLIOGRAPHIE

- BERNARD T. (2016) L'indispensable transition énergétique. In B. Maffei & R. Greggio (dir), *Après la COP 21*, Paris, Éditions Technip, pp. 1-9.
- BERSALLI G., SIMON J.-C. (2017) Vers une transition énergétique des pays émergents : quelles politiques d'incitation aux énergies renouvelables dans le secteur électrique en Argentine et au Brésil ? Repéré à <http://journals.openedition.org/developpementdurable/11726>.
- CHATZIVASILEIADIS S., ERNST D., ANDERSON G. (2013) The global grid. *Renewable energy*, 57, 272-283.
- COMMISSION DE RÉGULATION DE L'ÉNERGIE (2016) Rapport à la commission européenne. Principaux développements des marchés français de l'électricité et du gaz naturel en 2015 et au premier semestre 2016. https://www.ceer.eu/documents/104400/3737108/C16_NR_France-NL.pdf/084bc227-e07c-9257-3cd9-b9ea2e6469bd.
- DEBIZET G. (2015) *Scénarios de transition énergétique en ville : acteurs, régulations, technologies*, Paris, La documentation française.
- DEFEUILLEY C. (2018) Transition énergétique, Les trajectoires du changement, In D. Lorrain, C. Halpern, C. Chevauché (dir), *Villes sobres : nouveaux modèles de gestion des ressources*, Paris, Presses de Sciences Po, 93-110.
- DE PERTHUIS C. (2017) La « transition énergétique » : les ambiguïtés d'une notion à géométrie variable, (hal-01504615), 12 p.
- DE PERTHUIS C et TROTIGNON R. (2014). Le commerce des droits d'émission de CO2 en Europe. Questions internationales, n° 65, p. 75-83.
- DESHAIES M. (2014) Ambiguïtés et limites de la transition énergétique en Allemagne, Vertigo – la revue électronique en sciences de l'environnement, vol. 14, n° 3, DOI : 10.4000/vertigo.15515
- DUBOIS M. (2016) Vivre dans un monde sans croissance : quelle transition énergétique ? Desclée de Brouwer, 280 p.
- ESNAULT B. (2015) Transitions énergétiques, les enjeux économiques et institutionnels de l'intégration dans les réseaux. In B. Le Baut-Ferrarese (dir.), *Les transitions énergétiques dans l'union européenne*, Bruxelles, éditions Bruylant, pp. 39-59.
- FOUQUET R. (2015) Lessons from energy History for Climate Policy, Centre for Climate Change Economics and Policy Working Paper No. 235, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment Working Paper No. 209, 31 p.
- GOLDMAN SACHS GROUP, (2016) The power shift : Europe's road to renewables, The Power shift, Repéré à <https://www.goldmansachs.com/insights/pages/infographics/european-renewables/>
- HANSEN J.-P., PERCEBOIS J. (2017) Transition(s) électrique(s) : ce que l'Europe et les marchés n'ont pas su vous dire. Paris, Odile Jacob.
- KROLIK C. (2015) Les énergies fossiles, quelle(s) alternative(s) ?, In B. Le Baut-Ferrarese (Dir.) *Les transitions énergétiques dans l'Union Européenne*, Bruxelles, éditions Bruylant, 141-160.
- LABOURET A., CUMUNEL P., BRAUN J.-P., FARAGGI B. (2010) Cellules solaires : les bases de l'énergie photovoltaïque, Paris, Dunod, 5^e édition.
- LEJOUX P., ORTAR N. (2014) La transition énergétique : vrais enjeux, faux départs ? SHS Web of Conferences, Volume 9, 7 p.

- O'CONNOR P. A. (2010) 'Energy transitions'. The Pardee Papers 12. Boston: Boston University, The Frederick S. Pardee Center for the Study of the Longer-Range Future. Available at : <https://www.bu.edu/pardee/files/2010/11/12-PP-Nov2010.pdf>
- PALAKIYEM K. (2016) Analyse de l'impact de l'énergie électrique sur la croissance économique du Togo. Repéré à <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01491861>.
- RAINEAU L. (2011). Vers une transition énergétique ? Natures Sciences Sociétés 2011/2 (Vol. 19), pp. 133-143.
- RIFKING J. (2012) *La troisième révolution industrielle. Comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde*. Paris, Les liens qui libèrent.
- RTE - BILAN ÉLECTRIQUE (2019) *Bilan électrique 2019. Gestionnaire du réseau de transport d'électricité*. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, République française, 173 p.
- SANGARÉ L. (2015) *Industrialisation et développement économique accélérés en Afrique : création de bases industrielles régionales*. Paris, L'Harmattan.
- SCARWELL H.-J., LEDUCQ D., GROUX A. (2015) Transitions énergétiques : quelles dynamiques de changement ? Paris, L'Harmattan.
- SIE (2017) Système d'information énergétique du Bénin. Direction générale des ressources énergétiques, Ministère de l'énergie, République du Bénin, 91 p.
- US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. (2019) Données énergétiques sur la Norvège, Repéré à <https://www.eia.gov/international/analysis/country/NOR>
- YOUSSEF K., MUTANGA S. (2007) Energy revolution in Africa and its future potential in supplying energy to the world. In T. Simelane, M. Abdel-Rahman (Dir), *Energy transition in Africa*, p. 1. Repéré à <http://unistra.scholarvox.com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/book/88824887>.

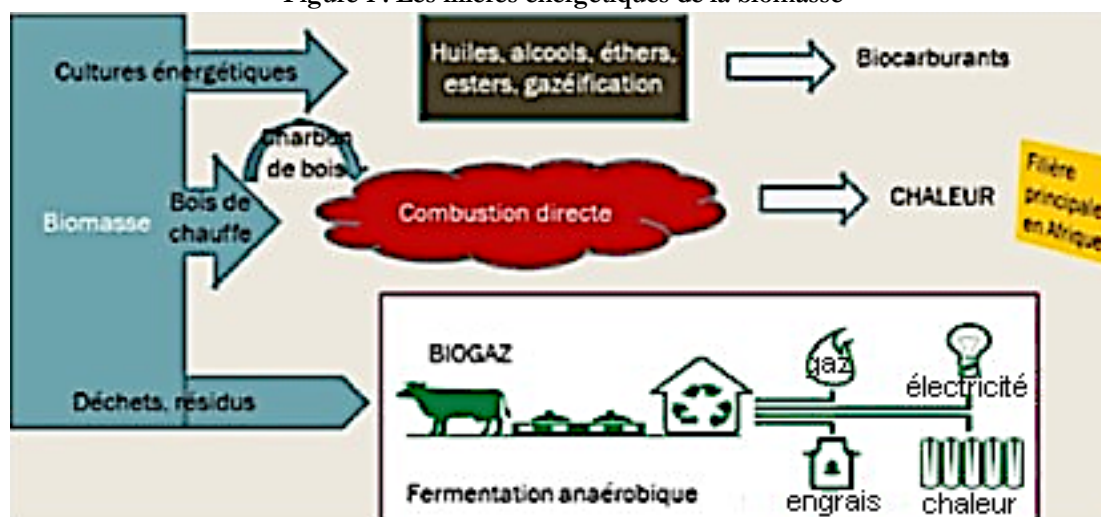
Conception et évaluation de programmes d'accès aux énergies renouvelables : l'exemple de la micro-méthanisation au Sénégal

Gwenaëlle OTANDO, Stéphane CALLENS et William BROWNFOOT¹

« Il n'est pas absurde de penser que l'Afrique représente le modèle pour l'avenir de l'humanité, car son système énergétique est soumis à une contrainte de sobriété par nécessité, les populations sont accoutumées à utiliser les énergies renouvelables (biomasse) produites localement » et exportent les énergies fossiles, dont le continent africain « ne consomme qu'une faible fraction de ce qu'il produit » (Maffei et Gregorio, 2016, 49).

Les prélèvements ligneux resteront la principale source d'énergie jusqu'en 2050 selon les projections de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE). L'Afrique est aujourd'hui le seul continent vert : le mix énergétique moyen est à 63 % de renouvelable. Les questions qui se posent sont alors celles de la durabilité, des performances comparées des différents mix énergétiques renouvelables, des éventuels scénarii de réversion vers des énergies anciennes et en voie d'abandon, comme le charbon fossile.

Figure 1 : Les filières énergétiques de la biomasse



L'ensemble des filières de la biomasse représente aujourd'hui environ 2/3 de la production d'énergie renouvelable dans le monde, et donc une composante majeure des mix énergétiques renouvelables. La combustion directe est d'introduction très ancienne, environ 400 000 ans d'après les archéologues (De

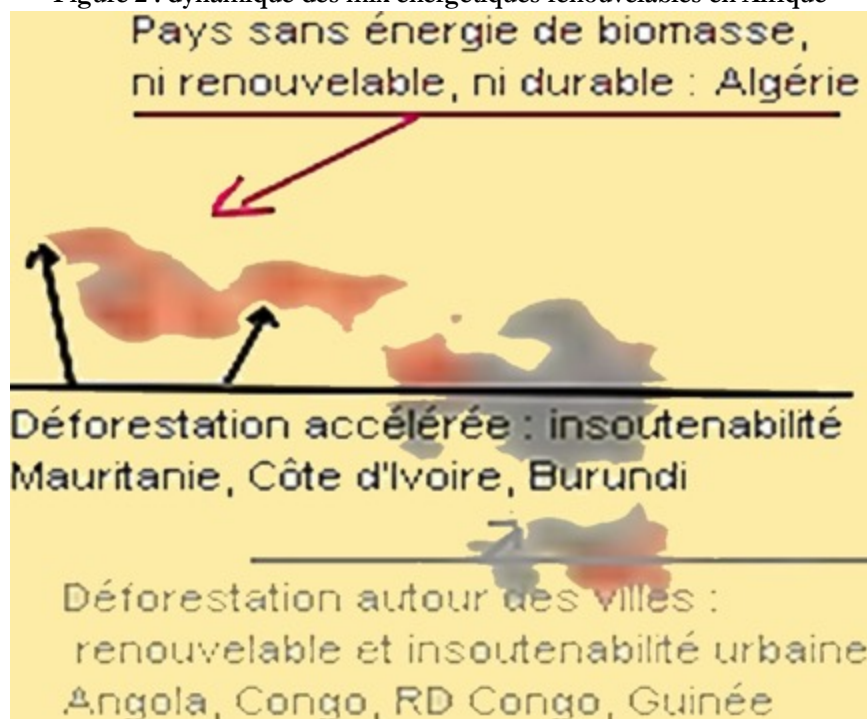
¹ Université d'Artois, LEM UMR 9221 CNRS. gwenaelleotando@gmail.com, stephane.callens@univ-artois.fr, w.brownfoot@yahoo.fr. Les auteurs remercient Victor Romeiro Amigo (ONG Le Partenariat) pour sa collaboration.

Lumley, 2017). L'usage en tant que calorique se généralise au paléolithique supérieur en raison d'une péjoration froide climatique. Le bois de chauffe a un important pouvoir calorique, mais a de médiocres propriétés pour la cuisson des aliments. De plus, il dégage des émissions toxiques et pathogènes dans des espaces insuffisamment ventilés.

La fermentation alcoolique est introduite au néolithique. De nombreux autres procédés ont été introduits depuis lors. Ils sont utilisés à grande échelle en Amérique latine, tandis que l'Afrique reste attachée aux filières de combustion. Le développement des cultures énergétiques existe cependant à échelle limitée, comme par exemple au Sénégal avec de la canne à sucre qui alimente des rhumeries.

« Développée pour traiter des pollutions, la digestion anaérobie a progressivement été associée à la valorisation énergétique du gaz produit. Le premier digesteur a été construit dans une léproserie à Matunga en Inde en 1897, avec un objectif d'obtenir un biocarburant. Ce fut finalement la cogénération d'électricité et de chaleur qui fut installée sur le site en 1907 » (Académie des technologies, 2016). La digestion anaérobie a été implantée principalement pour les stations d'épuration en Europe, tandis que les applications « à la ferme » de micro-méthanisation se sont développées en plusieurs vagues en Chine. Les « business model » sont différents dans les deux développements historiques de la filière. Le gestionnaire de grand centre de déchets essaie de se rémunérer des deux côtés : du côté de l'enlèvement et du traitement du déchet, puis de la revente commerciale des sous-produits obtenus, à savoir le biogaz et le digestat qui peut être vendu comme engrais, ou ensilé pour créer un compost revendu par la suite. Les applications à la ferme apportent un complément de revenu monétaire à l'exploitant agricole par la vente d'engrais, vendus environ 4,5 € (3 000 FCFA) le sac de 50 kg au Sénégal actuellement, et permettent une autoconsommation de l'énergie produite dans le cadre d'activités domestiques, agricoles et artisanales. Les petites unités « à la ferme » peuvent comporter des biolâtrines, des lampadaires, des cuisines modernes remplaçant celles alimentées par le bois de chauffe. L'achat du gaz en bouteille est très onéreux dans le cas du Sénégal contemporain pour les ménages ruraux, tandis que le prix de revient du m³ de biogaz de production domestique ne dépasse pas 150 FCFA (environ 20 centimes d'euro). Les plus grandes unités de biogaz en Europe couvrent les besoins en énergie de villes jusque 50 000 habitants. La micro-méthanisation suppose que des quantités minimales de déchets végétaux et animaux puissent être apportées chaque jour, condition qui peut être remplie par un petit cheptel, ou une cuisine collective, ou une activité comme celle d'un abattoir. Des unités de cogénération biogaz et cellules photovoltaïques permettent d'alimenter des microréseaux de zones artisanales. Les gains relatifs de ces microréseaux en énergie renouvelable par rapport à un standard de cogénération en énergie non renouvelable ont été évalués à un coût moindre de 12 %, une puissance supérieure de 20 %, et un abattement carbone supérieur de 40 % (Zhang et al., 2019).

Figure 2 : dynamique des mix énergétiques renouvelables en Afrique



Un des critères mis en œuvre au Sénégal est celui d'une distance supérieure à 2 kilomètres du réseau électrique basse tension, pour les unités « à la ferme » ou microréseaux (Le Partenariat, 2018d). Les prévisions de l'AIE est qu'en 2030, 90 % des personnes dans le monde qui ne seront pas raccordées à un réseau électrique seront des africains. Le dernier rapport de l'AIE indique les tendances suivantes vis-à-vis de l'objectif 7 des ODD 2015-2030 (accès universel à l'électricité, réduction de la part de la cuisine traditionnelle au bois de chauffe, progrès dans la part des énergies renouvelables et dans l'efficacité énergétique) : une baisse des investissements dans les énergies renouvelables, un ralentissement des gains en efficacité énergétique en 2017 et 2018, stagnation dans la réduction des pratiques de cuisson au bois de chauffe. Si l'accès universel à l'électricité est en bonne voie dans le monde (89 % des personnes ont accès au réseau électrique dans le monde), à l'exception cependant de l'Afrique subsaharienne, la situation la plus préoccupante est en matière d'énergie renouvelable, avec des phénomènes de réversion du renouvelable au conventionnel (AIE, 2019). La réduction des pratiques de cuisson au bois de chauffe n'induit que des effets minimes de transferts des énergies renouvelables à des usages d'hydrocarbures. Cette diminution est de plus quasiment inexistante, et donc ne peut pas être incriminée dans ces phénomènes de réversion.

Les dynamiques à l'œuvre en Afrique sont économiques, politiques et liées au changement climatique. Prenons le cas de la Mauritanie qui, en raison de l'augmentation du prix des hydrocarbures depuis le milieu des années 1970, a surexploité ses ressources forestières qui ont disparu. Le coût élevé des énergies fossiles a incité à utiliser les solutions traditionnelles basées sur l'usage du bois combustible. La question posée est donc celle de la durabilité d'un processus complexe. La Mauritanie présente le processus aux effets les plus négatifs, comparable à celui qu'a connu Haïti dans la zone Caraïbe (Ruolz, 2015). Une situation intermédiaire est celle d'une surexploitation de zones forestières périurbaines : les ménages urbains utilisent bois de chauffe et charbon de bois produit de façon peu efficace, ce qui dégrade les pourtours périurbains. Le cas positif est celui d'une gestion durable des forêts.

Cette contribution vise à étudier les conditions de succès des programmes d'accès aux énergies renouvelables (Kouedjin, 2018). Un exemple de ces programmes plus particulièrement évalués est celui du PAER (Programme d'accès à l'énergie renouvelable) au Sénégal (Le Partenariat, 2018c, 2019c). Les données collectées sont celles de l'ONG « le Partenariat » qui participe à la mise en place PAER dans la région de Saint-Louis au Sénégal, en collaboration avec l'Agence Régionale de Développement de Saint-Louis et l'ONG GERES (Sow, 2019).

1. LE PROGRAMME D'ACCÈS AUX ÉNERGIES RENOUVELABLES DU SÉNÉGAL

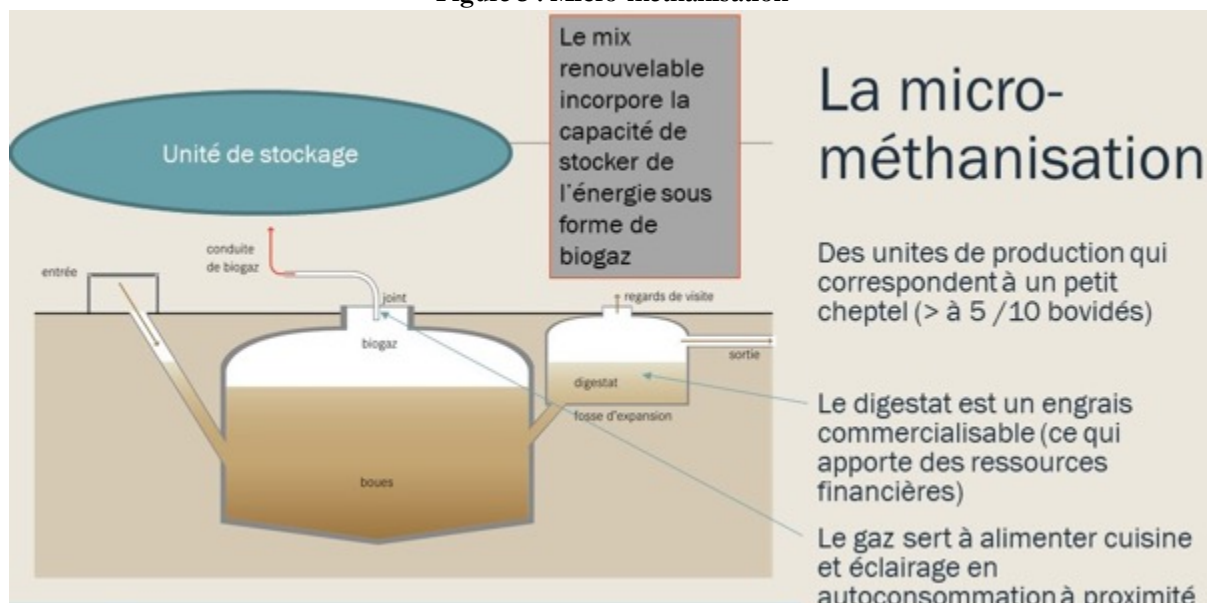
Le contexte énergétique du Sénégal est celui d'un mix énergétique de 50 % pour les produits pétroliers et de 1,5 % pour les énergies renouvelables hors biomasse. Les ressources en biomasse, comme le bois, sont surexploitées et tendent à s'amenuiser. L'État sénégalais met en œuvre un Programme National Biogaz dont l'ONG Le Partenariat est opérateur pour le Nord du Sénégal. Le PAER (programme d'accès aux énergies renouvelables) vise à contribuer au changement du marché sénégalais du biogaz à travers la construction de 80 biodigesteurs supplémentaires sur les 2 000 prévus dans la région de Saint-Louis (10 000 pour l'ensemble du Sénégal) par le Programme national Biogaz. La formation du personnel des entreprises sénégalaises à la technologie biogaz, mais également aux autres technologies des énergies renouvelables, la sensibilisation des collectivités locales et des populations, la promotion de la recherche sur les filières biomasse, le soutien à l'approvisionnement durable en combustibles domestiques par la diffusion de foyers améliorés constituent le programme d'actions de l'ONG « le Partenariat » (Le Partenariat, 2017, 2018a, 2018b, 2019b). Par exemple, le programme a équipé un site de transformation des poissons par des femmes maraîchères en utilisant des équipements solaires et une installation biogaz avec six biodigesteurs et six fourneaux de cuisson (Le Partenariat, 2019a).

Les améliorations recherchées sur des démonstrateurs, les implantations pilotes initiées dans d'autres pays constituent d'autres aspects de ces programmes d'accès aux énergies renouvelables. Les quelques traits saillants de cette approche incluant la micro-méthanisation sont le développement de ces technologies spécifiques de valorisation des déchets qui suscitent aussi l'intérêt des pays du Nord, leur faible coût pour les populations utilisatrices, leur effet d'entraînement pour une éducation au développement durable (Le Partenariat, 2017). Cet intérêt du Nord s'explique par l'approche décentralisée en de petites unités, alors que la filière biogaz en Europe s'est développée à partir de sites à grande échelle de déchets urbains. Au Nord et au Sud, l'approche micro-biogaz contribue à réduire la pauvreté et offrir du travail localement dans des zones rurales isolées ou enclavées (Schiller et Gueye, 2018 ; Le Partenariat, 2018a).

Dans un bilan établi en 2013 pour l'État sénégalais par le ministre de l'Environnement ayant fini son mandat, il était relevé le contraste entre les potentialités existantes en matière d'énergie renouvelable au Sénégal et le faible niveau de réalisation. Le bilan de la filière biogaz était de 526 biodigesteurs installés pour tout le Sénégal en 2013. Un objectif de 50 % d'accès à l'électricité pour les zones rurales avait été fixé pour 2012, et n'avait pas été atteint. Les ressources enregistrées pour les énergies renouvelables sont celles de la grande et petite hydroélectricité, de l'éolien en zone littorale et du solaire partout, des ressources en biomasse qui étaient évaluées à 30 000 tonnes/jour rien que pour les déjections animales et à 100 000 tonnes/an, rien que pour la *typha australis* du fleuve Sénégal. Le roseau *typha australis* est une espèce locale invasive, dont la prolifération est liée au changement climatique, et qui rend impropre aux activités humaines des espaces humides. Le *typha australis* endommage les cultures et doit donc être fauché. Le déchet végétal obtenu peut être valorisé par la combustion (briquettes compressées, charbon de bois) ou par la fermentation anaérobie (ADEME, 2018).

Le Programme d'Accès aux Énergies Renouvelables prend place dans un schéma plus général d'émergence du Sénégal. La configuration actuelle du schéma électrique comprend trois niveaux, dans un organigramme centralisé. Une société publique d'électricité est intégrée verticalement, agissant comme producteur et comme gestionnaire du réseau électrique du Sénégal. Le Sénégal est organisé administrativement avec une partition en Agences Régionales de Développement. Ces agences sont au même échelon territorial que la société régionale d'électricité, choisie sur un appel d'offres avec un *price cap* de 10 centimes d'euro du KWH environ. Dans 4 régions du Sénégal, il n'y a pas eu de société candidate, ce qui laisse la société nationale en situation de monopole, et dans les autres régions la concurrence est limitée au « couple » société nationale et société régionale. Dans une conférence publique, cet ancien ministre de l'Environnement indiquait que le développement des énergies renouvelables est surtout entravé par le manque d'expertise et de maîtrise des savoir-faire à tous les niveaux. Cette conclusion pour les acteurs publics peut être aussi généralisée pour les acteurs privés, qui ne se bousculent pas pour répondre aux appels d'offre. Ces compétences manquantes, aussi bien du côté public que privé, sont techniques mais aussi économiques et sociales. Cette conclusion est contraire à la vision « soviétique » du développement, encore défendue comme une option pour l'Afrique (par exemple (Maffei et Gregorio, 2016, 293) « l'Afrique montre sans aucune ambiguïté que la vertu (de l'atténuation des émissions de carbone) est indissociable du renoncement au développement »). Cependant, ces mêmes auteurs (Maffei et Gregorio, 2016) indiquent une alternative entre l'option « soviétique » et celle que l'Afrique assume pleinement la transition énergétique, en s'appuyant sur son avance en matière de frugalité de consommation énergétique et de recours à la biomasse.

Figure 3 : Micro-méthanisation



Le Programme d'Accès aux Énergies Renouvelables s'inscrit dans une démarche de décentralisation. Les solutions de micro-méthanisation sont bien adaptées à des démarches de développement rural et de microréseaux en l'absence de réseau électrique de basse tension. Les unités de production « à la ferme » correspondent à un petit cheptel (> à 5 /10 bovidés) et un tas de déchet organique initial d'environ trois tonnes pour mettre en charge le biodigesteur. Le régime optimal du digesteur est obtenu avec une

composition stable d'apports réguliers, par exemple un apport quotidien mixte de 60 % de *typha australis* et 40 % de bouses de vache, environ 50 % de plus de biogaz qu'un lisier seul (Le Partenariat, 2017).

Le digestat obtenu est un fertilisant NPK bioassimilable commercialisable, ce qui apporte des ressources financières à l'exploitation agricole. Le gaz sert à alimenter cuisine et éclairage en autoconsommation à proximité. Les critères mis en œuvre pour sélectionner les projets sont des critères de gouvernance et de leadership, les effets d'entraînement sur l'économie locale, la capacité de gérer le changement vers les énergies renouvelables, en plus de l'analyse de risque (Le Partenariat, 2018d). Le modèle est entrepreneurial, avec des structures de gouvernance très diverses. Des propositions avec de forts effets de levier sur l'économie locale sont privilégiées par ces critères, par exemple l'alimentation d'une zone de maraîchage avec un système biogaz et photovoltaïque qui assure le fonctionnement de l'irrigation des parcelles et la fourniture coopérative du fertilisant en autoproduction.

Le bilan qui peut être tiré d'un exemple comme celui d'une zone maraîchère à Cas-Cas, où il s'agit d'une transition énergétique de 456 parcelles irriguées à partir d'une pompe au diesel, remplacée par un système solaire-biogaz est celui d'un « dividende » triple, à savoir d'une baisse du coût de fonctionnement en raison du coût très élevé des hydrocarbures, d'une réduction des émissions de carbone, et de la création de nouvelles activités, notamment à travers l'installation de cuves biogaz.

Figure 4 : La zone d'activité électrifiée



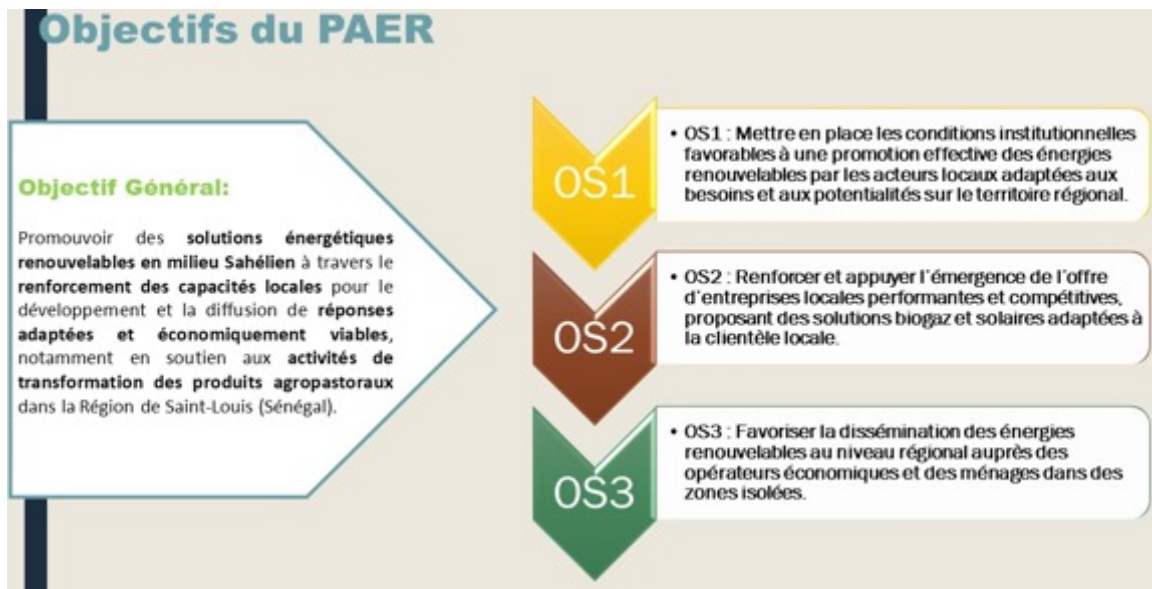
Source : Sow, 2019.

Ces différents critères conduisent à proposer un modèle d'intervention énergétique du PAER, celui des zones d'activités électrifiées, à partir d'un système énergétique solaire et biogaz. Cette solution de micro-réseau procure une offre de services aux artisans locaux, ce qui permet d'atteindre un objectif intermédiaire d'accès universel à l'électricité pour les activités professionnelles. L'existence d'un micro-réseau est un facteur qui joue aussi à terme pour le raccordement au réseau électrique basse tension.

1.1 Contexte et justification du PAER

La région de Saint Louis se caractérise par un faible accès à l'énergie, et de nombreux défis à relever. Il existe de fortes disparités entre les zones urbaines et rurales en raison de l'accès inéquitable aux services énergétiques : seules 13% des zones rurales ont accès à l'électricité, contre 29% à l'échelle nationale du Sénégal.

Figure 5 : Objectifs du PAER



Source : Sow, 2019.

Le taux de pénétration des énergies renouvelables nouvelles reste faible au Sénégal, que ce soit à l'échelle des grandes infrastructures comme à l'échelle individuelle. Les nouvelles infrastructures énergétiques sont parfois favorables, comme des centrales solaires, mais aussi défavorables aux énergies renouvelables comme par exemple une centrale au charbon. Le taux retenu pour le Sénégal par l'AIE dans son dernier rapport (AIE 2019) est de 38 % en total des énergies renouvelables (anciennes et nouvelles), ce qui représente une forte chute par rapport aux taux précédents. Cette réversion provient de différents facteurs qui continueront à jouer dans les années à venir : la découverte et la mise en exploitation de champs pétroliers et gaziers dans le Nord du Sénégal et en Mauritanie, les choix technologiques de la société nationale d'électricité, une élévation du niveau de vie qui accroît la demande de produits énergétiques anciens (hydrocarbures).

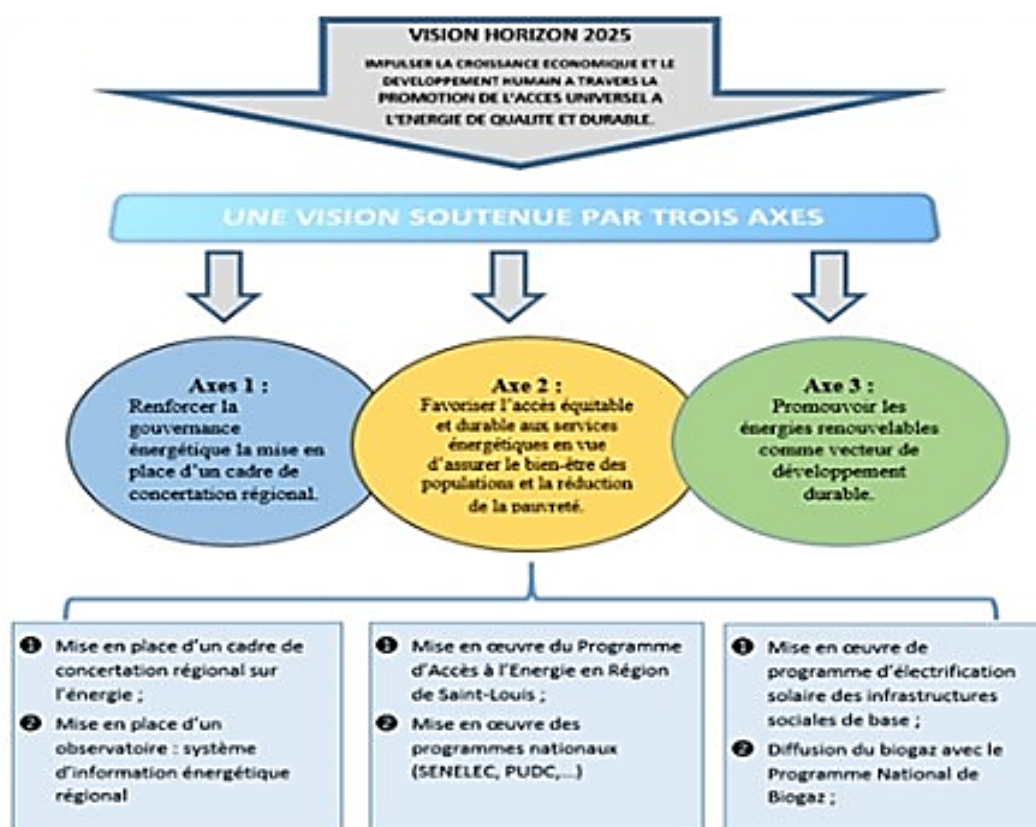
Les opérateurs économiques se trouvent dans des situations économiques déficitaires en raison des coûts onéreux de l'énergie ancienne (hydrocarbures). Le prix élevé des hydrocarbures entraîne une surconsommation du bois de chauffe. L'utilisation du bois de chauffe accélère la désertification. Dans le département de Podor, le taux de consommation de bois atteint 85 % des ménages. Dans le département de Saint Louis, la désertification entraîne des fortes dégradations de l'environnement, particulièrement à travers la raréfaction des palétuviers, espèce ligneuse dominante des mangroves. Cette diminution accroît la vitesse de l'érosion côtière.

Les accords de Niamey de février 2019 portent sur un plan d'investissement pour le Sahel (17 pays sahéliens concernés dont le Sénégal) sur les deux volets de la lutte contre le changement climatique, à savoir l'atténuation et l'adaptation. Cependant les dispositions annoncées concernent, semble-t-il, principalement l'adaptation : le plan d'investissement climat (PIC) de 392,709 milliards de dollars pour la période 2019-2030, en vue de promouvoir la réduction des impacts climatiques dans cette région, est plus richement doté que le Programme régional prioritaire (PRP) estimé à 1,32 milliard de dollars pour accélérer les investissements climat dans la région pour la période 2020-2025. Un dispositif institutionnel, à travers la création d'un secrétariat permanent basé à Niamey, est prévu pour suivre la mise en œuvre de tous les projets relatifs à ce Programme d'investissement climatique.

1.2 Une nécessité d'articuler décentralisation publique et Énergie renouvelable

L'Acte III de la Décentralisation sénégalaise offre la possibilité aux collectivités territoriales d'entreprendre des initiatives durables pour l'atteinte des Objectifs du Développement Durable, particulièrement l'ODD 7 (7.1 d'ici à 2030, garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables et modernes, à un coût abordable ; 7.2 d'ici à 2030, accroître nettement la part de l'énergie renouvelable dans le bouquet énergétique mondial ; 7.3 d'ici à 2030, multiplier par deux le taux mondial d'amélioration de l'efficacité énergétique).

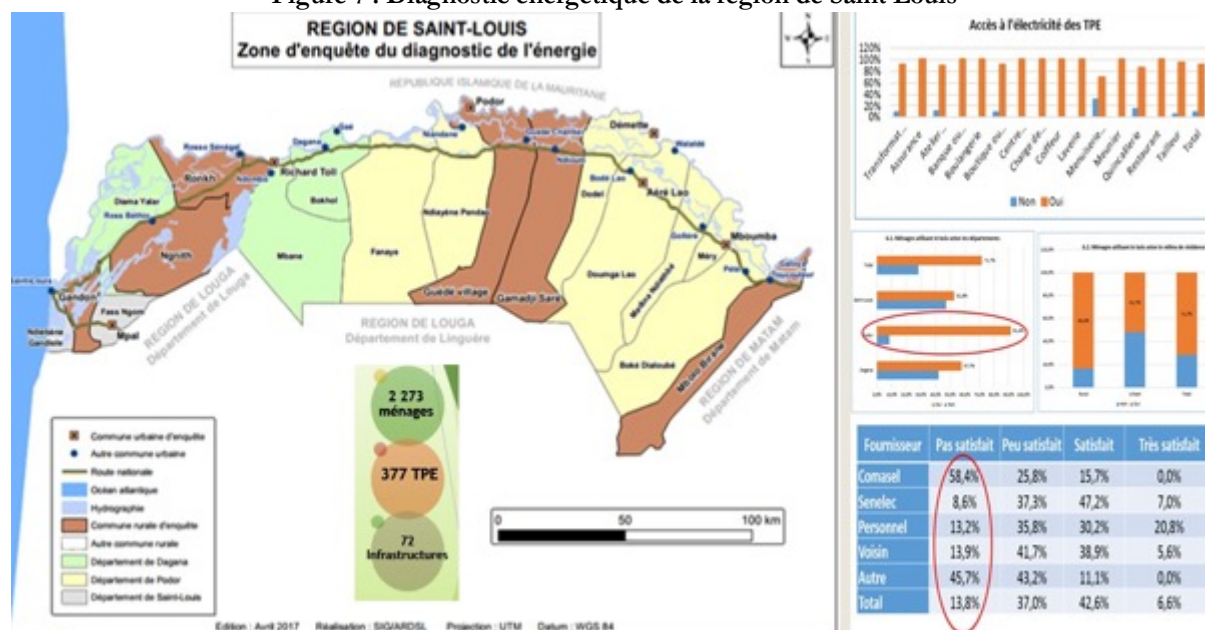
Figure 6 : Politique des énergies renouvelables dans la région de Saint Louis



Source : Sow, 2019.

Les collectivités territoriales, dans le cadre de l'animation du développement durable, éprouvent des difficultés pour intégrer la dimension « Énergie » dans la gestion des territoires, aussi bien sur la coordination des initiatives, sur la planification opérationnelle que sur la mise en œuvre. Ce manque de concertation a poussé les partenaires du PAER à mettre en place un comité régional de coordination sur la question énergétique. Ce comité est porté par l'ARD de Saint Louis et comprend des agences étatiques (sur la maîtrise de l'énergie, sur les énergies renouvelables) mais aussi des concessionnaires, des collectivités territoriales et autres acteurs pertinents.

Figure 7 : Diagnostic énergétique de la région de Saint Louis



Source : Sow, 2019.

Le diagnostic régional de l'énergie indique une insatisfaction la plus grande devant les services délivrés par la société régionale (COMASEL). Des propositions de réforme existent de l'ensemble du schéma d'organisation du secteur de l'électricité, cependant, de l'aveu même des auteurs de ces propositions, elles ne tiennent pas compte de la dimension énergie renouvelable du problème (Ba, 2018). C'est plutôt un scénario favorable aux ODD 7.1 et 7.3, au détriment de l'ODD 7.2, c'est-à-dire des mix énergétiques figés dans un conservatisme technologique, qui se dessine à l'échelle mondiale selon le dernier rapport de l'AIE (AIE, 2019). Les bases de données de la banque mondiale indiquent des processus en termes de gain en efficacité énergétique (ODD 7.3) pas très différents entre les pays, la situation du Sénégal se situant dans les tendances et les moyennes constatées à l'échelle de la planète. Plus difficile à expliquer, est le phénomène de réversion dans des filières anciennes qui est constaté à l'échelle mondiale, et qui peut être aussi décliné à l'échelle du Sénégal (AIE, 2019).

2. QUALITÉ, PRIX ET DÉCENTRALISATION : UNE ÉCONOMIE POLITIQUE INTERNATIONALE DE L'ACCÈS À L'ÉNERGIE

Une économie politique internationale à travers un microcosme : la centrale de Bargny (près de Dakar) est une nouvelle centrale au charbon qui va commencer à produire (voir reportage de TV5 monde (TV5, 2018)). Le directeur de la société publique indique qu'il préfère le développement au développement durable dans ses déclarations à la presse. Une solution rapide devait être trouvée aux habitants de la capitale devant les coupures fréquentes du réseau électrique. Cette situation de conflit forme un modèle, avec un élu local favorable au projet, et les activités artisanales de la filière pêche opposées ; un peu comme le début de la guerre froide avait été immortalisé dans un microcosme avec le conflit Peppone versus Don Camillo en 1951.

La structure des préférences pour les services avec accès à l'électricité est bimodale : les solutions les plus appréciées sont soit les solutions *bottom up* de l'énergie renouvelable « à la ferme » (solution que nous allons appeler « Don Camillo »), soit la SENELEC, société nationale qui installe la centrale au charbon (solution « Peppone »). L'acceptabilité ou non du biogaz n'intervient pas comme une césure majeure dans les préférences (CER, 2018).

Les firmes les moins appréciées sont les producteurs régionaux, choisis selon une procédure d'attribution *price cap*, qui concurrence la firme publique SENELEC.

Figure 8 : Atténuation et adaptation

	Atténuation	Adaptation
Centrale de Bargny	Atténuation sacrifiée : politique pro-carbone	Réponse standard au changement climatique : migration interne et développement urbain
Biomasse	Politique de capture de méthane	Fourniture d'énergie à partir de la biomasse Contre-mesures si la biomasse baisse Utilisation de la biomasse en énergie pour la croissance du produit naturel en milieu humide (prolifération des roseaux <i>typha australis</i>)

Que fait le maire de Bargny : il installe une immense installation polluante qui permet de couvrir la demande de la métropole Dakar. Face à l'érosion marine, il crée ex nihilo une ville nouvelle en recul de la côte financée par l'installation de la centrale au charbon. Une politique contraire à l'atténuation finance une adaptation dirigiste. Décliné à l'échelle planétaire, cela est une explication des mauvais résultats mondiaux constatés par l'Agence Internationale de l'Energie (AIE, 2019). Les solutions « Don Camillo » se déclinant plus lentement dans un processus *bottom up* conciliant atténuation et adaptation ont une faible incidence immédiate sur les résultats mondiaux.

Dans les statistiques mondiales, le Sénégal qui n'avait pas recours au charbon avant 2015, se retrouve avec une centrale de fonctionnement avec le procédé le plus polluant, ce que constate le rapport de l'AIE : croissance de la consommation de charbon, le choix énergétique qui pèse à lui tout seul 45 % des émissions de carbone, après la COP 21.

L'accord de Paris (COP 21) dans sa structure avive une dimension d'économie politique : ce sont bien des arbitrages politiques qui vont être déterminants pour les résultats en termes d'atténuation et d'adaptation au changement climatique.

Figure 9 : Qualité perçue des services énergétiques

Fournisseur	Niveau de service attendu	Satisfait, ou très satisfait
Prestataire sur appel d'offre régional (ici COMASEL ou autre prestataire)	Niveau 4 : réseau interconnecté qui accepte une montée des puissances électriques demandées	15,7 %
SENELEC : intégration verticale d'un réseau de distribution et d'un producteur	Niveau 4	54,2 %
« à la ferme », micro-réseau de zone artisanale	De 0 à 4	51 %

Fournisseur	Pas satisfait	Peu satisfait	Satisfait	Très satisfait
Comasel	58,4%	25,8%	15,7%	0,0%
Senelec	8,6%	37,3%	47,2%	7,0%
Personnel	13,2%	35,8%	30,2%	20,8%
Voisin	13,9%	41,7%	38,9%	5,6%
Autre	45,7%	43,2%	11,1%	0,0%
Total	13,8%	37,0%	42,6%	6,6%

Niveau de service	Ensemble des services
0	Gaz pour cuisson et éclairage
1	Électricité : éclairage, recharge téléphone
2	niveau 1 + TV
3	Niveau 2 + réfrigérateur, ventilateur
4	Niveau 3 et production de froid, appareils professionnels

CONCLUSION : PAS DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE SANS DÉCENTRALISATION

Il ne s'agit ici que d'une étude de cas. Elle apporte des éléments probatoires en faveur d'une vision plus décentralisatrice du secteur énergétique. Il s'agit surtout d'améliorer la distribution, à la fois de l'énergie, et aussi des sous-produits de la filière biogaz comme les fertilisants (digestat, dont le volume de production représente 70 à 90 % du tonnage des intrants). Un effort de modernisation de la distribution en faveur des énergies renouvelables nous semble une étape importante à venir.

Il existe des propositions de révision du schéma du secteur électrique au Sénégal, propositions qui conduiraient à un renforcement des positions de monopole à l'intérieur du réseau interconnecté (Ba, 2018). Le risque est alors d'avoir un réseau électrique avec un mix énergétique très défavorable aux énergies renouvelables, du fait du manque d'expérience des grands opérateurs historiques de l'électricité à la fois du biome sahélien et des conditions sociales de mise en œuvre effective des énergies renouvelables. Celles-ci resteraient confinées aux situations hors réseau principal, dans des solutions « à la ferme » ou en micro-réseaux.

La réversion, c'est-à-dire la politique énergétique pro-carbone du passage d'énergies renouvelables à une énergie fossile, est ici conduite par le secteur charbonnier de l'Afrique du Sud. La politique publique de l'Afrique du Sud est passée de l'injection massive de fonds publics combinée à une hausse des tarifs pour sauver le monopole historique de l'électricité d'origine charbonnière, à une taxation du carbone en 2019. La filière charbon discriminait les mineurs africains pendant la période de l'apartheid et possédait le monopole vertical et horizontal couvrant le transport, la production et la distribution de l'énergie électrique. La mise en eau de grands barrages hydroélectriques modifie la donne, avec une disponibilité d'une énergie à bas prix de meilleure qualité. La fin de l'apartheid a permis l'électrification de l'Afrique Australe par la généralisation des compteurs individuels à prépaiement. Antérieurement, le monopole charbonnier fournissait principalement de grands comptes et avait fait des choix techniques peu regardant sur la qualité délivrée. Les nombreux nouveaux consommateurs se montrent plus exigeants et manifestent une grande insatisfaction devant la médiocre qualité des services du monopole carboné (Jaglin et Dubresson, 2015). L'implantation de la centrale sénégalaise de Bargny est à replacer dans ce contexte, où la menace principale pour le monopole carboné provient de l'énergie hydroélectrique, dont les potentialités restent modérées au Sénégal. 90 % des ressources hydroélectriques africaines restent inexploitées, une implantation en zone sahélienne où les potentiels de l'hydroélectricité sont moindres ouvre la perspective d'une position dominante sur le marché de l'énergie pour des acteurs historiques dont la situation est très fragilisée par le renforcement de l'Afrique Verte (CEREEF, 2018 ; Barré et Mérenne-Schoumaker, 2017 ; Favennec et Mathieu, 2014).

BIBLIOGRAPHIE

- ACADÉMIE DES TECHNOLOGIES (2016) *Le biogaz*, Paris, EDP Sciences.
- ADEME (2018) Projet TYCCAO Typha Combustible Construction Afrique de l'Ouest, Paris.
- AIE (Agence Internationale de l'Énergie) (2019) *2019 Tracking SD7. The Energy Progress Report*, Paris, 22 mai.
- BA A. S. (2018) Accès universel et durable à l'électricité au Sénégal. Les conditions du succès, Document de travail, Université Paris Dauphine, 11 septembre.
- BARRÉ B., MÉRENNE-SCHOUMAKER B. (2017) *Atlas des énergies mondiales. Un monde en transition*, 4^e éd., Paris, Autrement.
- CER (Centre ressource du développement durable) (2018) Acceptabilité des énergies renouvelables. L'exemple de la méthanisation, Loos en Gohelle.
- CEREE (Centre pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique) (2018) Rapport de progrès régionaux sur les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique et l'accès à l'énergie dans la région de la CEDEAO, Praia (Capo Verde).
- DE LUMLEY H. (2017) *La domestication du feu aux temps paléolithiques*, Paris, Odile Jacob.
- FAVENNEC J.-P., MATHIEU Y. (2014) *Atlas mondial des énergies. Ressources, consommation et scénarios d'avenir*, Paris, Armand Colin.
- JAGLIN S., DUBRESSON A. (2015) *ESKOM, électricité et pouvoir en Afrique du Sud*, Paris, Karthala.
- KOUEDJIN K. (2018) *Réussir le pari des énergies renouvelables en Afrique subsaharienne : quels modèles d'intervention en zone rurale ?*, mémoire, Université de Lille.
- LE PARTENARIAT (2017) Capitalisation des savoirs acquis par Le Partenariat sur les projets de méthanisation, Lille, décembre.
- LE PARTENARIAT (2018a) Synergies entre les secteurs de l'énergie et les autres secteurs stratégiques pour la réduction de la pauvreté dans la région de Saint-Louis, Lille.
- LE PARTENARIAT (2018b) Projet biogaz ville de Saint Louis. Bilan opérationnel 2017 et perspective 2018, Lille.
- LE PARTENARIAT (2018c) PAER en région de Saint-Louis (2017-2019). Rapport diagnostic énergie en région de Saint Louis, Lille, avril.
- LE PARTENARIAT (2018d) Critères d'éligibilité des projets PAER, Lille.
- LE PARTENARIAT (2019a) Étude de faisabilité des projets d'installation d'unités collectives de production de biogaz aux sites de transformation des produits halieutiques dans la région de Saint-Louis, Lille.
- LE PARTENARIAT (2019b) Formation des élus et des techniciens de la commune de Saint Louis à la gestion des filières biogaz, Centre Diapalanté, Saint Louis du Sénégal.
- LE PARTENARIAT (2019c) Programme biogaz des régions de Saint Louis et de Matam au Sénégal. Prévisions 2019, Lille.
- MAFFEI B. R., GREGGIO R. (2016) *Après la COP 21. Géopolitiques de la transition énergétique*, Paris, Technip.
- RUOLZ A. (2015) Biogaz et reforestation en Haïti sous l'angle du principe de Santé dans toutes les politiques, *Journal of Haitian Studies*, vol. 21, n° 1, Spring, 4-25.
- SCHILLER H., GUEYE M. (2018) Nouvelles opportunités pour le compte du projet Réussir au Sénégal, Green City, Saint Louis du Sénégal.
- SOW A. (2019) Politique sectorielle en matière d'énergie renouvelable dans la région de Saint Louis du Sénégal, Conseil Régional Hauts de France, Lille, mars.
- TV5 MONDE (2018) (journaliste Taoufiqi I.) Sénégal : bataille contre la future centrale à charbon de Bargny, consultable sur YouTube, 17'44, 13 juillet.
- ZHANG L., LI F., SUN B., ZHANG C. (2019) Integrated Optimization Design of Combined Cooling, Heating and Power System coupled with Solar and Biomass Energy, *Energies*, vol. 12, issue 4, 1-21.

L'APD de la Chine en Afrique centrale : le double paradoxe lié à la production et au financement des barrages hydroélectriques au regard de la transition énergétique des pays récipiendaires¹

Théophile DZAKA-KIKOUTA² et Francis KERN³

Parmi les pays émergents, la Chine occupe le 1^{er} rang comme pays donateur, partenaire commercial et pays créancier et investisseur au profit du continent africain (BAD 2011, FMI 2011, Yuan Sun et *al.*, 2017 ; Chen, 2018 ; CARI 2019). Ce leadership de la Chine comme créancier et investisseur revêt une dimension plus large car, à l'échelle mondiale, la Chine occupe le 1^{er} rang pour le financement des projets d'infrastructure en Afrique avec, selon China-Africa Research Initiative (CARI, 2019), des prêts de 148 milliards de USD octroyés par la Chine aux gouvernements africains et à leurs entreprises publiques de 2000 à 2018 ; ces prêts ont surtout financé les projets d'infrastructure et l'exploitation des ressources naturelles. L'Angola se classe au 1^{er} rang des bénéficiaires de ces prêts avec 43,2 milliards de USD reçus sur cette période.

S'agissant du financement et de la réalisation des projets de barrages hydroélectriques, divers auteurs (Eberhard, 2015 ; Brautigam et *al.*, 2015 ; Tang et Shen, 2019 ; Avadikyan et Mainguy, 2016) attestent de l'engagement de la Chine en Afrique, depuis des décennies, à l'inverse des bailleurs traditionnels membres de l'OCDE qui ont eu tendance à renoncer au financement des projets d'infrastructure dont l'Afrique accuse pourtant un important déficit. Ainsi, l'Aide Publique au Développement (APD) chinoise privilégie le financement et la construction des barrages hydroélectriques, tant et si bien que, selon le rapport de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE, 2016, Brautigam et *al.*, 2015), les groupes publics chinois construisent actuellement 30% des nouvelles capacités électriques en Afrique subsaharienne, soit plus de deux cents projets entre 2010 et 2020. Abstraction faite des projets réalisés en Afrique du Sud, on estime à 46% les nouvelles capacités électriques construites par des firmes publiques chinoises, comme Sinohydro, en Afrique au point de dire à la suite de Benazeraf (AIE, 2016) qu'un mégawatt sur deux en Afrique est d'origine chinoise.

Or, pour l'AIE (2016), le problème de l'accès à l'électricité a tendance à se concentrer en Afrique subsaharienne (ASS hors Afrique du Sud) qui comporte désormais plus de la moitié de la population africaine privée de courant contre moins d'un tiers en 2000. Si 517 millions de personnes n'avaient pas accès à l'électricité en 2000, elles sont 580 millions dans ce cas en 2016, alors que dans les autres régions du monde on note un net recul des personnes sans accès à l'électricité (Asie : 1 059 millions en 2000

¹ Les auteurs remercient sincèrement leurs collègues, Thierry Montalieu (Université d'Orléans) et Hubert Gérardin (Université de Lorraine), pour leurs précieux commentaires qui ont contribué à améliorer la version finale du présent papier, néanmoins les auteurs restent seuls responsables d'éventuelles erreurs subsistantes.

² CREP-Université Marien Ngouabi de Brazzaville & Chercheur invité au BETA, Université de Strasbourg. dzaka@unistra.fr

³ BETA, Professeur émérite de l'Université de Strasbourg. fkern@unistra.fr

contre 439 millions en 2016 ; Amérique du Sud : 56 millions contre 17 millions en 2016). Sur une production totale de 195 TWh en 2015, en Afrique subsaharienne, la majorité de l'électricité provient de l'hydroélectricité (53,5%), contre 23% pour le gaz, 14,5% pour le pétrole, 5,5% pour le charbon, 2,5% pour la géothermie, 0,5% pour l'éolien et 1% pour les divers. On constate ici que la production de l'électricité de la seule Afrique du Sud (249,5 TWh, pour 50 millions d'habitants) dépasse celle de l'ASS comptant plus de 900 millions d'habitants en 2015 (in *Lettre géopolitique de l'électricité* n° 82 du 29 mars 2018). Si l'ASS veut parvenir à une électrification complète dans les décennies à venir (à l'horizon 2030), elle devra donc maximiser la production des énergies renouvelables (Goal, 2016), spécialement l'hydroélectricité dont le potentiel de l'Afrique est estimé à plus de 300 000 MW alors qu'à peine 10% de ce potentiel est exploité actuellement.

La technologie chinoise en hydroélectricité a fait ses preuves sur le marché domestique puis dans les pays voisins d'Asie (Dzaka-Kikouta, 2011 ; Meriade, 2015 ; Han, 2018) et s'exporte depuis les années 2000 vers l'Afrique à des coûts compétitifs grâce au mécanisme de « packages deals » (Dzaka-Kikouta et Kern 2019 ; Dzaka-Kikouta, Kern et Gonella 2014) liant l'APD à l'IDE et au commerce. En effet, la Chine fournit non seulement la main-d'œuvre pour le génie civil et le BTP grâce à son expérience du barrage des Trois Gorges⁴, le plus spectaculaire, mais aussi leur financement. Ainsi, au titre de la problématique, notre principale question de recherche est la suivante : dans quelle mesure l'APD chinoise a-t-elle contribué au financement et à la réalisation des projets de barrages hydroélectriques dans les pays de la CEEAC ? La question subsidiaire est de savoir comment ces projets d'énergie propre concilient la transition énergétique des pays sous analyse et la transition écologique dans le respect de l'environnement et des droits des populations locales.

Comme hypothèses de recherche, on soutient d'abord que, dans le contexte des pays d'Afrique centrale, les avantages de l'hydroélectricité apportée par l'APD chinoise ne seront maximisés, y compris pour la transition énergétique, que sous réserve d'inscrire ces projets de barrages dans le cadre du pool énergétique via l'interconnexion des réseaux nationaux d'électricité, tout en diversifiant le bouquet énergétique au profit d'autres énergies propres, notamment les énergies solaire et éolienne pour lesquelles l'offre technologique de la Chine se révèle aussi compétitive sur le marché mondial. On soutient ensuite que la durabilité des projets de barrages hydroélectriques suppose la prise en compte des contraintes environnementales et des droits sociaux des populations locales et autochtones ; ce qui suppose une bonne gouvernance des projets, en vue de permettre aux développeurs d'obtenir la sûreté des barrages, la résilience au climat, l'implication des parties prenantes pour le « permis social », ainsi que la participation du secteur privé (y compris les investisseurs chinois ou autres) via des partenariats public/privé.

Au plan méthodologique, nous avons convoqué la littérature sur l'APD chinoise à l'Afrique, notamment dans le développement des énergies renouvelables (Dzaka-Kikouta, 2009). On a aussi mobilisé les travaux de Dunning (1993) ayant identifié quatre mobiles d'internationalisation des FMN : recherche de ressources ; recherche de marchés ; recherche de l'efficacité ; recherche d'actifs stratégiques. Pour l'étude empirique, nous nous sommes appuyés sur les données de CARI de John Hopkins University, pour faire l'état des lieux du financement et de la construction par les groupes publics chinois des barrages hydroélectriques dans les pays de la CEEAC depuis 2000. Cet article est structuré en deux parties : la première partie présente le premier paradoxe lié à la production de l'hydroélectricité en Afrique centrale par des FMN chinoises ; la seconde partie est consacrée à l'examen du second paradoxe lié au financement et au risque concessionnel des projets de barrages hydroélectriques en Afrique centrale.

1. PREMIER PARADOXE LIÉ À LA PRODUCTION DE L'HYDROÉLECTRICITÉ EN AFRIQUE CENTRALE

Le premier paradoxe concerne ces projets d'énergie propre qui pourraient contribuer à la transition énergétique des pays récipiendaires dans le respect de l'impact environnemental. La contradiction en terme de développement est la suivante : d'une part, l'hydro-électricité est une énergie renouvelable et prometteuse pour l'Afrique, en particulier pour l'Afrique centrale avec le bassin du fleuve Congo, mais aussi au Gabon avec celui de l'Ogooué où le groupe chinois Sinohydro construit le barrage « Grand Poubara » de 160 MW, ou encore au Cameroun avec celui du Ntem où le groupe chinois Sinohydro édifie le barrage « Memve'ele » de 200 MW... mais, d'autre part, l'emprise territoriale et les populations

⁴ Le groupe China Three Gorges Corporation, CTG est actuellement leader mondial de l'énergie propre, ce groupe a réalisé le barrage des Trois Gorges sur le fleuve Yangtse d'une capacité de 22,5 GW, ce groupe est implanté sur les cinq continents dont 16 pays africains, y compris Cameroun, Burundi, RDC.

déplacées sont le revers de la médaille de ces chantiers gigantesques. Le second point sensible de cette transition est que ce mode de développement sous-tend la centralisation de la production qui est destinée aux villes (ménages et industries manufacturières) et aux industries extractives très présentes en Afrique centrale. Il existe de ce fait une relation étroite entre sécurité énergétique et production de l'électricité pour les industries extractives comme mobile des IDE chinois. Il en résulte que le coût de connexion et de transport de l'électricité constitue des externalités négatives car nécessitant des infrastructures publiques et une dépendance à l'égard des financements extérieurs.

Au plan conceptuel, il convient de noter d'abord que la Chine a une acception de l'APD plus large que celle des bailleurs traditionnels membres du CAD de l'OCDE. Cette APD comporte les trois composantes (Dzaka-Kikouta, Kern, Gonella, 2014, 194-198 ; Jin, Ma, Gallagher, 2018, 1-9) suivantes :

- ❑ les dons, y compris l'assistance technique et les remises de dettes (41,4% du total) ;
- ❑ les prêts sans intérêt (29,9% du total), non nécessairement remboursés car on estime que près de 90% des dettes contractées dans ce cadre sont annulées ;
- ❑ les prêts à taux préférentiels pour les projets industriels et d'infrastructure (28,7% du total), qui sont impérativement remboursés et dont le taux d'intérêt annuel et la période de remboursement varient en fonction des pays et des projets considérés (en moyenne 2% à 3% sur 10 ou 15 ans, voire 20 ans sans délai de grâce). Ces prêts, qui sont en augmentation depuis les années 2000, jouent un rôle majeur dans le financement par la Chine des barrages hydroélectriques construits par des groupes chinois en Afrique. Le tableau 1 renseigne sur l'état des lieux des projets de barrages hydro-électriques financés et réalisés par des groupes chinois en Afrique centrale.

Tableau 1 : Situation des projets de barrages hydroélectriques financés et réalisés par les groupes chinois en Afrique centrale de 2000 à 2018

Pays	Projet et fleuve/ rivière	Capacité ajoutée en MW	Groupe Chinois	Coût total (millions \$)	Financement Chinois	Autres créanciers	Termes du prêt chinois et année de	Durée de construction	État actuel du projet
Angola	1-Chiumbe Dala	12,42 MW	Sinohydro		China Eximbank				En cours
	2-Caculo Cabaça sur le fleuve Kwanza	2172 MW	Gezhouba Group Co.Ltd	4500	China Industrial & Commercial Bank (ICCB)			6 ans (2017-2023)	En cours
Cameroun	1-Memve'ele sur le fleuve Ntem	200 MW	Sinohydro	637	China Eximbank(541)	BAD/BDEAC Dutch Development bank	2012, 85%	5ans	Opérationnel
	2- Lom Paneeur sur le fleuve Sanga	30MW	China International Water and Electric Co	198		BM/BEI/AFD		2 ans (2015-2017)	Opérationnel
Congo Brazza	1-Imboulou sur le fleuve Lefini	120MW	China Machinery Engineering Co (CMEC)	306,8	China Eximbank(238)		2003, 78% au taux de 2% sur 15 ans	7 ans (2004-2011)	Opérationnel
	2- Liouesso sur la rivière Lengove	19MW	Sinohydro et Gezhouba	207	China Eximbank		2014	3 ans (2014-2017)	Opérationnel
Gabon	Grand Poubara sur le fleuve Ogooué	160 MW	Sinohydro	398	China Eximbank (300)		2008, 75% au taux de 2% sur 20 ans		En cours
Guinée Equatoriale	Djibloho sur le fleuve Wele	120 MW	Sinohydro	257	China Eximbank		2007, Taux d'intérêt de 5% sur 5 ans		Opérationnel

RDC	1-ZongoII sur la rivière Inkisi	150 MW	Sinohydro	367,5	China Eximbank(360)		2012, Taux d'intérêt 2% sur 20 ans	En cours
	2-Busanga	240 MW	Sinohydro	660	China Eximbank		2015, JV État Congolais et Groupes miniers chinois (Beijing China Mining Co. Ltd et Xingliang Mining Corp., Contrat de buy-back	La construction de ces deux barrages (Busanga, Semuliki) a été différée en attendant un accord sur le contrat de type « buy-back » sur les produits miniers à exploiter et à exporter vers la Chine
	3- Semuliki	70 MW	Sinohydro		China Exim bank			
RCA	1-Boali2	5MW	ChinaGezhouba Group Co.		China EximBank	BAD (8 Milliards de Francs CFA)		Opérationnel
	2-Boali 3	10MW	Zhejiang Electric Power Construction & Sinohydro		China Eximbank			

Source : Compilation des auteurs à partir de la Base de données de CARI, 2018, John Hopkins University.

Il en résulte la dualité du modèle de financement de l'APD chinoise, en ce sens qu'une distinction est faite entre les projets d'infrastructures sociales et les projets relatifs au secteur industriel et aux infrastructures économiques. Le financement de ces derniers est assuré conjointement par les institutions publiques (Eximbank of China en général, China Development Bank) et les groupes chinois opérant dans les pays récipiendaires, à travers des prêts à taux préférentiels et des crédits commerciaux assortis d'une procédure de remboursement comme les contrats « buy-back ». En fait, la Chine propose des contrats globaux via des « packages deals », selon le mode opératoire dit « modèle angolais » permettant d'échanger les contrats pétroliers et miniers contre les projets d'infrastructure et parfois la constitution de Joint-ventures (Dzaka-Kikouta et Kern 2019).

Les FMN publiques chinoises engagées dans la construction des barrages hydroélectriques en Afrique (Sinohydro, Gezouba, China International Water and Electric Corporation, China Machinery Engineering Corporation) se sont internationalisées selon les mobiles identifiés par Dunning (1993), dans le cadre de nouvelles formes d'investissement international et en déployant la « stratégie techno-financière » décrite par Michalet (1976, 1985), qui renvoie à des partenariats interentreprises qui ne se traduisent pas toujours par des prises de participation des groupes chinois dans les entreprises du pays d'accueil. Deux des quatre mobiles sont souvent observés ici : la recherche des débouchés et la recherche d'actifs stratégiques.

La maîtrise de la technologie de l'hydroélectricité par les groupes chinois sur le marché domestique (cf. la réalisation du barrage des Trois Gorges sur le fleuve Yantze de 22,5GW qui est le plus grand du monde) et régional (ASEAN) a rendu possible cette internationalisation de leurs activités en Afrique et dans les autres PVD, en leur conférant un avantage technologique synonyme d'avantage compétitif. Mais l'exportation de la technologie chinoise en matière d'hydroélectricité s'est accompagnée d'une montée du financement extérieur des États africains pour réaliser les barrages et les infrastructures de transport et de connexion de l'électricité ; d'où l'apparition du second paradoxe de l'hydroélectricité lié au financement extérieur et au risque concessionnel.

2. DEUXIEME PARADOXE DE L'HYDROÉLECTRICITÉ LIÉ AU FINANCEMENT EXTÉRIEUR ET AU RISQUE CONCESSIONNEL DES BARRAGES AU PROFIT D'INVESTISSEURS CHINOIS

Le second paradoxe est celui du financement de la réalisation des barrages mais aussi de l'achat des équipements, en premier lieu les turbines made in China. Le financement est constitué de prêts remboursables, dont les taux d'intérêt ne se calculent pas en fonction du marché Libor mais sont fixés unilatéralement par les créanciers chinois, de ce fait il ne s'agit pas d'APD mais bien au contraire de financement d'infrastructures remboursable, avec risque concessionnel en cas de non paiement comme c'est le cas pour certaines réalisations récentes. Les taux d'intérêt préférentiels et les délais pratiqués par les créanciers chinois se réfèrent aux conditions concessionnelles de l'AID/IDA, une institution spécialisée du groupe de la Banque mondiale ; néanmoins, leurs taux d'intérêt ne sont pas revolving mais fixes, les taux d'intérêt pratiqués en Afrique pour les projets de barrages étant de 2% à 3% en moyenne avec une échéance de 20 ans, (Hwang, Brautigam et Wang, 2015 ; Jin, Ma et Gallagher, 2018, 1-9) ; de ce fait, il ne s'agit pas d'APD, mais dans la conception chinoise de l'APD on parle de « coopération au développement » (Dzaka-Kikouta, Kern, Gonella, 2013) en lieu et place d'APD. Ce point est crucial et mérite un large commentaire, dans ce contexte où beaucoup de pays africains, surtout ceux d'Afrique centrale, sont en position de surendettement vis-à-vis de la Chine (Congo-Brazzaville, Cameroun, mais aussi en Afrique de l'Est, comme Djibouti, le Kenya et la Zambie). En cas de non paiement de leur dette vis-à-vis de la Chine, les contrats de concession type Build Operate and Transfert (BOT), par exemple, pourraient être mobilisés par les créanciers publics chinois pour prendre le contrôle des projets d'infrastructure économique en Afrique (projets routiers, portuaires, ferroviaires, et probablement projets de barrages hydro-électriques), comme cela a été observé en Asie pour les ports du Sri Lanka et s'observe déjà en Afrique, en Ethiopie pour le chemin de fer Addis-Abeba-Djibouti ou encore au Kenya pour le chemin de fer Nairobi-Mombassa et au Congo Brazzaville pour la route bitumée Brazzaville-Pointe/Noire ...

Au plan empirique, la présence des groupes chinois de construction de barrages hydroélectriques en Afrique centrale nous permet de retenir, à titre provisoire, les faits stylisés ci-après.

□ Selon l'AIE (2016) et Brautigam et *al.* (2015), les groupes publics chinois construisent actuellement 30% des nouvelles capacités électriques en Afrique subsaharienne, soit plus de 200 projets entre 2010 et 2020. Hors Afrique du Sud, on estime à 46% les nouvelles capacités électriques construites par les groupes chinois, au point de dire comme Benazeraf (AIE, 2016) qu'un Megawatt sur deux en Afrique est d'origine chinoise. Grâce à sa maîtrise technologique et à l'ampleur de son engagement financier, la Chine se positionne désormais comme le principal partenaire extérieur des pays africains dans la réalisation des projets de barrages hydroélectriques, de nombreux investisseurs privés étrangers (américains surtout) s'étant retirés de l'Afrique après la crise financière de 2008 (Eberhard, 2015).

□ Le mécanisme de « *packages deals* » conclus par les groupes chinois en Afrique pour la réalisation des barrages hydroélectriques ne s'accompagne pas toujours de la garantie de sécurisation des approvisionnements en matières premières pour leur pays d'origine dans le cadre de contrats buy-back (cas du projet Belinga au Gabon, pour l'approvisionnement en fer en contrepartie de la réalisation du barrage de Grand Poubara par Sinohydro ; cas du projet Busanga réalisé par Sinohydro en RDC en contrepartie de l'approvisionnement en produits miniers). Ceci prouve que de tels projets comportent des risques non encore maîtrisés par les partenaires chinois. Il en résulte parfois le report ou l'abandon des projets de réalisation des barrages hydro-électriques, en raison d'un manque d'accord à temps, entre groupes chinois et gouvernements africains, concernant la signature des contrats « buy-back » qui sont supposés sécuriser durablement l'approvisionnement en produits miniers de la Chine.

□ Les groupes chinois de construction des barrages observent parfois de longs délais d'attente entre l'annonce du financement et la réalisation des projets. Ces longs délais, qui prennent souvent plusieurs années, sont imputables au fait que les groupes chinois exigent parfois du gouvernement du pays d'accueil le versement de 10 à 15% du coût total du projet, avant de commencer la construction du barrage. Ces revenus sont en général gagés sur les recettes d'exportation de produits pétroliers et miniers et versés dans un compte de China Eximbank, en attendant l'approbation de prêts au pays africain par la China Eximbank. Ainsi, au Congo Brazzaville, par exemple, le groupe chinois CMEC n'a démarré les travaux du barrage d'Imboulou (120 MW) qu'en 2003 alors que les études de faisabilité étaient terminées depuis 1982 ! (Hwang, Brautigam, Wang, 2015).

□ Les études d'impact environnemental et social sont systématiquement réalisées par les sociétés européennes d'engineering au profit des groupes chinois de construction de barrages hydroélectriques en Afrique et ces études sont financées en général par la China Eximbank (Hwang, Brautigam, Wang, 2015).

Il reste néanmoins à savoir dans quelle mesure ces études intègrent des critères d'intérêt général tout en associant les populations autochtones ou riveraines des barrages et la reconnaissance de leurs droits. Quelle place peut jouer l'institution juridique en cas de litige ?

□ Dans le double but d'acquérir les actifs stratégiques (renforcement de leurs compétences techniques et managériales) auprès de FMN de l'OCDE et d'offrir des garanties de qualité au gouvernement du pays d'accueil, en rapport avec les standards internationaux, les groupes chinois de construction des barrages hydroélectriques en Afrique signent systématiquement des contrats de partenariat avec les groupes européens d'engineering pour la surveillance technique des projets (cas de la firme allemande Gauff Engineering pour le projet de barrage grand Poubara au Gabon, cas de la firme allemande Fichtner pour le barrage d'Imboulou au Congo Brazzaville). Il est bien reconnu à travers le monde que les groupes industriels allemands maîtrisent aussi la technologie de l'hydroélectricité et sont capables de vendre des équipements à forte valeur ajoutée et fiables, notamment les turbines, pour les centrales hydroélectriques, à l'instar des groupes américains. Tel est aussi le cas pour le français Alstom, d'où l'enjeu aujourd'hui du choix de General Electric au détriment de Siemens dans le rachat d'Alstom.

□ Enfin, par rapport à l'implication de la main-d'œuvre locale et à la thématique du transfert des connaissances et de savoir-faire, il ressort de l'étude des cas des projets de barrages hydroélectriques par les groupes chinois en Afrique centrale ce qui suit.

Les groupes chinois importent leur main-d'œuvre de Chine, notamment pour le personnel qualifié (ingénieurs et ouvriers qualifiés), mais recrutent localement la grande partie de la main-d'œuvre, dans les proportions respectives de 20% (Chinois et experts européens de firmes d'engineering) et 80% (travailleurs africains, y compris les ingénieurs et ouvriers). Dans le projet de barrage d'Imboulou d'une capacité de 120MW, au Congo Brazzaville, le groupe chinois CMEC a mobilisé 2 430 travailleurs dont 400 Chinois, 30 Allemands et 2 000 travailleurs Congolais. La cohabitation entre travailleurs chinois et africains crée une communauté de pratiques qui a aussi tendance à favoriser le transfert de connaissances au profit des travailleurs locaux, à l'instar de ce qui a été observé dans les autres chantiers de BTP (Dzaka-Kikouta, Kern, Gonella, 2014).

Au Cameroun, le groupe chinois Sinohydro, qui construit le barrage hydroélectrique de Memve'le de 200MW sur le fleuve Ntem, s'est engagé à renforcer le transfert de connaissances au profit des ingénieurs camerounais qui reçoivent une formation au sein du projet pour prendre, par la suite, le relais des opérations (Eka, 2018, 129).

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS POUR UNE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE MAÎTRISÉE

Comme le souligne l'argumentaire du colloque d'ATM 2019, si l'on souhaite atteindre les objectifs du développement durable et dépasser l'hypothèse de la courbe de Kuznets environnementale qui veut que les premiers stades de développement détériorent la qualité environnementale, le développement des énergies renouvelables devient primordial pour accompagner la consommation énergétique. On sait que l'AIE prévoit que la moitié de la croissance de la production d'électricité en 2040 proviendra des énergies renouvelables en Afrique subsaharienne (Goal, 2016). Or, les pays d'Afrique centrale disposent du potentiel le plus important en hydroélectricité (57%) par rapport à l'Afrique de l'Est (32%) et au reste de l'Afrique (11%), de plus la République démocratique du Congo (RDC) possède près de 42% du potentiel hydroélectrique africain (UA-CEA, 2017). Ceci pose la question de la réalisation du projet du barrage «Grand Inga», d'une capacité de 40GW et qui permettra d'accroître les capacités énergétiques de l'Afrique de 40%. Ce projet pharaonique est en cours de négociation entre le gouvernement de la RDC et les partenaires, dont un consortium comprenant le groupe public chinois «China Three Gorges Corporation,» leader mondial de l'hydroélectricité (Voir encadré).

Dès lors, la voie serait ouverte pour conforter l'idée que les pays d'Afrique centrale pourraient faire des énergies renouvelables (spécialement l'hydroélectricité), via le partenariat avec les groupes publics chinois de financement et de réalisation des barrages, le principal moteur de leur croissance pour la transformation économique en vue d'un développement durable et de la transition énergétique (Chen, 2018). Plusieurs objections peuvent être énoncées sur ce qu'il conviendrait de considérer comme un mirage de la croissance alimenté par un mythe fondé sur des projets pharaoniques qui impliquent une gestion hyper centralisée du système de production d'électricité.

Encadré 1 : « Grand Inga », le projet pharaonique de barrage hydroélectrique en RDC est à vocation continentale.

Grand Inga devrait générer 40 000 MW d'électricité, soit le double de la production du barrage des Trois Gorges en Chine. C'est en novembre 2011 que le G20 a inclus ce méga projet parmi les 11 grands chantiers structurants que la Communauté internationale entend soutenir dans le monde, au même titre que la production de l'énergie solaire au Maghreb.

- **Le projet Grand Inga qui pourrait générer plus d'un milliard de USD de revenus annuels pour la RDC sera déployé en trois étapes** : d'abord, la réhabilitation d'Inga I (351 MW) et Inga II (1 429 MW) déjà en service depuis respectivement 1972 et 1982 ; ensuite, la construction de Inga III qui permettra de fournir 4 800 MW ; enfin la réalisation de Grand Inga qui avec ses 40 000 MW permettra à lui seul d'accroître la capacité énergétique du Continent africain de 40%. Le coût financier de ce mégaprojet est impressionnant soit près de 80 milliards de USD financés avec la participation de la Banque Mondiale et la BAD (Krüger, 2017). La Banque Mondiale a déjà débloqué 70 millions de USD pour financer les études de faisabilité du projet Grand Inga (Le Belzic, in Le Monde du 27 Mars 2015).

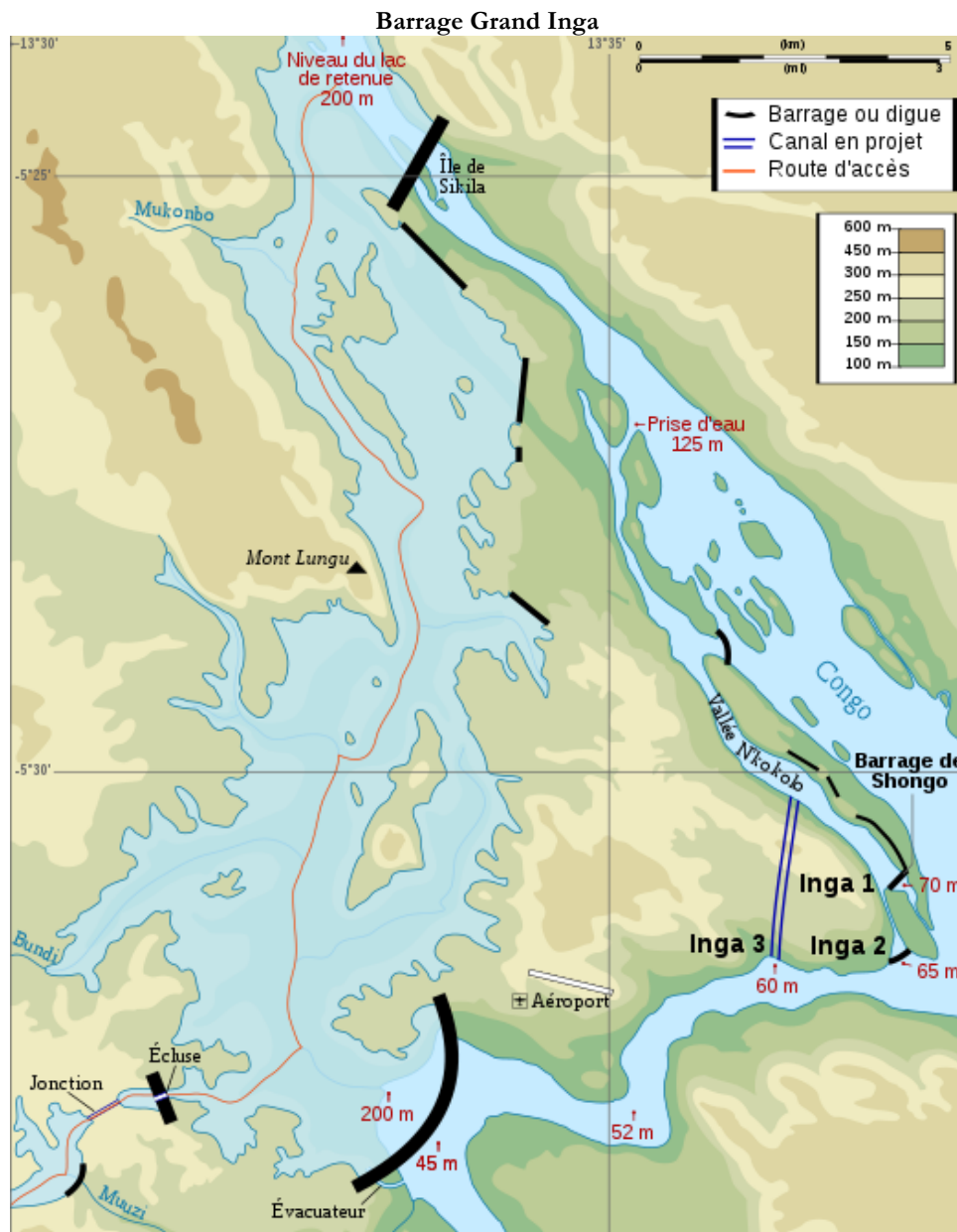
Parmi les partenaires stratégiques de la RDC pour Grand Inga, figure l'Afrique du Sud qui s'est engagée depuis 2013 à acheter 2 500 MW par an d'électricité à la RDC via un accord bilatéral entre les deux pays, le secteur minier du Katanga devrait acquérir 1 300 MW. La pénurie d'électricité constitue encore un obstacle pour l'exploitation minière du Katanga, vu que l'équivalent d'un mois de production serait perdu chaque année du fait des coupures intempestives de courant, la réalisation de ce projet serait donc une solution durable pour les investisseurs du secteur minier notamment et ceux du secteur manufacturier, y compris les IDE des FMN chinoises opérant actuellement en RDC et dans les pays voisins clients de l'électricité du Grand Inga (Congo-Brazzaville, Angola, RCA, Cameroun, Gabon) en Afrique centrale. Enfin 1 000 MW des 4 800 MW produits par Inga III seraient affectés à la consommation domestique de la RDC dont l'accessibilité de la population à l'électricité reste actuellement très faible avec à peine 13,5% (Kruger, 2017). La mise en service de Inga III dont le coût financier est de l'ordre de 14 milliards de USD, pourrait intervenir en 2020 ou 2021.

- **Le Projet Grand Inga présente trois atouts majeurs** : i) **Un prix de revient compétitif** ; avec moins de 0,015 USD/Kwh, ceci rendra sa commercialisation compétitive sur les longues distances, notamment en Afrique du Sud, au Nigéria et en Egypte ; ii) **Une production électrique constante**, puisque Grand Inga permettra aux turbines de tourner à régime constant vu que le débit du fleuve varie de 25 000 à 75 000 M³/Seconde ; iii) **Les investissements pourront se faire progressivement** ; les ouvrages de génie civil y sont réduits, en effet pour retirer une production d'un million de Kwh on ne devrait mobiliser que 52 M³ de béton (ou équivalent alors que les meilleurs sites mondiaux ont atteint 250 à 1000 M³ ; d'où un coût d'investissement très faible de 340 à 700 USD par Kwh selon le stade d'équipement.

- **Pour remplir sa vocation continentale, le projet Grand Inga prévoit la construction de 15 000 Km de lignes THT pour alimenter les pays clients**. Ainsi, pour la BAD : i) La liaison THT RDC-Egypte (5 300 Km) coûterait 5,7 Milliards de USD permettant au passage d'approvisionner le Soudan, la RCA et le Tchad ; ii) La liaison THT RDC-Nigéria (1 400 Km) via le Congo Brazzaville, le Cameroun et le Gabon, a fait l'objet d'un accord avant la construction du barrage ; iii) La liaison RDC-Zambie-Zimbabwe-Afrique du Sud (3 676 Km) fera l'objet d'un renforcement car cette ligne existe déjà ; iv) La liaison THT RDC-Angola-Namibie-Afrique du Sud (2 734 Km) avec une capacité de transit de 3 500 MW.

- **L'impact social et environnemental du Grand Inga est néanmoins non négligeable**. Cet impact renvoie notamment à trois aspects : i) **Déplacement des populations riveraines du site**, on estime que 10 000 communautés et villages seront déplacés dans cette zone de forêts humides, ces populations devraient bénéficier de compensations équitables dans le cadre d'une justice énergétique (Kruger, 2017) ; ii) **Dégradation de l'écosystème et comme corollaire une perte en biodiversité**, car selon le PNUE, les infrastructures de Grand Inga vont constituer une barrière permanente et insurmontable pour les poissons migrants du fleuve Congo ; iii) **Conséquences sanitaires importantes pour les zones d'habitation qui seront immergées et l'eau stagnante va engendrer une exposition de la population riveraine aux dangers de la mouche noire**, un insecte nuisible pour la santé humaine. Néanmoins, ces risques environnementaux et sociaux devront être évalués en considérant les énormes avantages socioéconomiques qui résulteraient de la réalisation de ce projet pharaonique de production d'une énergie propre ayant une vocation continentale. Ce projet de surcroît est porté par nombre de partenaires stratégiques bilatéraux (Afrique du Sud et FMN Chinoises notamment « China Three Gorges Corporation, » leader mondial de l'hydroélectricité et multilatéraux (SADC, CEEAC, Banque Mondiale, BAD).

Source : adapté de Énergies Africaines, Dossier : Ces grands barrages qui vont transformer le continent, n° 1, février 2015, 1-35, et de R. Kruger (2017), *Watering down justice: Energy Justice in the Inga dams case in the DRC*, Thesis, Lund University, 1-81.



wikipedia.org/wiki/Barrage_Grand_Inga

□ Au titre des recommandations à l'endroit des États africains, propriétaires et gestionnaires des centrales hydroélectriques (UA/CEA, 2017)

- Il conviendrait de mieux gérer les suretés des barrages et de l'hydroélectricité en mettant en œuvre notamment un régime réglementaire et des approches spécifiques à la gestion des risques (la rupture d'un barrage engendre des conséquences dramatiques, notamment la perte en vies humaines et les dégâts environnementaux).
- Il serait aussi souhaitable de mettre en œuvre des stratégies appropriées pour optimiser l'exploitation, l'entretien et la modernisation des centrales hydroélectriques, y compris via les partenariats public/privé, avec les investisseurs privés chinois mais aussi d'autres investisseurs des pays émergents et des pays de l'OCDE.
- Il faudrait en outre mobiliser les parties prenantes concernées par le projet de barrage pour obtenir un « permis social » permettant de garantir les droits socio-économiques des populations locales ou autochtones (d'où la question de la nécessaire indemnisation des populations déplacées du fait de la réalisation des barrages). Au delà de l'indemnisation, du déplacement et de la relocalisation dans de nouveaux villages, la consultation des populations doit permettre si nécessaire de réduire l'emprise territoriale et les capacités du barrage si les dégâts humains et environnementaux s'avèrent trop élevés car ces barrages se situent dans des zones forestières ; certaines d'entre elles, dans le bassin du fleuve Congo,

sont des forêts primaires et, dans ces situations, la construction des barrages pourrait être abandonnée au nom de la sanctuarisation de ces territoires. Ce patrimoine environnemental contribue, de façon substantielle, à la résilience aux changements climatiques, comme l'illustre la décision prise pour préserver le site de la Confluencia entre le rio El Baker et le Chacabuco en Patagonie chilienne après une controverse de plus de 8 ans.

❑ **Au titre des recommandations à l'endroit du secteur privé et des groupes publics chinois de financement et de construction des barrages**

- Aux acteurs du secteur privé national et étranger, il conviendrait de participer davantage au financement des projets de l'hydroélectricité, notamment dans les activités aval comme le transport et la distribution/commercialisation des services de l'électricité.
- Aux groupes publics chinois, il faudrait davantage impliquer les investisseurs privés originaires de Chine pour leur participation dans les stratégies d'exploitation, de maintenance et de modernisation des centrales hydroélectriques, au sein des partenariats public/privé, y compris en vue des contrats de concession, dans la perspective de non paiement par les États africains de leur dette contractée auprès de la Chine pour les projets d'infrastructure. La dette extérieure des pays africains vis-à-vis de la Chine atteindrait aujourd'hui plus de 40% du PIB de ces pays (Wagner, 2018) pour nombre de pays de la CEEAC, la Chine est ainsi devenue leur premier créancier depuis les années 2000.
- Aux groupes publics chinois, en charge du financement (China Eximbank) des barrages hydroélectriques, il conviendrait d'afficher plus de transparence et d'adopter une politique plus prudente dans l'octroi des prêts préférentiels à l'égard des partenaires africains, pour limiter le surendettement en cours vis-à-vis de la Chine des pays d'Afrique centrale. Ce nouveau risque d'endettement a contraint ces derniers à signer de nouveaux Programmes d'Ajustement Structurel avec le FMI depuis 2016.

En définitive, au delà du risque d'endettement du modèle énergétique centralisé dont le grand Inga est le plus emblématique, le véritable enjeu concerne le choix du mode de transition énergétique, d'où le questionnement suivant que nous proposons comme piste de recherche pour le futur : devons-nous poursuivre sous prétexte d'énergie propre, donc compatible avec un développement durable, la construction de barrages hydroélectriques d'une telle ampleur ? Faut-il privilégier des modèles de production centralisée pour acheminer l'électricité via des modes de transports coûteux nécessitant l'installation de pylônes à haute tension sur des centaines, voire des milliers de kilomètres, et l'interconnexion des réseaux nationaux vers des lieux de consommation densément peuplés ou au bénéfice des firmes d'extraction minière ? Cette assertion illustre l'interaction entre la centralisation du système énergétique et le soutien à l'extractivisme. « Pour changer les choses ... il faudrait aussi sortir de cette logique de grands projets : on dit que la centrale d'Inga III permettra d'exporter de l'électricité congolaise jusqu'en Afrique du sud. Pendant ce temps la majorité des congolais utilise encore des lampes à pétrole ! Inversement on voit naître des petits barrages sur les affluents du Congo, parmi une foule de projets locaux portés sur des territoires où se trouvent des acteurs économiques dynamiques. En s'appuyant sur ces forces locales, on multiplie les chances d'aboutir à un résultat positif pour la population⁵. »

Une autre voie serait de limiter la diffusion de ce modèle comme la décision chilienne vient de le faire en Patagonie et de rechercher prioritairement l'autonomie énergétique en termes de production comme de consommation dans les entreprises, dans les quartiers urbains et dans les villages ? Favoriser un mix énergétique de toutes les énergies renouvelables centralisées comme les projets de grands barrages ou décentralisés comme l'éolien et le solaire, voire d'une production hydroélectrique disséminée dans la construction de mini-barrages ? Derrière le caractère vertueux non polluant des barrages hydroélectriques se cache un double défi pour la transition écologique qui devrait être pris en compte par les pays africains dans leur négociation avec les autorités et les firmes chinoises. Ce double défi concerne la mise en place d'une part d'un modèle énergétique décentralisé et déconcentré, d'autre part d'un financement qui n'implique pas un risque de dépendance des pays africains récipiendaires de l'Aide publique au développement (APD), intitulée par les autorités chinoises « coopération au développement ».

⁵ Extrait de l'interview de Roland Pourtier dans *Libération* 24-25 avril 2021 « Le fleuve Congo est un symbole et un mythe fédérateur » à propos de son ouvrage *Congo : un fleuve à la puissance contrariée*, Paris, CNRS édition, 272 pp.

BIBLIOGRAPHIE

- AIE (Agence Internationale de l'Énergie) (2016) *Rapport annuel*, 150 p.
- AVADIKYAN A., MAINGUY C. (2016) Accès à l'énergie et lutte contre le changement climatique : opportunités et défis en Afrique Subsaharienne, *Mondes en Développement*, vol. 44. n° 176, 7-24.
- BAD (2011) *Rapport annuel du groupe de la BAD*, ATR, Tunis, 225 p.
- BRAUTIGAM D., HWANG J., WANG L. (2015) Chinese financed Hydropower projects in Sub-saharan Africa, CARI, Policy Brief, n° 08/April, 1-8. www.sais-cari.org
- CARI (China Africa Research Initiative) (2019) Country Annual Loan Value by Year, <http://www.sais-cari.org/data>
- CHEN Y. (2018) Crossing rivers, feeling stones: The rise of Chinese Infrastructure finance in Africa, *Bridges Africa*, vol. 7, n° 5, July, 7-10.
- DUNNING J. H. (1993) *Multinationals enterprises and the global economy*, Addison-Wesley, Wokingham, Berks.
- DZAKA-KIKOUTA T., KERN F. (2019) Le rôle des Joint-ventures et alliances stratégiques dans l'internationalisation des multinationales chinoises : vecteur d'émergence économique des pays du Maghreb et d'Afrique centrale ? *Les Cahiers l'Association Tiers-Monde*, n° 34, 67-78.
- DZAKA-KIKOUTA T., KERN F., GONELLA C. (2014) L'aide Chinoise et transferts de technologie en Afrique Centrale et au Maghreb. In T. Pairault et F. Talahite (Eds), *Chine - Algérie, une relation singulière en Afrique*, Paris, Ed. Riveneuve, 193-211.
- DZAKA-KIKOUTA T., KERN F., GONELLA C. (2013) Chinese economic co-operation with Central Africa and the transfer of knowledge and know how, *African East-Asian Affairs*, The China Monitor, issue 2, June, 39-60, Stellenbosch University. www.ccs.org.za, www0.sun.ac.org.za/ccs
- DZAKA-KIKOUTA T. (2011) L'investissement chinois en Afrique centrale, *Outre-Terre, Revue Européenne de Géopolitique*, n° 30, 207-226.
- DZAKA-KIKOUTA T. (2009) L'Aide publique au développement de la Chine à l'Afrique centrale et son impact sur le transfert de connaissances vers les pays d'accueil : une étude exploratoire, *Les Cahiers l'Association Tiers-Monde*, n° 24, 127-142.
- EBERHARD A. (2015) Powering Africa: facing the financing and reform challenges, *AFD Research Papers*, 2016/21, 1-10, December.
- EKA F. (2018) *La contribution de la Chine au développement économique des pays d'Afrique subsaharienne*, Thèse en sciences économiques, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 13 Juillet, 179 p.
- FARREL J. (2016) How do Chinese Contractors perform in Africa? Evidence from World Bank Projects, *Working paper* 3, February, 1-25.
- FMI (2011) *Vers une croissance équitable et équilibrée*, Rapport annuel, Washington DC, 74 p.
- GOAL L. (2016) La Chine, premier investisseur d'Afrique en énergies renouvelables, *Lenergeek.com*, samedi 13 août.
- HAN X. (2018) *Money, markets and hydropower: Chinese dam construction in Africa*, Phd School of Geography, The University of Melbourne, March, 276 p.
- HWANG J. BRAUTIGAM D., WANG N. (2015) Chinese engagement in hydropower infrastructure in Sub-Saharan Africa. CARI, John Hopkins University, *Working Paper* 1, December, 1-25. www.sais-cari.org
- JIN J., MA X., GALLAGHER K. P. (2018) China's Global Development Finance, Boston University, July, 1-9. www.bu.edu/gdp
- KRÜGER R. (2017) *Watering down justice: Energy justice in the Inga Dams case in the DRC*, Thesis, Lund University, 1-81.
- MERIADE L. (2015) Le rôle de l'État dans les stratégies d'internationalisation des entreprises chinoises : une approche géoéconomique. *Management & Avenir*, n° 79, 51-74.
- MICHALET C.-A. (1976) *Le capitalisme mondial*, Paris, PUF.
- MICHALET C.-A. (1985) *Le capitalisme mondial*, 2e édition entièrement refondue, Paris, PUF, collection économie en liberté, 368 p.
- POURTIER R. (2021) *Congo : un fleuve à la puissance contrariée*, Paris, CNRS édition, 272 pp.
- UA/CEA (2017) Congrès mondial de l'hydroélectricité, Addis-Abeba, 9-11 mai, www.hydropower.org, pp.1-105.
- TANG K., SHEN Y. (2019) Do China financed dams in Sub-Saharan Africa improve the region's social Welfare? A case study of impacts of Ghana's Bui dam. CARI, *Policy Brief*, n° 33, 1-4. www.sais-cari.org
- WAGNER J. (2018) Dette : le casse-tête chinois, Jeune Afrique, dossier « Sommet Chine-Afrique, 3-4 septembre à Pékin » Le 3e Forum sur la coopération sino-africaine (Focac, pour l'acronyme anglais). <https://www.jeuneafrique.com/mag/619267/economie/dette-le-casse-tete-chinois/>
- YUAN SUN I., JAYARAM K., KASSIRI O. (2017) Dance of the Lions and Dragons: how are Africa and China engaging, and how will the partnership evolve? June, McKinsey & Company, 84p. www.mckinsey.com/africa-china

La finance et la transition énergétique sont-elles conciliables ?

Marie-Françoise DELAITE¹

La réduction des émissions de gaz à effet de serre responsables du changement climatique est un objectif prioritaire au niveau mondial si l'on en croit les nombreuses conférences qui ont eu lieu dans le passé (Rio de Janeiro, Kyoto, Johannesburg, Copenhague, Paris) et les travaux d'économistes reconnus internationalement (Joseph E. Stiglitz, Elinor Ostrom, François Tirole). Elle est considérée comme un élément vital pour le maintien des équilibres environnementaux, économiques et sociaux sur la planète. L'objectif de cette contribution est d'explorer la relation entre la finance et les mutations du système énergétique liées au changement climatique. Il s'agit de savoir si la nature et la logique de la finance sont compatibles avec les exigences de la transition énergétique (TE). La finance est abordée sous ses différentes facettes : banquiers, régulateurs, superviseurs, finance de marché, agences de notation, investisseurs institutionnels, lobbies, banques de développement internationales. L'étude porte essentiellement sur les pays émergents soumis aux contraintes de leur endettement extérieur et de celui de leurs agents économiques.

Deux parties structurent cet article. La première montre en quoi la finance dans le capitalisme financiarisé mondial est susceptible de constituer un obstacle à la TE. La seconde évalue dans quelle mesure et à quelles conditions la finance, articulant les préoccupations du présent et de l'avenir, pourrait être un catalyseur de la TE.

1. LA FINANCE GLOBALISÉE OPPOSÉE À LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ?

Cette première partie vise à analyser l'impact négatif de la finance sur la TE qui repose essentiellement sur deux piliers, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables.

Elle est menée en trois étapes. Tout d'abord, nous analysons comment la nature et la logique de la finance actuelle peuvent faire obstacle à la TE. Ensuite nous montrons dans quelle mesure les nouvelles technologies numériques qui renforcent le processus de financiarisation dans le monde peuvent menacer la TE. Enfin, nous montrons comment et pourquoi la TE est capturée par la finance dans le capitalisme actionnarial mondial.

1.1 *La nature de la finance incompatible avec les exigences de la transition énergétique*

Nous proposons un cadre analytique permettant d'analyser les spécificités de la finance actuelle qui s'avèrent peu compatibles avec les exigences de la TE.

¹ CEPN-CNRS, Université de Paris 13, Sorbonne Paris Cité. delait@univ-paris13.fr

a) La finance globalisée soutient les forces de résistance du secteur carboné

S'il est vrai que les énergies propres progressent à un rythme élevé dans certains pays comme la Chine, il n'en demeure pas moins que le charbon, le pétrole, le gaz et l'uranium demeurent des sources non négligeables d'énergie et d'électricité dans le monde. Dans les pays avancés, les banques soutiennent toujours les producteurs d'énergie carbonée en leur permettant notamment d'exploiter de nouveaux gisements, parce qu'ils sont toujours rentables. C'est le cas en particulier des cinq principales compagnies pétrolières (Exxon, Chevron, Shell, BP et Total) qui ont dégagé ensemble plus de 80 Mds de USD de bénéfice en 2018 (Wakim, 2019). Ce bénéfice global est supérieur à celui obtenu en 2014 lorsque le prix du baril était à plus de 100 USD. Dans toutes ces sociétés, la logique du capitalisme actionnarial (selon l'expression de D. Plihon) prévaut. Elle implique à la fois des dividendes élevés et des manœuvres stratégiques visant une augmentation du cours des actions.

Dans le cadre de sa politique non conventionnelle et compte tenu de son programme d'achat d'obligations d'entreprises privées établi en 2016, la Banque centrale européenne (BCE) aurait privilégié les sociétés émettrices les plus intensives en carbone.

Les transnationales bancaires quant à elles, accordent des fonds aux multinationales du secteur énergétique carboné. Elles sont devenues, comme elles, des puissances globalisées dont les stratégies actionnariales échappent aux gouvernements nationaux.

En Chine et en Inde la finance continue elle aussi à porter des grands projets liés à l'énergie fossile. Ce soutien, toutefois, à l'initiative de l'État, n'est pas commandé par une logique de rentabilité financière. À ce propos, notons que les banques chinoises sous contrôle de l'État ont accordé, entre 2000 et 2018, des prêts à hauteur de 40 Mds de USD pour financer la construction de centrales à charbon (Ramses, 2018).

Devenant de plus en plus les servantes du capitalisme financiarisé mondial, les Institutions financières internationales jouent elles aussi un rôle dans le soutien du secteur énergétique carboné. L'exemple de la Société financière internationale qui a été chargée de financer une centrale à charbon très polluante et très coûteuse à Gujarat en Inde est éclairant à cet égard.

b) La finance est aveugle

Elle vise une rentabilité à court terme alors que les effets des technologies vertes sont lointains. Celles-ci supposent des investissements de long terme, dont le seuil de rentabilité pourrait n'être atteint qu'au bout de 15 à 30 ans. En outre, leur financement est réalisé le plus souvent dans une situation d'incertitude et de risques élevés (sélection technologique incertaine, risques géopolitiques, normes réglementaires et lois mouvantes) (Jacquemot, 2017).

Si l'on tient compte d'autre part de l'énormité des sommes à engager dans la TE, on peut douter de la propension de la finance à se lancer spontanément dans de tels investissements. Il lui faudrait au minimum une visibilité correcte sur la rentabilité de ces investissements. Il faudrait pour cela pouvoir déterminer un taux d'actualisation réaliste, tenant compte des nombreux facteurs de risque que nous avons signalés.

Il faut enfin ajouter le comportement face à un avenir incertain des agents à excédent d'épargne qui peuvent avoir une préférence pour la liquidité (selon l'expression de Keynes) et qui, par conséquent, ne se tourneront pas spontanément vers des placements à long terme.

c) La finance est opaque

Les banques créent des innovations financières et des montages financiers très sophistiqués qui leur permettent de contourner la réglementation. Elles ont recours au processus de titrisation qui leur permet d'une part de mélanger des actifs de nature différente y compris des actifs carbonés et non carbonés et d'autre part d'externaliser leurs risques. Elles n'ont plus ainsi à assumer leur rôle traditionnel d'évaluation des risques, dont le risque climat.

La dimension des banques universelles (notamment à cause du processus de concentration) est trop importante, ce qui rend difficile leur gestion, leur contrôle et leur proximité avec les acteurs de la TE (Stiglitz, 2010). La combinaison de leurs activités de marché avec celles de banques de détail les rend encore moins transparentes et plus vulnérables au risque systémique.

Les risques bancaires, y compris le risque climat, sont d'une grande complexité et leur évaluation échappe à la fois aux professionnels des marchés et à la gouvernance bancaire. Par ailleurs, le monde de la finance n'hésite pas à échapper à la fiscalité grâce à la globalisation des activités et à l'existence de places extraterritoriales. Les banquiers, en particulier, ont coutume en effet de localiser une partie de leurs profits

dans les paradis fiscaux. En tant qu'interlocuteurs privilégiés des multinationales du secteur énergétique carboné, ils constituent également des leviers puissants de l'évasion fiscale. Il en résulte une perte de recettes fiscales pour les gouvernements et donc une diminution de ressources pour la TE.

Le problème du financement de la TE s'avèrera difficile à résoudre tant que subsisteront ces formes d'opacité dans la sphère mondiale globalisée.

d) La finance est irrationnelle

Des économistes ont montré que les cours des titres n'étaient pas nécessairement le reflet de leur valeur intrinsèque et que la rationalité des acteurs financiers pouvait être limitée.

J. M. Keynes (1936) a mis l'accent sur la psychologie des agents face à un futur radicalement incertain. Il a montré que, dans ce contexte, les financiers avaient tendance à prévoir la psychologie du marché et à anticiper les décisions des autres opérateurs, ce qui pouvait entraîner des phénomènes de mimétisme.

J. E. Stiglitz (2010) a montré que l'information pouvait être onéreuse et qu'elle n'était pas accessible à tous les opérateurs du marché. En outre, il a souligné qu'un grand nombre d'investisseurs vendent et achètent des titres sans raison objective, et notamment sans avoir d'informations spécifiques sur les firmes concernées, ce qui peut augmenter la volatilité des cours.

A. Orléan (1999) a mis en évidence sur le marché des capitaux des prophéties auto-réalisatrices qui peuvent déboucher sur des bulles. Un actif peut par exemple s'apprécier, simplement parce qu'une majorité d'agents économiques croit à son appréciation et se met en position d'acheteur. La valorisation peut se manifester sans qu'elle ait un lien avec les fondamentaux. Cet économiste souligne également que les actifs, financiers ou non, peuvent faire l'objet de comportements spéculatifs car ils peuvent être demandés lorsque leur prix s'accroît, ce qui est contraire au principe d'efficacité d'un marché.

G. Akerlof et R. Shiller (2009), spécialistes de la finance comportementale, ont mis en avant le rôle des « esprits animaux » c'est à dire l'impact des facteurs psychologiques sur le comportement des marchés. Ils ont analysé les réactions émotionnelles des acteurs de marché telles que la confiance, la panique, l'euphorie, la cupidité, le mimétisme. R. Shiller (2000) a montré que les cours des titres pouvaient être impactés par d'autres variables que les fondamentaux du marché.

Compte tenu de ces comportements irrationnels, des phénomènes de surréaction pourront apparaître dans le futur. Les progrès technologiques dans le secteur non carboné pourront entraîner des valorisations démesurées de firmes décarbonées comme ce fut le cas pendant les années 2000 avec les innovations technologiques. Les anticipations à la hausse des cours pourront faire apparaître une bulle. Par ailleurs, les actifs financiers carbonés intégrés dans les portefeuilles financiers risqueront à l'avenir de se déprécier de manière excessive. À ce propos, des recherches scientifiques (Mercure et *al.*, 2018) ont révélé que les dévalorisations des actions de l'industrie pétrolière sur une période de 30 années seraient deux à huit fois plus importantes que les dépréciations bancaires liées à la crise des *subprimes* (Laramée de Tannenberg, 2019).

e) La finance est éloignée des petits fournisseurs d'énergie verte

Elle privilégie le financement des grandes sociétés comme Électricité de France qui ont pu se développer dans des conditions satisfaisantes (position monopolistique, statut public, soutien politique) (Porcher, 2018). Elle tend à négliger les petites et moyennes entreprises et les collectivités qui proposent des microprojets verts plus adaptés aux territoires et aux populations.

f) La finance est cupide

Les ressources naturelles peuvent être utilisées à des fins de spéculation. « L'obligation catastrophe » dont la rentabilité élevée est liée à l'apparition de catastrophes climatiques en constitue un bon exemple.

Les banques et les professionnels des marchés agissent dans le cadre de la responsabilité sociale et environnementale de l'entreprise. Mais celle-ci se réduit la plupart du temps à des manœuvres visant à tromper les clients sur les bienfaits environnementaux d'un produit ou d'un service financier. L'exemple des obligations vertes peut illustrer nos propos. Si en principe, elles ont vocation à financer des projets respectueux du climat, elles peuvent dans la réalité ne pas être compatibles avec les exigences écologiques (Plihon et *al.*, 2017).

Les banques continuent à exercer des activités de marché très rentables mais qui ne présentent aucune utilité sociale et environnementale. Celles qui ont une dimension systémique voient par exemple dans le

trading haute fréquence une source de profit très importante. Notons que cette opération de marché qui consiste à acheter et à vendre de nombreux titres en quelques microsecondes afin de bénéficier des différences de prix est porteuse d'instabilité financière.

g) La finance est autonome

La finance a une influence croissante dans la marche de l'économie mondiale et a tendance à suivre sa propre logique (Plihon, 2016). Tout en recueillant des sommes importantes, elle a tendance à se développer au détriment du financement de la TE. Selon le 7^{ème} rapport du Conseil de stabilité financière consacré au *Shadow banking* le montant des actifs financiers dans le monde s'élèverait à 340.000 Mds de USD et correspondrait à quatre années de PIB mondial (Chavagneux, 2018).

La forte autonomie de la finance par rapport à la sphère réelle s'illustre en particulier par le poids des produits dérivés souvent spéculatifs, par l'existence d'un système bancaire de l'ombre (non réglementé) et par l'importance des flux à court terme à l'échelle planétaire.

1.2 Finance globalisée et nouvelles technologies de communication : une complémentarité non écologique

Le développement de la finance globalisée a été favorisé par l'émergence des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) (Plihon, 2016). Ces dernières ont permis la circulation des capitaux à l'échelle planétaire. Réciproquement, ces nouvelles technologies n'auraient pas pu être utilisées dans le monde aussi rapidement sans la complicité de la finance. Les innovations technologiques et les innovations financières se sont donc alimentées mutuellement.

Les nouvelles technologies digitales (ordinateurs, smartphones, tablettes) en facilitant le traitement et la diffusion de l'information bénéficient pleinement au secteur de la finance. À ce propos, rappelons que l'industrie de la finance est l'industrie qui collecte le plus de données électroniques. En favorisant l'interconnexion des réseaux financiers mondiaux, les NTIC ont contribué à l'essor d'un marché de capitaux unique à l'échelle planétaire. Elles ont permis l'apparition d'une offre de services financiers émanant d'acteurs très divers. Les grands acteurs du numérique aux États-Unis (Google, Apple, Facebook, Amazon appelées GAFA) et ceux de la Chine (Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi nommés BATX) fournissent aux financiers du monde entier de nombreux services immatériels (moteurs de recherche, ventes de produits sur mobiles et Internet, logiciels, algorithmes, etc.).

Or toutes les techniques digitales utilisées dans la sphère financière mondiale ont nécessité pour leur production des quantités très importantes de métaux rares dont l'extraction et la transformation sont très polluantes et énergivores. Elles consommeraient, par ailleurs, environ 10% de l'électricité mondiale (Pitron, 2018) et émettraient chaque année 50% de plus de gaz à effet de serre que le transport aérien. En outre, les déchets électroniques des pays les plus industrialisés sont acheminés en Afrique et les métaux rares sont exploités un peu partout dans le monde (Pitron, 2018).

Le *trading* haute fréquence exige des infrastructures informatiques extrêmement onéreuses et des ordinateurs connectés au monde entier dans des *data centers*. Or un seul *data center* absorbe chaque jour la même quantité d'énergie qu'une ville de 30 000 habitants (Pitron, 2018). Le secteur des Fintech dont la Chine est leader mondial utilise le *Big data*, source de pollution considérable. Les cryptomonnaies font appel aussi à des ordinateurs très performants dont la dépense en énergie est très importante. Une seule monnaie comme le *bitcoin* serait susceptible de provoquer une augmentation significative des températures à l'échelle planétaire (Beaupain et al., 2019).

En regard de ces effets environnementaux négatifs, les gains de productivité résultant de ces nouvelles technologies ont-ils été redistribués de manière équitable vers l'économie réelle ? Il semblerait plutôt que l'objectif profond de ces acteurs hyperpuissants (sphère bancaire et univers numérique) soit la quête de nouvelles sources de revenus. Force est de constater que la puissance du monde numérique et la suprématie de la finance globalisée se renforcent mutuellement. En décembre 2018 Microsoft, Apple, Amazon, Alphabet et Facebook faisaient partie des cinq plus grandes capitalisations boursières du monde. La somme de leur capitalisation représentait à elle seule 3 377 Mds de USD (Les Échos, 2019).

1.3 La « transition énergétique » capturée par la finance

Dans son ouvrage « Économie du bien commun » Jean Tirole (2016) insiste sur le bien fondé du marché des quotas d'émission mis en place dans l'Union européenne en 2005. Il en rappelle le principe : un

plafond d'émission par l'État étant déterminé, les firmes devant respecter ce plafond ont la possibilité de céder ou d'acquérir des droits à polluer sur ce marché. Si elles parviennent à réduire significativement leur pollution, elles auront une quantité importante de permis à vendre, ce qui est une incitation à moins polluer lorsque le prix des permis est élevé. Dans les faits, l'efficacité de ce dispositif s'est avérée faible. Les quotas d'émission ayant été trop généreusement alloués par les gouvernements à leurs industriels, leur prix a chuté et l'incitation à dépolluer s'est avérée très insuffisante. Ces résultats décevants révèlent que les mécanismes de marché ne sont pas en mesure de protéger ou de promouvoir ce bien commun qu'est la nature. Par ailleurs un tiers des opérations sur le marché des droits à polluer s'est avéré spéculatif (Jacquemot, 2017). Les produits dérivés basés sur ce marché en constituent une bonne illustration. De nombreux économistes voient dans ces droits à polluer une forme de privatisation de la nature par les États. Plus encore certains estiment que la protection de la nature ne peut pas faire l'objet d'une négociation.

Plus fondamentalement, la nature devient un *business model* pour la finance de marché.

Comme le rappellent C. Délérable et A. Gazzo (2017) les énergies renouvelables sont devenues un type d'actif à part entière avec environ 300 Mds de dollars d'investissements en 2016. Les entreprises qui s'engagent dans la TE sont susceptibles de dégager de la valeur sur le long terme ; c'est le cas par exemple de Total qui compte obtenir 20% de son chiffre d'affaires dans les énergies décarbonées d'ici à 2035 (Larramée de Tannenberg, 2019).

Sur le long terme, afin de dégager de la valeur en faveur des actionnaires, les compagnies pétrolières n'hésitent plus à modifier leur *business model* (Larramée de Tannenberg, 2019).

Elles abandonnent une partie de leurs activités carbonées dont la rentabilité tend à diminuer par rapport aux performances financières internationales pour se positionner sur une énergie verte qui sera rentable à long terme. Leur processus de diversification suit plus une logique financière qu'une logique industrielle. En effet, dans le capitalisme financiarisé mondial, il revient aux actionnaires de sélectionner les actifs afin de diversifier leur portefeuille (Plihon, 2016).

Comme le souligne J. Touati (2017), spécialiste du développement chez Méridiam (fonds d'investissement français), les investisseurs en infrastructures trouvent dans la TE de nouveaux modèles d'affaires en finançant non pas de grands projets mais un ensemble de petits projets d'efficacité énergétique.

Pour favoriser le développement des énergies et des technologies vertes, les autorités nationales et internationales du Nord et du Sud ont décidé de « rentabiliser » les énergies non carbonées afin d'attirer les acteurs de la finance du monde entier. Les gouvernements ont mis en place des tarifs d'achat publics élevés pour l'électricité d'origine renouvelable. Il en a résulté une augmentation des bénéfices pour les fournisseurs privés de cette énergie car les prix garantis étaient élevés et que les coûts de production avaient tendance à baisser grâce aux économies d'échelle et au progrès technique. Ces aides publiques financées par les impôts ont généré une forme de rente pour le secteur vert dont la rentabilité grandissante a permis d'attirer les capitaux internationaux.

Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement vise à soutenir une « économie verte » qui permet une croissance des revenus grâce à l'exploitation intensive du capital naturel dans les pays les moins avancés (Lascoumes, 2018). S'inspirant de la vision de Prahalad (2002) sur l'intérêt que représente le marché des plus démunis, en raison de leur nombre très élevé, le Programme considère ce marché dans l'optique d'un bénéfice potentiel, et non plus uniquement dans l'optique du service à rendre à ces populations. Les multinationales et les acteurs financiers du monde entier en seraient les premiers bénéficiaires. La TE servirait de prétexte pour satisfaire les détenteurs du capital financier à l'échelle planétaire.

Les agences de notation financière qui ont pour tâche d'évaluer les États et les emprunteurs selon des critères financiers n'hésitent pas à prendre des participations dans des agences extra-financières pour accroître leur part de marché et donc leur rentabilité, ce qui traduit bien une forme de capture de la sphère environnementale par la finance. En 2019, l'acquisition de l'agence de notation extra-financière Vigeo Eiris par l'agence de notation américaine Moody's (Les Échos, 2019) est éclairante à cet égard.

Fondamentalement, la finance, prédatrice par nature, n'a-t-elle pas également la capacité de transformer à terme « le capitalisme actionnarial » actuel en un « capitalisme vert » financiarisé ?

Si la TE et la finance globalisée peuvent être incompatibles, nous ne devons pas exclure la possibilité de concilier la TE avec une autre approche de la finance.

2. COMMENT CONCILIER FINANCE ET « TRANSITION ÉNERGÉTIQUE » ?

Cette partie propose un cadre analytique permettant d'identifier les caractéristiques d'une finance verte et responsable susceptible de participer de manière active au développement des énergies renouvelables et des technologies vertes. Elle fournit également une grille de lecture de ce qu'il serait possible de faire en matière de régulation financière et d'orientation de la régulation monétaire vers la TE.

2.1 *Mise en place de circuits de financement verts : l'exemple des BRICS*

Durant les trente dernières années les grands émergents ont dégagé une épargne surabondante parce que leur consommation était très faible et parce qu'ils étaient contraints de constituer une épargne de précaution pour faire face à une protection sociale qui n'existait pas (Lorenzi et Berrebi, 2016).

En 2017, leur taux d'épargne rapporté au PIB est toujours élevé. La Chine dispose d'un taux d'épargne de 45,84%, l'Inde de 30,49%, le Brésil de 16,15% et l'Afrique du Sud de 16,19% (Ramses, 2018).

Pour faire face au financement de la TE, les autorités de ces pays ont mis en place des circuits de financement susceptibles de canaliser l'épargne excédentaire vers la TE.

La Chine a un secteur bancaire très vaste qui contribue au financement de la TE. Elle a mis en place une Banque nationale de développement spécialisée dans le domaine des énergies renouvelables mais aussi des banquiers locaux verts (Aglietta, 2016). En 2018, elle a créé une agence de développement : la « *State international development cooperation agency* » qui devra notamment s'impliquer dans le secteur des énergies décarbonées au niveau international. Par ailleurs, l'une de ses quatre grandes banques d'État « *L'industrial and commercial bank of china* » a emprunté 2,15 Mds de USD sur le marché des obligations vertes pour financer des projets verts liés aux nouvelles routes de la soie (Plihon et al., 2017).

La TE est à la fois un impératif et une chance pour ce grand pays qui entend réaffirmer son rôle et sa place sur la scène mondiale. Il est devenu le premier investisseur mondial dans le secteur des énergies renouvelables en 2017 avec un montant de 130 Mds de USD contre 57,5 Mds pour l'Europe et 57 Mds pour les États-Unis (Ramses, 2018).

En Inde, le Laboratoire d'Innovation pour le Financement des énergies vertes créé en 2015 cherche à attirer les capitaux internationaux en créant de nouveaux outils de financement adaptés à certains projets domestiques (véhicules électriques, capteurs solaires thermiques).

Au Brésil, la Banque Nationale de Développement Économique et Social et la filiale de l'Association française de développement (Proparco) jouent un rôle crucial dans le développement des énergies renouvelables en participant au financement et à l'accompagnement de projets.

En Inde, au Brésil et en Afrique du Sud, les institutions microfinancières traditionnelles peuvent, grâce à l'échelle modeste de leurs opérations et à leurs services de proximité, répondre plus facilement aux besoins de financement des plus démunis qui sont éloignés des réseaux électriques. Elles sont en mesure, par exemple, de financer des capteurs solaires thermiques et/ou des lanternes solaires dans de très nombreuses familles.

Afin d'échapper à l'hégémonie des institutions financières internationales les BRICS ont décidé de créer une nouvelle Banque de développement dont le capital est estimé à 100 Mds de USD. Elle a pour mission notamment de financer l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables (Ramses, 2018). En outre, la Banque asiatique d'investissement dans les infrastructures (BAII) contribue au financement de certains projets liés au solaire et à l'hydroélectricité.

Les BRICS ont recours également au marché des obligations vertes. Ces dernières sont émises par une grande entreprise ou une ville pour financer des énergies ou des technologies vertes.

En Chine, les émissions d'obligations vertes finançant la TE ont atteint environ 50 Mds de USD pour un marché mondial estimé à 100 Mds de USD (Jacquemot, 2017). En Inde et au Brésil, les émissions sont en nette progression. Elles permettent de réduire les dépenses d'énergie (transport durable, habitat durable etc.), la consommation de ressources naturelles et les émissions de gaz à effet de serre. En Afrique du Sud, la ville du Cap a levé un milliard de rands en 2017 pour financer plusieurs projets verts (programmes d'achat de bus électriques, limitation des inondations saisonnières, etc.).

Si les émissions d'obligations vertes se sont développées de manière significative dans le monde émergent, les critères choisis pour caractériser une obligation verte peuvent varier d'un pays à un autre. À l'avenir, il conviendrait d'imposer à tous les émetteurs du monde des critères mondialement reconnus qui permettraient de différencier les projets d'investissement conciliables avec les exigences écologiques de ceux qui ne le sont pas.

Les modes de financement de la TE chez les BRICS sont instructifs pour les autres pays. Ils s'appuient sur cinq leviers: l'impulsion étatique via le soutien et le contrôle de l'État, la spécialisation des banquiers en matière d'efficacité énergétique et d'énergie renouvelable, le rôle des Banques de développement, les mécanismes d'accompagnement de projets et la proximité des financements. Mais fondamentalement, le défi de la TE impose de repenser la nature et la logique de la finance à l'échelle planétaire.

2.2 Vers une conversion de la finance

Cette partie propose un cadre analytique permettant d'identifier les caractéristiques d'une finance décarbonée et responsable susceptible de participer de manière active au développement des énergies renouvelables et des technologies vertes.

Théoriquement les banques sont plus à même que les marchés financiers de répondre aux besoins de financement de la TE et ceci pour plusieurs raisons ; elles ont vocation à réduire les asymétries d'information entre emprunteurs et prêteurs. Elles doivent contrôler l'affectation du financement et évaluer la capacité des emprunteurs à rembourser leur prêt. Elles connaissent en général les emprunteurs ce qui leur permet de discriminer entre les bons et mauvais profils de risque.

Pour devenir de véritables acteurs de la TE il conviendrait qu'elles renoncent à leur nouveau modèle d'intermédiation, celui du « *originate, repackage and sell* ». Au lieu de transférer les crédits (y compris ceux qui sont verts) à des organismes non régulés en les titrisant, elles devraient les porter jusqu'à l'échéance. Elles seraient plus à même d'identifier, de mesurer et de gérer le risque climat.

De plus, il serait nécessaire qu'elles réduisent leurs opérations spéculatives de marché et qu'elles se recentrent sur leur métier de base (collecte de dépôts verts et prêts verts). Par ailleurs, elles devraient être plus nombreuses à agir selon les Principes de l'Équateur. Dans ce cadre, elles pourraient conseiller les clients en matière de financement climatique.

Le marché des obligations vertes, quant à lui, ne devrait pas être limité aux institutions publiques internationales et aux grandes entreprises mais ouvert aux PME et aux collectivités locales du secteur vert.

Le financement participatif pourrait constituer une solution dans la canalisation des flux financiers vers la sphère verte en raison de ses avantages : relation de proximité et financement basé sur des valeurs sociales et de solidarité. Mais, de notre point de vue, il présente trois limites: il échappe aux autorités de régulation, il a recours à des plateformes électroniques qui sont polluantes et il est insuffisant par rapport aux besoins colossaux de la TE.

Dans un contexte d'endettement étatique et privé à l'échelle planétaire, il serait nécessaire :

- d'introduire des garanties publiques afin de lever la contradiction entre l'excès d'épargne au niveau mondial et l'aversion pour le risque liée aux investissements verts (Hourcade, 2018) ;
- de contraindre les investisseurs institutionnels (enfants du capitalisme financiarisé mondial) à jouer leur rôle de pourvoyeurs de fonds à long terme tout en intégrant dans la gestion de leurs portefeuilles des critères environnementaux reconnus mondialement. En particulier, les fonds souverains qui ont des modes de fonctionnement et de gestion différents de ceux des banques et des marchés pourraient mobiliser des fonds en faveur de la TE. Aujourd'hui, les fonds souverains du monde émergent (Chine, Brésil, Sénégal) entendent jouer un rôle de plus en plus important dans le financement de la TE. Le fonds souverain du Sénégal, Fonsis, qui a participé en 2017 au financement du raccordement de la centrale solaire de Senergy au réseau en constitue un bon exemple (Bernier, 2018). Par ailleurs, le plus important fonds souverain du monde « Le fonds de pension norvégien » continue à diminuer de manière significative son exposition au risque carbone en investissant de plus en plus dans des sociétés vertes.

Fondamentalement, le financement de la TE devrait se faire dans le cadre d'une sphère financière renouvelée, ce qui impliquerait la mise en place de nouvelles structures de financement, de nouveaux produits financiers verts.

Il serait nécessaire de créer des banques spécialisées à taille réduite et sous contrôle étatique qui auraient pour mission de collecter des fonds verts (via des livrets d'épargne spécifiques), de financer des projets verts à dimension régionale ou locale. Ces banquiers seraient destinés aux acteurs de la TE qui ne pourraient pas ou ne voudraient pas accéder aux marchés de capitaux, tels que les PME, les institutions sans but lucratif, les coopératives et les collectivités locales.

Il serait indispensable de mettre en place des agences de notations extra-financières indépendantes vis-à-vis du capitalisme actionnarial mondial. Des spécialistes indépendants pourraient valider le caractère environnemental des projets proposés.

La création de nouveaux circuits de financement ne permettra pas de relever à elle seule le défi de la TE. La mise en place d'une politique monétaire et d'une régulation financière vertes s'avère nécessaire.

2.3 *Instaurer une politique monétaire et une régulation financière vertes*

Les banquiers centraux ne peuvent pas s'engager directement dans le financement de la TE. Ils sont en effet indépendants vis-à-vis des gouvernements, ce qui leur permet de maintenir leur objectif prioritaire de stabilité des prix. Depuis la grande crise de 2007, ils doivent aussi veiller à la stabilité financière en exerçant à la fois un contrôle microprudentiel et une surveillance macroprudentielle. Or le risque climatique avec son impact potentiellement systémique peut affecter la stabilité financière à long terme. L'enjeu pour ces banquiers centraux est alors double : d'une part, s'assurer que les acteurs de la finance (banques et investisseurs) sont capables d'évaluer les risques climatiques (Aufauvre, 2018), à savoir le risque physique, le risque de responsabilités, et le risque de transition vers une économie pauvre en carbone ; d'autre part, acheminer les capitaux vers les secteurs à faible émission de gaz à effet de serre.

La mise en place en 2017 par la Banque de France d'un réseau de banquiers centraux et de superviseurs visant à décarboner la sphère financière constitue une première étape vers une collaboration plus forte et un échange des meilleures expériences dans le domaine du contrôle du risque climatique (Aufauvre, 2018). La Banque centrale de Chine entend jouer elle aussi un rôle au sein de ce Réseau composé de 21 membres. Afin de prendre en compte les enjeux de la TE les banquiers centraux pourraient :

- donner une définition précise de ce qu'est un « actif vert » ou en délimiter le champ de manière à adapter leurs critères d'éligibilité aux exigences de la TE ;
- examiner l'articulation entre le risque climat et le risque systémique
- admettre des actifs verts comme supports mobilisables dans le cadre de leurs opérations de refinancement ;
- privilégier les achats de titres verts certifiés émis par des Institutions financières internationales dans le cadre de leur programme d'achats de titres publics ;
- privilégier les acquisitions de titres privés de bonne qualité du secteur vert dans le cadre de leur programme de titres privés ;
- contraindre les banquiers à renoncer aux prêts carbonés en appliquant à ces prêts un taux de réserves obligatoires élevé.

Au total, les banquiers centraux devraient avoir une stratégie environnementale dans le cadre de leur politique non conventionnelle verte.

Les autorités de régulation financière, quant à elles, pourraient repenser l'articulation entre les normes prudentielles et les exigences de la TE. Pour cela, elles pourraient envisager de :

- séparer totalement les banques de dépôt des banques spéculatives de manière à ce que les premières seulement puissent, en accordant des crédits verts, bénéficier d'une garantie publique et d'un refinancement privilégié auprès du banquier central ;
- desserrer la contrainte de liquidité des banques vertes en leur permettant de transformer leurs ressources à court terme en prêts verts à long terme, ce qui supposerait une modification de la réglementation actuelle qui cherche à limiter le processus de transformation de l'épargne à court terme en prêts à long terme ;
- alléger le poids des fonds propres pour les actifs non carbonés de bonne qualité ;
- garantir la transparence des obligations vertes à l'échelle mondiale. Les projets d'investissement verts financés devraient être parfaitement identifiés. Les rapports d'évaluation des investissements réalisés devraient être systématiquement exigés au niveau mondial (Plihon et al., 2017).

2.4 *Vers une responsabilité environnementale mondiale*

La TE exige que toutes les autorités politiques, économiques et financières internationales collaborent et montrent leur volonté de combattre le réchauffement climatique, tout en respectant la solidarité à l'égard des pays les moins avancés (Benoît XVI, 2009).

Aujourd'hui, des initiatives internationales sont à l'œuvre mais s'avèrent insuffisantes.

Lors de la conférence des Nations Unies qui a eu lieu en Pologne en 2018 (COP 24) la communauté internationale n'a pas pu régler le problème du financement de la TE. Les pays du Sud ne sont pas parvenus à mobiliser les fonds nécessaires à leur TE car les pays riches n'ont pas tenu leur engagement à leur égard, à savoir leur fournir 100 Mds de USD d'ici à 2020.

En absence d'une gouvernance mondiale, la responsabilité environnementale planétaire devrait recouvrir la mise en marche coordonnée de toutes les autorités internationales (États, Institutions internationales, Organisations non gouvernementales, Conseil de stabilité financière) autour d'un objectif commun :

accélérer la TE en freinant à la fois les excès de la finance globalisée et le développement des technologies numériques énergivores, vecteur d'une finance spéculative, cupide et inutile.

De notre point de vue, les acteurs qui sont bénéficiaires de la globalisation financière et des mutations technologiques et qui exercent des externalités environnementales négatives à l'échelle planétaire (pollution, émission de gaz à effet de serre) devraient contribuer impérativement au financement de la TE.

Pour cela, nous proposons la mise en place de mesures fiscales spécifiques :

- taxation du chiffre d'affaires des multinationales à l'échelle planétaire. Rappelons qu'elles délocalisent environ 40% de leur profit dans les paradis fiscaux. Le projet de l'OCDE de taxer les entreprises du secteur numérique dans les territoires où elles génèrent leurs revenus va, de notre point de vue, dans la bonne direction (Chavagneux, 2019) ;
- création d'une taxe mondiale sur les transactions financières à court terme. Sa finalité serait double : d'une part réduire les mouvements spéculatifs et d'autre part dégager des fonds pour le financement de la TE ;
- instauration d'un impôt progressif sur les bénéfices des multinationales pétrolières, gazières et charbonnières.

CONCLUSION

La TE s'avère incompatible avec une finance aveugle, opaque, irrationnelle, cupide et autonome. Elle implique donc une mobilisation de tous les États contre les lobbies de la finance, des producteurs d'énergie fossile et des entreprises du numérique qui s'imposent de plus en plus dans la sphère financière spéculative.

Elle justifie une rupture avec le capitalisme actionnarial actuel animé par une logique de rentabilité à court terme et doit se garder d'un glissement vers un « capitalisme vert financiarisé ».

Elle doit être examinée et traitée à l'échelle de tous les États et des différentes Institutions internationales. Elle nécessite de se doter de nouveaux outils de régulation mondiale (politique monétaire et régulation financière) visant d'une part, à verdir la sphère financière et d'autre part, à maîtriser le risque climatique qui peut-être source d'instabilités multiples : non seulement financière mais aussi économique, sociale et donc politique.

BIBLIOGRAPHIE

- AGLIETTA M. (2016) Quelques réflexions post-Cop21, in *Sortir de l'impasse*, Les liens qui libèrent, 33-38.
- AKERLOF G., SHILLER R. J. (2009) *Les esprits animaux. Comment nos comportements irrationnels gouvernent l'économie*, Paris, Clés des champs.
- AUFAUVRE N. (2018) Un réseau de banques centrales et superviseurs travaille au verdissement du système financier, *Revue banque*, n° 821, juin, 48-49.
- BEAUPAIN R., BRAOUEZEC Y., RENAULT R. (2019) Les cryptomonnaies peuvent-elles se substituer aux monnaies traditionnelles ? *Revue Banque*, n° 831, avril.
- BERNIER A. (2018) *Les voleurs d'énergie*, Les Éditions Utopia.
- CHAVAGNEUX C. (2018) Faut-il craindre la finance de l'ombre ? *Alternatives économiques*, n° 378, 94.
- CHAVAGNEUX C. (2019) Fiscalité : deux révolutions historiques, *Alternatives économiques*, n° 388, 40-42.
- CONSEIL DE STABILITÉ FINANCIÈRE (2018) *Global Shadow Banking monitoring Report 2017*, mars, www.fsb.org.
- DÉLÉRABLE C., GAZZO A. (2017) La dynamique du financement de la transition s'accélère, *Banque & Stratégie*, n° 362, octobre, 5-7.
- HOURCADE J.-C. (2018) La transition. Qui doit payer ? *Pour l'Eco*, n° 4, décembre.
- JACQUEMOT P. (2017) *Le dictionnaire encyclopédique du développement durable*, Paris, Éditions Sciences Humaines, 720p.
- KEYNES J. M. (1936) *Théorie générale de l'emploi, de l'intérêt et de la monnaie*, Paris, Petite Bibliothèque Payot (1982).
- LARAMÉE DE TANNENBERG V. (2019) *Agir pour le climat. Entre éthique et profit*, Paris, Buchet-Chastel.
- LASCOUMES P. (2018) *Action publique et environnement*, Paris, Presses Universitaires de France.
- LES ÉCHOS (2019) Moody's devient l'actionnaire majoritaire de Vigeo Eiris, Finance & marchés, mardi 16 avril, 36.
- LORENZI H., MICKAËL BERREBI (2016) *Un monde de violences. L'économie mondiale 2016-2030*, Paris, Eyrolles.
- MERCURE J.-F., POLLITT H., VINUALES J. et al (2018) Macroeconomic impact of stranded fossil fuel assets, *Nature Climate Change*, n° 8, 588-593.
- ORLÉAN A. (1999) *Le pouvoir de la finance*, Paris, Odile Jacob.
- PAPE BENOÎT XVI (2009) *L'Amour dans la vérité. Caritas in veritate*, Salvator.
- PITRON G. (2018) *La guerre des métaux rares*, Paris, Les liens qui libèrent.
- PLIHON D. (2016) *Le nouveau capitalisme*, Paris, La Découverte, collection Repères.

- PLIHON D., ZIPPERT J.-S., CHAUSSALET A., PLANCHE J. (2017) *La « Finance verte » est-elle vraiment verte ?* Rapport sur les obligations vertes et les obligations climat.
- PORCHER T. (2018) *Traité d'économie hérétique*, Paris, Pluriel.
- PRAHALAD K., HAMMOND A. (2002) Serving the World's Poor, Profitably, *Harvard Business Review*, vol. 80, n° 9, 48-59.
- RAMSES 2019 (2018) (sous dir. de T. De Montbrial et D. David), *Les chocs du futur*, Paris, Dunod.
- STIGLITZ J. E. (2010) *Le triomphe de la cupidité*, Paris, Les liens qui libèrent.
- SHILLER R. (2000) *Irrational Exuberance*, Princeton University Press.
- TOUATI J. (2017) Vers de nouveaux modèles d'affaires pour les investissements en infrastructures ? *Banque & Stratégie*, n° 362, octobre.
- TIROLE J. (2016) *Économie du bien commun*, Paris, PUF.
- WAKIM N. (2019) Plus de 80 milliards de profit pour les majors en 2018. https://www.lemonde.fr/economie/article/2019/02/07/petrole-plus-de-80-milliard-de-profit-pour-les-majors-en-2018_5420468_3234.html.

Relation agriculture-énergie et agroécologie, biocarburants (biogaz)

Placide SOSSOU¹

L'agriculture est une activité permettant principalement de cultiver la terre afin de produire des végétaux utiles à l'homme pour sa nourriture, ses soins et autres besoins. C'est une activité qui permet de contrôler les cycles biologiques des végétaux suivant les saisons de pluie, les énergies provenant du soleil et de la lumière. Cette relation permet d'en distinguer d'autres englobant notamment les éléments de l'écosystème : les décomposeurs, les végétaux et les consommateurs. Les décomposeurs transforment les engrais organiques et les engrais minéraux pour que les végétaux puissent produire les céréales, fruits et légumes destinés aux animaux et aux humains. Chacun joue son rôle en relation avec les autres pour faire circuler une énergie vitale en permanence. On dit que l'écosystème est un réservoir d'énergie où la vie est en permanence possible. En d'autres termes, l'écosystème est une unité écologique formée par une communauté d'êtres vivants en interaction (biocénose) dans un milieu dans lequel les conditions climatiques et physicochimiques sont relativement homogènes (biotope) et permettent le développement des organismes vivants qui le composent. L'écosystème a connu un déséquilibre significatif depuis l'expansion de l'agriculture intensive, si bien que les humains sont de nos jours obligés d'inventer des techniques pouvant rétablir la relation entre l'agriculture et les énergies pour une agroécologie.

Que s'est-il passé et quelle est la cause de ce déséquilibre ? Quelle est la stratégie ou du moins la perspective envisagée pour rétablir la relation entre l'agriculture et sa transition énergétique pour une agroécologie ?

Dans un premier temps, après avoir décrit la pratique agricole d'une commune rurale du Bénin qui pourrait faire face à un déséquilibre écosystémique, nous présenterons une approche conceptuelle de l'écologie et des énergies qui font fonctionner l'écosystème. Dans un second temps, quelques réflexions nous permettront d'aborder les questions théologiques, éthiques et bioéthiques. Enfin, nous proposerons une perspective de solution aux problèmes évoqués.

1. CONSTAT ET APPROCHE CONCEPTUELLE

1.1 *Constat à Klouékanmè*

1.1.1 *L'utilisation du bois et du charbon pour cuisiner*

Chaque jour, les femmes rurales, après le travail au champ, rentrent à la maison en coupant du bois pour cuire les repas. Pareillement, celles des centres-villes ont besoin de bois et de charbon pour la cuisine. Dans les villes, la méthode pour réduire l'utilisation du bois est l'invention des foyers économiques appelés NASU. Ils utilisent uniquement des copeaux ou de la sciure de bois, ce qui réduit les fumées de combustion.

¹ Centre européen d'enseignement et de recherche en éthique (CEERE), Président de l'Association France Alsace Bénin (AFAB).
sosplacide@yahoo.fr

Toutefois, le problème de l'utilisation du bois et du charbon demeure en raison des effets néfastes de cette pratique. Ses conséquences sont la déforestation, qui cause la disparition progressive de la biodiversité, ainsi que les dommages sur la santé humaine induits par l'utilisation du bois et du charbon dans des cuisines peu adaptées, qui entraîne d'importantes pathologies (maladies respiratoires, pulmonaires, ophtalmologiques). Dans les villages en effet, les cuisines sont le plus souvent construites à l'air libre sans murs, le toit étant soutenu par des piquets : modèles rudimentaires qui laissent échapper fumées et gaz carboniques. En imitant les modèles modernes, elles sont passées en murs de terre battue, mais sans cheminée, ce qui empêche les fumées et les gaz carboniques de s'évacuer car l'aération de ces constructions n'est pas suffisante.

1.1.2 *L'utilisation des pesticides et des engrais chimiques dans l'agriculture*

Dans les villages, l'utilisation des pesticides et des engrais chimiques initiée par l'agriculture intensive a aussi causé des dommages à l'écosystème. La méthode de cette agriculture a conduit à une désorganisation du mode de vie des habitants et un déséquilibre climatique entraînant la vulnérabilité de l'homme.

À Klouékanmè, trois groupes de pesticides sont utilisés : les herbicides, les insecticides et les fongicides. Ces produits chimiques ont été inventés pour réduire ou éliminer certaines plantes, notamment la « klouékoun » (qui a donné son nom à la commune), mais aussi pour remplacer certains animaux et des décomposeurs (micro-organismes). Les plus touchés sont les décomposeurs ; en effet, l'homme est obligé d'utiliser les engrais chimiques pour les substituer aux décomposeurs. Le risque est grand, particulièrement pour la santé des humains : nous aborderons ce point très brièvement plus loin.

À présent, étudions le modèle biologique et les avantages que présentent les relations interspécifiques et intraspécifiques des trois groupes de vivants. Il s'agit d'aborder la question de l'écologie à partir des travaux de Ernst Haeckel (1866). Comment adapter son analyse à la commune de Klouékanmè ?

1.2 *Approche conceptuelle*

1.2.1 *Écologie*

Ernst Haeckel (1866) distingue l'écologie fondamentale et l'écologie appliquée. *L'écologie fondamentale* étudie la structure et le fonctionnement des écosystèmes dans lesquels les transferts permanents d'énergie et de matières (chaines alimentaires, cycles écologiques) déterminent la vitesse d'accroissement de la biomasse (productivité). *L'écologie appliquée* prend en compte l'action de l'homme pour en limiter les conséquences néfastes (dégradation de l'environnement, pollution, baisse de la biodiversité, etc.) et favoriser une gestion rationnelle de la nature. Bernard Feltz (2013) soutient cette approche en définissant l'écologie comme la science qui étudie les rapports entre les organismes vivants avec le monde extérieur, dans lequel nous pouvons reconnaître d'une façon plus large les facteurs de la « lutte pour l'existence ». Cette lutte pour l'existence est la vulnérabilité intrinsèque à tous les vivants. Comment les êtres vivants sont-ils organisés dans leurs rapports réciproques et quels en sont les avantages ? Que fait l'homme au milieu de ce mystère vital ? Pour répondre à ces questions, abordons les principales interactions biologiques.

1.2.2 *Les principales interactions biologiques : les pyramides écologiques, le réseau alimentaire*

Les interactions biologiques sont des relations d'échanges entre plusieurs espèces biologiques dans un écosystème. Il y a des relations interspécifiques (au sein de la même population) et des relations intraspécifiques (d'une population à une autre). L'ensemble de ces relations donne des coévolutions directes ou indirectes, positives ou négatives. On constate une interdépendance entre les êtres vivants regroupés en trois catégories : les producteurs, les consommateurs et les décomposeurs.

Dans l'eau comme sur la terre, les végétaux sont les seuls producteurs capables d'élaborer des molécules à partir de l'énergie solaire. Ils sont à la fois autotrophes (fabriquent leur propre aliment à partir des substances inorganiques) et hétérotrophes (absorbent une partie de leur production pour vivre).

Les consommateurs, organisés en trois groupes (primaire, secondaire, tertiaire, ou herbivores, carnivores et prédateurs), sont des animaux qui doivent consommer des molécules organiques dégradées par le mécanisme de la digestion pour synthétiser d'autres molécules nécessaires à leur croissance et à leur énergie, comme : protéines, lipides, ATP², hormones.... Ces molécules sont utiles à l'homme qui fait partie des consommateurs.

² L'Adénosine Triphosphate, constituée d'adénine liée à un ribose, est une molécule qui libère son énergie en se convertissant en ADP (Adénosine Diphosphate).

Les décomposeurs sont des bactéries vivantes, comme les champignons et certains crustacés, qui font disparaître les matières organiques mortes comme les débris d'animaux, déjections, cadavres et mues d'insectes, ainsi que les débris végétaux : feuilles, bois morts, pollen, graines.

Chacun dans la nature contribue au bien-être et au bon fonctionnement de la communauté des êtres vivants dans les écosystèmes, malgré leur vulnérabilité intrinsèque. Cette relation de lutte pour l'existence dans une réciprocité est appelée chaîne alimentaire. À une échelle plus grande, on parle de réseau trophique. Le réseau trophique est l'ensemble de toutes les relations alimentaires. Selon sa taille, à chaque espèce correspond sa productivité, appelée la pyramide alimentaire, et dénommée pyramide écologique par Elton Charles Sutherland (1927, 64) dans son ouvrage « *Animal Ecology* ». Celui-ci établit une relation d'écologie végétale et de communauté animale, et dégage la notion de chaîne trophique qui lui permet d'évaluer la taille et le type de nourriture ainsi que le nombre d'individus dans la niche écologique.

Ce concept a été évoqué pour la première fois par le naturaliste Roswell Hill Johnson en 1910 et repris par Joseph Grinnell (1917). La niche écologique désigne la position occupée par un organisme, une population ou une espèce dans un écosystème, et la somme des conditions nécessaires à une population viable de cet organisme. Selon lui la description de la niche écologique se fait sur la base de deux types de paramètres :

✓ **Les paramètres physico-chimiques** qui caractérisent les milieux où évolue l'organisme vivant, et qui, parfois, sont significativement modifiés par cet organisme.

✓ **Les paramètres biologiques** qui incluent les relations avec les espèces avoisinantes et la modification de l'habitat par l'organisme et la communauté d'espèces dans laquelle il s'inscrit en vue de la durabilité des interactions.

De là, il va redéfinir la niche écologique par tout ce qui conditionne l'existence d'une espèce à un endroit donné. Sa conception inclut les facteurs abiotiques (température, humidité, précipitations...) et les facteurs biotiques (Grinnell, 1917) (présence de nourriture, compétiteurs, prédateurs, abris...). Tandis que chez Elton Charles Sutherland (1927), la niche désigne la place qu'occupe une espèce dans les chaînes trophiques (herbivores, carnivores...) bien que d'autres facteurs comme le micro-habitat puissent aussi être inclus. Pour lui, la niche écologique est fonctionnelle et se distingue de celle que présente Grinnell comme « niche d'habitat ». Pour les deux, la niche écologique est une place qui préexiste dans l'écosystème indépendamment de son occupant ; la nourriture en est un facteur majeur, mais la niche est aussi définie par les facteurs de micro-habitat et la relation aux prédateurs (Illoldi-Rangel et al., 2004). On distingue :

✓ **La niche fondamentale**, qui réunit tous les composants et toutes les conditions environnementales nécessaires à l'existence des êtres vivants.

✓ **La niche réalisée**, qui est comprise dans la niche fondamentale et réduite à l'espace qu'elle est contrainte d'occuper du fait des compétitions avec les autres espèces présentes dans un espace donné (Illoldi-Rangel et al., 2004).

À la suite des travaux de Raymond Lindemann (1942), Hutchinson (1964) a conçu l'idée d'une pyramide des énergies basée sur la productivité primaire. Selon cette théorie appliquée à la biomasse, les relations trophiques sont considérées comme des transferts d'énergies. Pour cela, il établit dans l'écosystème une fraction estimée à 10% de l'énergie se trouvant dans un niveau donné d'une chaîne trophique transmise aux organismes de niveaux trophiques supérieurs. Cette théorie héritée de Raymond Lindemann est appelée Loi de Lindemann. Elle mesure l'efficacité écologique d'un consommateur, c'est-à-dire le rapport de la production nette d'un consommateur à la production nette de biomasse consommée. Cette loi qui se situe entre 5 et 20% s'applique au nombre de producteurs-consommateurs et à la biomasse. Dans une forêt, pour un hectare nous avons 316 tonnes/an de matière organique réutilisable par l'homme pour sa production agricole. Dans les cours d'eau, la matière organique réutilisable est de 21 000 Kcal/m³/an.

Au sein de ces interactions biologiques aussi bien organisées, économiques, l'homme veut dépasser le temps des cycles biologiques des organismes vivants. Son objectif de rentabiliser son investissement de la nature le pousse à la prédation en éliminant d'abord les micro-organismes qui sont les agents responsables de la régénération de la terre des végétaux et des animaux.

Il nous revient de se poser la question suivante : est-il nécessaire d'utiliser les pesticides et les engrais chimiques ? Comment faire aujourd'hui pour ramener le groupe des décomposeurs afin de reprendre l'ancienne pratique agricole dite biologique ? Ce sont là des préoccupations qui nous obligent à poser un jugement de valeur.

2. RÉFLEXIONS

Deux ensembles de questions orientent notre réflexion.

2.1 Questions théologiques

La disparition des décomposeurs (micro-organismes), la diminution progressive de la biodiversité et l'appauvrissement ne constituent pas le projet de Celui qui a créé les choses. La mise en route de « l'écosystème » (système écologique et économique) a été à la base des énergies dont les atomes, les molécules, les ions organiques ou non, jouent respectivement leur partition grâce aux organismes vivants. Comment remettre le projet de la société en harmonie avec le projet de Dieu pour sa création, que lui-même a qualifié de bon ?

Le projet de Dieu pour sa création est la mise en relation des trois groupes de vivants pour le fonctionnement de l'écosystème. L'utilisation des pesticides a entraîné la diminution des matières organiques et des sels minéraux : d'où l'invention des engrais chimiques. Les micro-organismes sont désormais remplacés par des microparticules chimiques. Ce remplacement aura certainement un impact significatif sur la santé publique et sur l'écosystème. Quelles sont les conséquences liées à l'utilisation des engrais chimiques ? Cette question nous renvoie à notre deuxième point qui est éthique et bioéthique.

2.2 Questions éthiques et bio-éthiques

Selon Jeremy Bentham (1834), il y a deux siècles, l'éthique était la maximisation du bonheur (bien-être) pour un maximum de personnes. Cette théorie est-elle encore pertinente lorsque le bien-être des personnes, celui de la planète et celui de la nature sont en jeu ? L'utilisation des pesticides et des engrais chimiques dans l'agriculture présente à la fois des enjeux éthiques et bioéthiques.

1) Les enjeux éthiques de l'utilisation des pesticides et des engrais chimiques

Les pesticides éliminent les êtres vivants, indispensables à la nature. L'élimination des décomposeurs présente beaucoup de risques. L'utilisation des engrais minéraux et l'abandon des engrais organiques traditionnels comme le fumier ont pour conséquence une baisse de la teneur du sol en humus et une dégradation de sa structure. Les engrais et les nitrates sont en général répandus en grandes quantités afin d'obtenir les rendements les plus élevés. Or le rendement n'augmente pas proportionnellement à la quantité de nitrates disponibles, il devient constant à partir d'un certain seuil (Delleré et Symoens, 1991). Il y a donc une perte de nitrates parce qu'ils sont entraînés par les eaux de pluie et vont polluer les cours d'eau et les nappes souterraines (Lutz et al., 2000).

2) Les enjeux bioéthiques de l'utilisation des engrais chimiques concernent la santé publique

Les nitrates sont réduits dans l'intestin en nitrites très toxiques. Par ailleurs, les nitrites en présence d'amines forment des nitrosamines qui sont de puissants agents cancérogènes pour l'homme. Un excès de nitrates perturbe la physiologie des végétaux qui fleurissent mal et produisent moins de fruits et de graines (Delleré et Symoens, 1991). Ces produits chimiques ont des conséquences sur la santé de l'homme. Cette situation engendre d'autres formes d'inventions. La manipulation des données génétiques qui pose trois problèmes :

- les ressources génétiques sont passées du statut de patrimoine commun de l'humanité à celui de propriété des États et des entreprises (Convention sur la biodiversité biologique CDB de 1992) ;
- avec le progrès des biotechnologies, ces ressources génétiques et ces savoirs intéressent les investisseurs et les entreprises qui essaient de s'en emparer ;
- certains pays éprouvent des difficultés pour pouvoir tirer profit des richesses de ces ressources génétiques compte tenu de leur pauvreté en moyens intellectuels et financiers.

Aujourd'hui, il est important de développer la théorie de la bioéthique initiée par R. Van Potter (1971). Avec le rapport de la commission mondiale sur l'environnement et le développement « *Notre avenir à tous* », l'avenir de la planète et de l'humanité occupe une place importante dans les réflexions des politiciens, scientifiques, philosophes, moralistes et théologiens. Le développement durable ou l'écodéveloppement avec Ignacy Sachs (1980) prend en compte les générations futures. Ce que Van Potter soulignait déjà en 1971 dans son ouvrage « *Bioethics: bridge to the futur* ».

Face à cette situation comment agir et faire revenir les décomposeurs qui sont indispensables dans l'écosystème ? Leur retour favorisera certainement une agriculture à la fois biologique et écologique. Quelle méthode adopter et quels sont les avantages de cette méthode ? Devons-nous faire appel à notre conscience pour limiter la vulnérabilité ? Doit-elle être limitée ou gérée pour éviter son excès fragilisant et annihilant toute vigilance ?

En tant que prêtre (théologien), nous proposons d'éveiller les consciences sur un non-droit de propriété sur le vivant. Tout en rappelant le respect et la dignité du vivant, qu'il soit humain, animal ou végétal, nous proposerions d'accorder une attention particulière aux vivants vulnérables (humains, fragilisés). Cela n'est

encore que théorique. En tant qu'éthicien, de façon concrète, nous proposons une éthique d'autonomie par une technique simple de fabrication de biogaz pour les ménages les plus pauvres, les plus vulnérables. Ces ménages possèdent beaucoup de ressources naturelles, mais n'ont pas accès aux techniques et systèmes pouvant leur permettre d'exploiter ces ressources et leurs propres biodéchets. C'est une stratégie de mise en relation entre l'agriculture-énergie et l'agro-écologie, biocarburants pour une transition énergétique de développement durable.

3. PERSPECTIVE : LA MÉTHANISATION AGRICOLE

Des méthodes existent pour freiner l'utilisation abusive du bois, du charbon, des pesticides, des engrais et garantir la santé humaine. Il s'agit d'adopter la technique de la méthanisation agricole, qui est un processus biologique permettant de transformer des matières organiques en énergie renouvelable. Le principe de cette méthode est a priori l'incubation des bactéries, c'est-à-dire des micro-organismes. La transformation des matières organiques, notamment des déchets, c'est-à-dire les déjections animales, les substrats de végétaux, en compost et en biogaz fera revenir les micro-organismes. Il s'agit de créer des conditions ambiantes aux bactéries cellulaires dans les biodigesteurs qui feront fermenter ces biodéchets. Cette fermentation fera décomposer les différents éléments présents dans les matières organiques. Dans cette séparation des éléments, les bactéries cellulaires constituent des « œufs » qui vont donner naissance aux micro-organismes. Notons que la transformation se fait sous l'effet des bactéries présentes naturellement dans les matières organiques. Ces bactéries favorisent la digestion anaérobie (fermentation) des matières organiques.

3.1 *Projet de biogaz réalisé au Bénin : bref historique et avantages de cette technologie*

Les réflexions autour de la méthanisation agricole au Bénin ont commencé dans les années 2000. Le centre Songhai et les moines ont fait les premières expériences. Les résultats de leurs expériences nous ont poussés à recentrer nos recherches sur les trois groupes de vivants : producteurs, consommateurs et décomposeurs. Nous sommes arrivés à repenser la pratique agricole en vue de désengorger les sols fortement saturés par les engrais chimiques, en particulier les nitrates qui sont produits à partir de l'azote. Ces nitrates proviennent uniquement de l'azote atmosphérique. Nous savons tous qu'il existe deux types d'azote : NO_2 (atmosphérique) et NO_3 (azote organique). Les deux sont captés par les plantes, transformés par les bactéries diazotrophes et re-transférés aux plantes. Pour une agriculture biologique nous avons besoin des décomposeurs, donc il faut créer les conditions, c'est-à-dire leur niche écologique : les biodigesteurs qui présentent quatre avantages :

- le biogaz,
- l'urée naturelle (les eaux des biodigesteurs),
- des matières organiques,
- des bactéries vivantes qui, une fois réintroduites dans les sols, reprennent leur fonction de décomposeurs.

Nous avons réalisé en équipe de recherche les tout premiers biodigesteurs à l'échelle domestique avec des biodéchets de cuisine. Pour lancer la production du biogaz nous avons eu recours aux sociétés de vidange de latrines. Le volume du biodigesteur est proportionnel au nombre de personnes dans le ménage. Cela permet d'évaluer la quantité de déchets à introduire chaque jour dans le biodigesteur, et en fonction de l'estimation de la consommation de gaz nécessaire pour cuisiner. Cette évaluation est faite sur la base de la loi de Lindemann : rapport de la production nette d'un consommateur à la production nette de biomasse consommée ; donc rapport de la production des biodéchets par le nombre de personnes dans le ménage et la quantité de gaz à produire. La consommation quotidienne de gaz doit être proportionnelle à la production. L'avantage de ce rapport est qu'il en ressort des êtres vivants pour produire les matières organiques : on a du gaz, des matières organiques et minérales et des décomposeurs pour relancer l'agriculture biologique, écologique. La mise en pratique de ce système a été effective grâce à la participation des communautés rurales. En 2014, nous avons réalisé une formation avec les éleveurs grâce à l'appui financier de la SNV (organisation néerlandaise de développement) pour la réduction des pressions de la transhumance et une meilleure conservation des aires protégées.

Cette formation a permis de réaliser les premiers biodigesteurs dans certains villages au nord Bénin et au sud. Dans les centres péri-urbains, nous avons prévus sur les biodigesteurs trois entrées : une pour les déchets de cuisine et les deux autres pour les déchets des toilettes. L'objectif est de remplacer prochainement dans les plans de construction des maisons les fosses septiques et les latrines par des biodigesteurs. À la longue, nous

estimons pouvoir utiliser le gaz produit pour alimenter les groupes électrogènes et les véhicules. À l'université d'Abomey Calavi, le professeur Koovi utilise déjà le biogaz de sa propre production pour sa voiture.

3.2 Description du biodigesteur

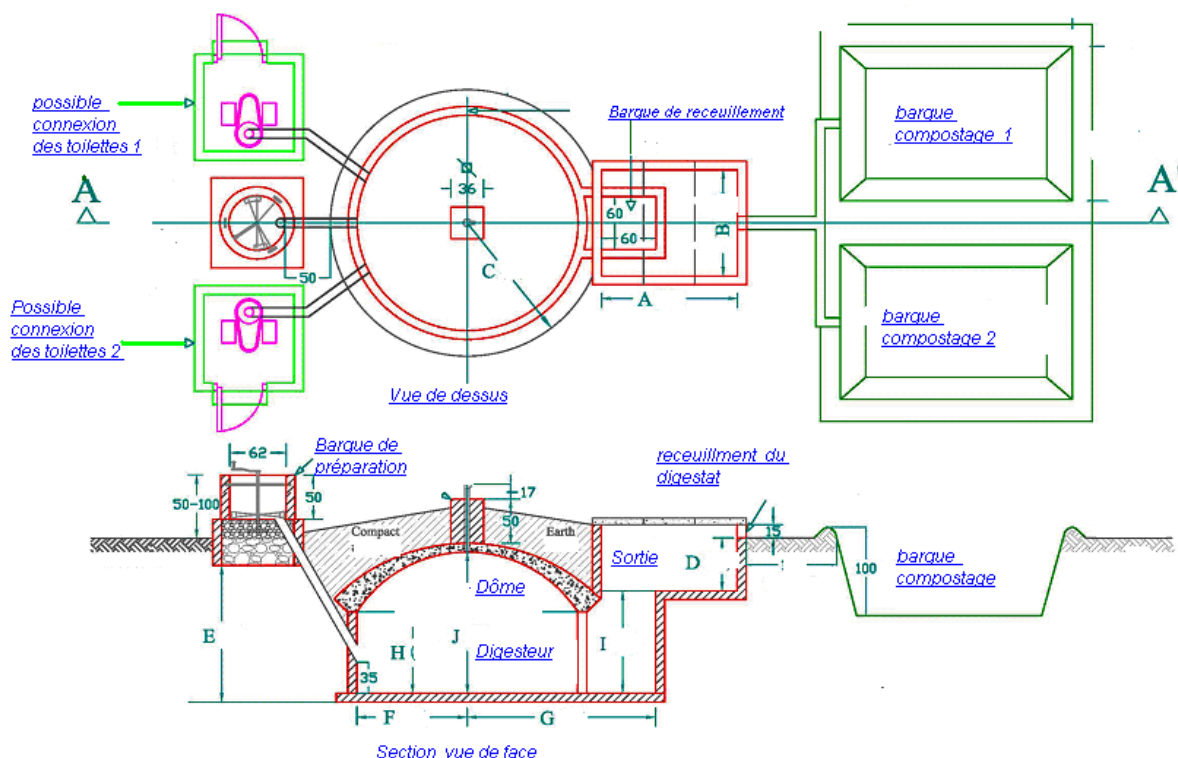
Nous nous sommes basés sur le *Manuel de formation des artisans en biogaz* (2014), les travaux de Uwe Gorisch et Markus Helm (2008) et ceux de Jean-Philippe Valla (2016). Pour ce dernier, un biodigesteur est une structure souterraine, construite avec du ciment (brique, moellon, blocs en terre comprimée), tuyaux et appareils pour décomposer des matériaux organiques et produire le biogaz. Pour nous, c'est une technique qui permet de freiner en Afrique l'utilisation du bois et du charbon, cause de la déforestation. À cette première initiative, s'ajoute une relation énergie-agriculture pour une agriculture écologique : produire de l'engrais organique et minéral, et cultiver des champignons et bactéries décomposeurs qui sont des vivants du troisième groupe, nécessaires et indispensables.

En mettant chaque jour la quantité recommandée de déchets biodégradables et d'eau dans le biodigesteur, la chaleur les fait fermenter et produit du gaz. Cette source d'énergie est utilisée principalement dans la cuisine (repas), l'éclairage, et le fertilisant produit est utilisé pour les jardins et les champs. Les décomposeurs sont réintroduits dans les sols.

La construction d'un biodigesteur nécessite une bonne connaissance et des qualifications de la part du maçon. Pour un biodigesteur performant, il faut considérer les dimensions appropriées, le choix du site, la sélection des matériaux de construction et les équipements adéquats en conformité avec les normes de qualité, assurant un fonctionnement efficace sans perte de gaz, et facilitant les travaux d'entretien. Le mauvais fonctionnement des biodigesteurs cause non seulement la perte des capitaux mais également peut nuire à la bonne réputation de la technologie des biodigesteurs et par la suite au futur développement du programme de biogaz.

3.3 Les différentes parties et la construction d'un biodigesteurs modèle GGC 2047

BIO DIGESTEUR Modèle GGC 2047



Différentes parties : 1-Entrée A : matière première (réservoir de mélange), 2-Entrée B/ tuyaux, entrées séparées pour les excréments du bétail et les latrines, 3-Le digesteur, 4-Le détenteur du gaz (dôme), 5-Chambre de visite et sortie (chambre de déplacement, et ouverture du déversoir), 6-tuyau principal de gaz et tourelle, 7-Valve principale de gaz, 8-canalisation, 9-Évacuation de l'eau (vanne de purge), 10-Jauge de pression, 11-Robinet du gaz, 12-la cuisinière à gaz avec tuyau en caoutchouc, 13-Les puits des effluents.

3.3.1 Construction

Après le choix du site qui ne doit pas être loin de la cuisine, on procède à l'installation du biodigester. Premièrement nous avons formé quelques maçons pour la construction, ensuite vient la plomberie sous la supervision d'un technicien. Il y a aussi l'implication des communautés pour l'entretien. Voici quelques photos des travaux effectués.

Photo 1. Construction du mur de base du biodigester



photo2a. Construction du détenteur du gaz (le dôme)



Photo 2b. La construction du dôme



Photo 3. L'ensemble de l'installation



Photo 4. L'appareil de mélange des déchets de cuisine et les lames de mélange



Photo 5. Canalisation du dôme à la cuisine



Vanne principale du gaz

Elle contrôle le courant de gaz du détenteur au gazoduc. Elle est ouverte quand le gaz est utilisé et est fermée après chaque usage. Si la qualité de la valve principale utilisée est médiocre, il y a toujours un risque de fuite du gaz. Cette valve doit être de haute qualité et approuvée par les autorités concernées du contrôle de qualité.

Vanne de purge de l'eau

Elle draine l'eau condensée à l'intérieur de la canalisation quand le gaz entre en contact avec un tuyau frais. C'est une composante importante d'une installation de biogaz et, par conséquent, sa qualité doit être contrôlée avec soin.

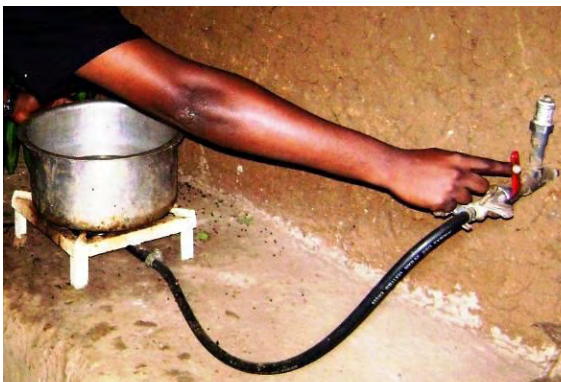


Photo 6. Canalisation du gaz et la vanne de purge de l'eau

3.3.2 Fonctionnement

Deux semaines après l'installation et l'introduction dans le biodigesteur des matières premières, le gaz se produit et au bout de 15 jours, on peut en général commencer à l'utiliser. Quelques photos des réchauds à gaz installés pendant la période de démonstration.

Photo 7. Une installation de réchaud à gaz



Jauge de pression du gaz

Il existe plusieurs types de jauge de pression : soit une jauge de pression en U (manomètre) faite d'un plastique transparent ou tube de verre et remplie de l'eau colorée, soit une jauge de pression digitale de type horloge ou analogue installée dans le système de transport pour contrôler la pression du gaz.

3.4 Usage des effluents et compostage

Les effluents d'une fosse à biogaz sont généralement utilisés pour plusieurs fonctions. La principale est le fumier organique dans les champs, les jardins de légumes et de fruits. Ce fumier organique sert aussi à la culture des champignons, au traitement de la semence, et également pour la culture de l'algue en vue d'augmenter la quantité des décomposeurs. C'est une nouvelle méthodologie de mise en place du biodigester de type GGC 2047 à dôme fixe et d'utilisation de l'effluent organique comme fertilisant pour accroître la production agricole. Il peut être utilisé mouillé ou sec. L'effluent peut être utilisé directement ou en le mélangeant avec de l'eau d'irrigation. L'application mouillée est plutôt gênante, par conséquent les fermiers préfèrent l'utiliser sec dans leurs champs. Pour l'usage sec, le compostage d'effluent est très recommandé.

L'avantage de l'usage des effluents en liquide est que les décomposeurs sont encore vivants et s'adaptent vite à leur nouvel environnement. Pour cela il faut :

- mélanger l'effluent et l'eau et appliquer directement sur les plantes,
- mélanger l'effluent et l'eau pour les jeunes cultures,
- mélanger directement avec le sol avant la culture.

CONCLUSION

Pour une bonne installation des biodigesteurs, le maçon et le plombier devront suivre les directives du technicien. Cette technologie a intéressé les communautés et on note une bonne implication. À Klouékanmè beaucoup de ménages souhaitent installer des biodigesteurs dans leur maison. C'est l'objectif visé par l'implication des communautés dans les formations : un biodigester par ménage. Cette solution pourrait régler le problème de crises écologiques liées à l'utilisation des pesticides et des engrais chimiques dans l'agriculture, du bois et du charbon pour cuire les repas. Il sera également intéressant d'installer dans les villes des biodigesteurs pour chaque ménage. Il s'agira de remplacer les fosses septiques (modèles européens) par des biodigesteurs, séparer les puisards des douches des puisards des effluents liquides. Ainsi chacun pourra transformer ses biodéchets en biogaz et avoir du fertilisant disponible pour la production agricole.

Cette technologie est la seule qui pourrait résoudre le problème écologique. Bien sûr il y a un autre problème important qui nous préoccupe. C'est l'économie comportementale. Il s'agit du comportement des prédateurs légalisés dans les sociétés de prédation comme le signale Pierre Rabhi (2017)

Pour l'instant, nous voulons valoriser la chaîne de valeur propre, la cuisinière alimentée au biogaz à partir des déchets des ménages, en leur offrant de nouvelles voies pour l'autonomie économique des femmes tout en apportant une contribution substantielle à la mitigation contre les changements climatiques et à la lutte contre la pollution de l'environnement et la dégradation forestière. Alors que les femmes portent un fardeau disproportionné dans la corvée liée à l'utilisation des combustibles solides, elles sont également essentielles pour les solutions de cuisson propre. Elles peuvent participer à la gestion des déchets des marchés de villes et villages par leurs propres entreprises, et gagner un revenu à partir de la conception de ces nouvelles pratiques agricoles (produits biologiques, biogaz), de l'ingénierie, la fabrication, la maintenance, le marketing, la distribution, la vente et les activités connexes impliquées dans la méthanisation agricole.

Notre objectif est d'appliquer la technique de Jean-Philippe Valla, simple et moins chère. Il présente aussi la méthode de purification du gaz obtenu et son usage pour les voitures et les groupes électrogènes pour produire de l'énergie électrique. Il s'agit donc d'envisager des techniques ou des systèmes adaptés à chaque pays. C'est dans le souci d'impulser une dynamique nouvelle et participative pour l'utilisation du biogaz et énergies propres au Bénin, de sauver des vies, d'améliorer les moyens de subsistance, de viser l'autonomisation des femmes, et d'atténuer les effets du changement climatique en mettant en place des solutions écologiques, viables, économiques. L'agroécologie est une éthique de vie souligne Pierre Rabhi (2015)), car changer d'agriculture, c'est changer de société.

BIBLIOGRAPHIE

- BENTHAM J. (1834) *Déontologie ou Science de la morale*, ouvrage posthume, revu, mis en ordre et publié par John Bowring, (son exécuteur testamentaire), Paris, Charpentier Libraire-Éditeur.
- CONVENTION SUR LA BIODIVERSITÉ BIOLOGIQUE (CDB) (1992) Nations Unies, [en ligne] <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-fr.pdf>, consulté le 2/1/2019.

- DELLERÉ R., SYMOENS J.-J. (sous la direction de) (1991) *Intensification agricole et environnement en milieu tropical*, Journée d'étude 5-6 juin 1990, Bruxelles, Centre technique de coopération agricole et rurale, Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer.
- LUTZ E., BINSWANGER H., HAZELL P., MAC CALLA A. (2000) *L'agriculture et l'environnement. Étude prospective sur le développement rural durable*, colloques de la banque mondiale, publication de la banque mondiale, Banque mondiale Washington D.C., 419p.
- FELTZ B. (2013) Écologie, in L. Lemoine, E. Gaziaux, D. Müller (dirs), *Dictionnaire encyclopédique d'éthique chrétienne*, Paris, Cerf.
- GORISCH U., HELM M. (2008) *La production du biogaz*, Paris, Édition Ulmer.
- GRINNELL J. (1917) The niche-relationships of the California Thrasher, *The Auk*, vol. 34, 191, 427-433.
- HAECKEL E. (1866) *Morphologie générale des organismes*, cité par P. Matagne (2003) Aux origines de l'écologie, *Innovations*, n° 18, 27-42. URL : <https://www.cairn.info/revue-innovations-2003-2-page-27.htm>
- HUTCHINSON G. E. (1964) The lacustrine microcosm reconsidered, *American Scientist*, 52(3), 331-341.
- ILLOLDI-RANGEL P., SANCHEZ-CORDERO V., TOWNSEND PATERSON A. (2004) Predicting Distributions of Mexican Mammals Using Ecological Niche Modeling, *Journal of Mammalogy*, vol. 85, n° 4, 658-662.
- JOHNSON R. H. (1910) *Determinate evolution in the color-pattern of the lady-beetles*, Washington, Carnegie Institution of Washington.
- LEMOINE L., GAZIAUX E., MÜLLER D. (Sous la direction de) (2013) *Dictionnaire encyclopédique d'éthique chrétienne*, Paris, Cerf.
- LINDEMANN R. L. (1942) The Tropic- Dynamic Aspect of Ecology, *Ecology*, vol. 23, n° 4, octobre, 399-417.
- Manuel de formation des artisans en biogaz*, (2014) Bénin. <https://www.bioenergie-promotion.fr/>
- RABHI P. (2015) *L'agroécologie, une éthique de vie*, Arles, éditions Actes Sud/Colibris.
- RABHI P. (2017) *Les excès de la finance ou l'art de la prédation légalisée*, Paris, Éditions Presses du châtelet.
- SACHS I. (1980) *L'écodéveloppement, stratégies de transition vers le XXIe siècle*, Paris, Les éditions ouvrières, 140p.
- SUTHERLAND E. C. (1927) *Animal Ecology*, New York, The Macmillan Company.
- VALLA J.-P. (2016) *Le biogaz, manuel pratique de la production à l'utilisation*, Toulouse, Terran Éditions, 136p.
- VAN POTTER R. (1971) *Bioethics: bridge to the futur*, Englewood Cliffs, N. J. Prentice Hall, 205p.

Le développement de l'agriculture au Sud (Sahara) face à la contrainte énergétique : cas de l'Algérie

Nouredine SAHALI¹ et Mohand SAHNOUNE²

La production agricole au nord de l'Algérie n'arrivait plus à satisfaire les besoins alimentaires de l'ensemble de la population à cause, d'une part de la croissance démographique (1 million de naissances par an) et de l'amélioration du niveau de vie et, d'autre part, de l'exiguïté des SAU³. Ces dernières années, une bonne partie de la production agricole, notamment en ce qui concerne les produits maraîchers (pommes de terre, tomates, légumes en général) est issue des régions de sud telles que Biskra, El Oued et Ghardaïa. En effet, ces régions connaissent actuellement une dynamique en terme de production (plasticulture notamment) et cela malgré des contraintes naturelles liées au sol, à l'environnement défavorable, au manque de ressources en eau de surface, etc. Ces contraintes ne sont dans la plupart des cas surmontées que grâce aux investissements soutenus par les pouvoirs publics avec l'octroi de subventions et de terres en concession. Cependant, l'exploitation des ressources hydriques souterraines, unique source d'irrigation dans ces régions, nécessite la mobilisation, non seulement d'investissements physiques (forages, canalisations) mais également d'une disponibilité en énergie afin de permettre le fonctionnement du matériel utilisé (pompes). Sur ce plan, les agriculteurs recourent généralement à l'utilisation du gasoil, en vue de pallier l'absence de réseau d'électrification au niveau des zones éparses mais ce procédé génère des coûts d'exploitation très élevés en termes de transport, de stockage et de prix⁴. Dans ces conditions, le développement de l'énergie solaire au profit de la consommation domestique mais également pour les besoins de l'activité agricole en développement peut constituer une alternative ou un complément indéniable (mix énergétique), d'autant plus que le pays dispose d'un potentiel avantageux en la matière. Les pouvoirs publics essayent dans ce cadre d'agir à la fois sur la réduction et la disponibilité des sources classiques d'énergie (réseaux, tarifs) ainsi que sur l'introduction des nouvelles sources d'énergie, particulièrement le solaire.

Après un exposé des grandes lignes de la politique nationale d'aide à l'investissement agricole et la présentation des potentialités hydriques et énergétiques des zones sahariennes, nous dresserons un bilan de la contribution de ces régions à la production agricole nationale. Nous terminerons par l'examen de l'étendue de la mise en œuvre du programme national des énergies renouvelables dans ces régions.

1. SURVOL DE LA STRATÉGIE DE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE DES ANNÉES 2000

La nouvelle stratégie de développement agricole, contenue dans le Plan National de Développement Agricole (PNDAR) est composée d'un ensemble de programmes financés par des fonds spéciaux du trésor et d'autres

¹ Maître assistant. FSECG/Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Nouredinesahali@yahoo.fr

² Maître assistant. FSECG/Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Sahnoun.mohand@yahoo.fr

³ La Surface Agricole Utile (SAU) ne dépasse pas 3% de la surface totale du pays.

⁴ Les prix des carburants, essence, diesel et GNL-c, fixés respectivement à 0,347, 0,219, 0,068 USD/litre sont plus élevés que ceux de l'électricité conventionnelle arrêtés à 0,04 USD/kWh pour les ménages et à 0,035USD/kWh pour les entreprises.

dispositifs financiers. L'objectif assigné à cette politique consiste essentiellement dans la mise à niveau du secteur agricole à travers l'amorce d'une dynamique d'investissement et de modernisation dans certaines filières de production. À cet effet, plusieurs programmes ont été arrêtés. Ces derniers touchent divers types d'activités agricoles et différentes zones géographiques du pays.

1.1 *Les objectifs du PNDAR*

L'objectif principal de la nouvelle stratégie, initiée par l'adoption du PNDAR⁵, est d'atteindre un niveau de sécurité alimentaire satisfaisant du pays qui s'appuie sur l'augmentation des capacités de production dans le secteur afin d'améliorer le niveau de couverture de la consommation nationale. Cependant, en raison de la rareté des ressources naturelles viables (en eau et en terres fertiles), il est exigé de rationaliser l'utilisation des ressources existantes dans une perspective d'un développement durable, mais aussi de favoriser l'émergence de productions à avantages comparatifs.

Explicités dans les textes portant le PNDAR, ces objectifs s'articulent autour⁶ :

- d'une meilleure utilisation des capacités de production et des ressources naturelles ;
- de l'intensification de la production agricole, là où les conditions sont réunies ;
- de l'adaptation des systèmes de production aux spécificités climatiques du pays ;
- de l'extension des terres agricoles utiles (SAU) par la voie de la concession ;
- de la réhabilitation de la vocation naturelle des différentes régions ;
- de la création de l'emploi dans le secteur agricole et l'amélioration des revenus des ruraux.

Pour la réalisation de ces objectifs, le PNDAR a prévu différents programmes d'action.

1.2 *La diversification des programmes contenus dans le PNDAR*

La mise en œuvre du PNDAR a nécessité une prise en charge d'un vaste champ d'activités agricoles avec entre autres la prise en compte des contraintes agroalimentaires propres à l'Algérie ainsi que la diversité climatique et naturelle des régions du pays. Les régions sahariennes et les hauts plateaux ont bénéficié des programmes adaptés à leurs spécificités naturelles. Nous pouvons citer :

Le programme d'adaptation des systèmes de production (reconversion) qui vise l'accompagnement de l'agriculteur financièrement à travers le soutien des activités agricoles à revenu immédiat (opération de reconversion).

Le programme d'intensification de la production (ou programme de développement par filière) dont la mise en place vise l'amélioration de la production et de la productivité ainsi que la valorisation du patrimoine, l'acquisition des équipements et des infrastructures.

Le Plan National de Reboisement qui, en vue de mettre un terme à la dégradation des sols et lutter contre la désertification, se fixe comme objectif la restauration des zones forestières menacées ainsi que l'amélioration des taux de boisement au Nord du pays, l'objectif recherché est de passer de 11% à 14%.

Le Programme de Développement des Zones de Parcours et de Protection de la Steppe avec lequel l'accent est mis sur la protection de l'écosystème pastoral, l'augmentation de la production fourragère et l'amélioration des revenus des populations locales.

Le Programme de la mise en valeur des terres par la concession à travers lequel il est recherché l'extension de la SAU, avec des actions de mise en valeur qui doivent être économiquement viables, écologiquement durables et socialement acceptables.

Le Programme de Mise en Concession et de Dynamisation au Développement de l'Agriculture Saharienne qui prévoit la réalisation de certaines actions, dont l'introduction de nouveaux matériels d'irrigation, la réfection des réseaux d'irrigation, la réhabilitation du Hoggar avec ses puits traditionnels, le rajeunissement de la palmeraie.

Le Programme de Soutien à l'Investissement et à l'Exploitation Agricole, un nouveau dispositif qui prend en charge des actions d'encadrement de l'activité agricole dans la phase de préparation, d'exécution, de protection et de valorisation des productions.

1.3 *Le mode de financement des programmes : une faible articulation subventions-crédits bancaires*

La mise en œuvre des programmes du PNDAR s'appuie sur un dispositif de financement public et bancaire. Plusieurs fonds sont créés à cet effet. Il s'agit notamment de deux principaux fonds :

⁵ Rapport du CNES, 18ème session, 2001, p.37.

⁶ La circulaire n°332 du 18.07.2000 relative à la stratégie de mise en œuvre du PNDA.

- Le *Fonds National de Régulation et de Développement Agricole* (FNRDA), créé en 2000, en remplacement du Fonds National de Développement Agricole (FNDA) dont l'objectif était la prise en charge des actions des programmes de la reconversion, de l'intensification et de la modernisation des filières agricoles⁷.

- Le *Fonds National de Mise en Valeur des Terres par les Concessions* (FNMVTC) prend en charge les opérations de mise en valeur réalisées par l'entreprise publique générale des concessions agricoles⁸.

À côté des deux fonds précités, le PNDAR prend en charge sur concours budgétaires le financement d'autres programmes dont :

- le *Plan National de Reboisement* inscrit à l'indicatif de la direction générale des forêts soutenu par un prêt de la BIRD pour le programme de l'emploi rural (04 wilayas de l'Ouest du pays) ;

- le *Programme de Développement et de Protection des Zones de Parours* inscrit à l'indicatif du Haut-commissariat au Développement de la Steppe (HCDS) ;

- le *Programme de Mise en Valeur au Sud* du pays inscrit à l'indicatif du Commissariat au Développement de l'Agriculture des Régions Sahariennes (CDARS)⁹.

Cependant, la crise alimentaire mondiale de 2008 a poussé les pouvoirs publics à apporter des améliorations aux dispositifs existants. Ceci s'est traduit par la mise en place d'un nouveau plan dit le PNDAR. Ce dernier, articulé au schéma directeur du secteur agricole pour la période 2008-2025, vise un réaménagement du dispositif de soutien à l'activité agricole, la régulation de la production et la sécurité des revenus des agriculteurs dans les zones défavorisées. Dans ce cadre, l'accent est désormais mis sur le développement de certaines filières stratégiques telles que le lait, les céréales et la pomme de terre. L'autre nouveauté apportée par ce plan, est que chaque wilaya est tenue de signer un contrat de performance à l'horizon 2014. En parallèle, des projets de proximité de développement rural (PPDRI) sont lancés pour améliorer les conditions de vie des populations rurales à travers la création de postes d'emploi et la valorisation des produits du terroir.

2. LE CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE DE L'AGRICULTURE SAHARIENNE

Nous allons traiter dans cette partie les limites de la zone géographique du Sahara puis ses potentialités naturelles, particulièrement l'eau souterraine et l'énergie solaire.

2.1 Délimitation géographique des régions sahariennes

L'espace géographique du Sahara algérien s'étale sur une superficie très vaste qui avoisine 2 millions de Km², correspondant au 4/5 du territoire du pays et d'un cordon frontalier de 5 000 km. Cet espace se trouve au sud de l'Atlas saharien aux frontières méridionales, regroupant 9 wilayas (voir tableau 1). Il est caractérisé par de grandes distances qui séparent les localités des chefs-lieux administratifs (la wilaya).

Sur le plan du relief quatre zones distinctes composent cet espace. Il s'agit :

- Du Bas Sahara, avec une grande dépression qui s'étale sur Ouargla, Hassi Messaoud, El Oued et l'Oued Righ. Cette zone regroupe les points les plus bas, le long du piémont atlantique où sont situés les chotts à quelques 20 m au-dessous du niveau de la mer. Cette zone qui abrite l'essentiel de la population saharienne¹⁰ a une activité agricole intense.

- De la dorsale du M'Zab et les plateaux du sud et du sud-ouest (Tadmaït) qui constituent les reliefs majeurs de la zone à 300/400 m d'altitude.

- Des deux grandes zones dunaires (ergs) situées l'une à l'ouest et l'autre à l'est. Celles-ci dominent presque la moitié de l'espace saharien et constituent des zones presque entièrement désertiques.

Des vallées ou dépressions du sud-ouest (Saoura, Touat, Gourara, Tidikelt) qui constituent la deuxième zone, après le bas Sahara en matière de concentration de la population et de l'activité agricole.

⁷ L'arrêté interministériel n°586 du 25 Juin 2000, détermine la nomenclature des recettes et des dépenses du compte d'affectation spécial n°302-067 intitulé "Fonds National de Régulation et de Développement Agricole", FNRDA.

⁸ Cette entreprise est créée par la Loi des finances de 1988.

⁹ Le CDARS est un établissement public administratif créé en 1986. Son champ d'intervention couvre 9 wilayas du sud (celles mentionnées dans le tableau 1). Ses principales missions consistent, entre autres, à superviser l'application de la politique nationale en matière de développement intégré de l'agriculture dans les régions sahariennes, à mener des études, recherches ou travaux nécessaires à la connaissance du milieu et de l'agriculture des régions sahariennes. Le CDARS œuvre à l'accompagnement technique des agriculteurs, éleveurs et investisseurs dans les régions sahariennes et semi sahariennes.

¹⁰ Se trouvant notamment dans les chefs lieu de 3 wilayas.

Tableau 1 : Zonage des régions sahariennes

<i>Ensembles morphologiques</i>	<i>Régions naturelles Sahariennes</i>	<i>Unité administrative (wilayas et communes)</i>
Bas Sahara	<i>Zibans</i>	Biskra (30 communes)
	<i>Le Souf</i>	El Oued (22 communes)
	<i>Oued Righ</i>	Ouargla (13 communes) et El Oued (8 communes)
	<i>Ouargla</i>	Ouargla (8 communes)
Dorsale mozabite	<i>M'Zab</i>	Ghardaïa (13 communes)
	<i>Le pays des Dayas</i>	Biskra (3 communes) et Laghouat (1 commune)
Bassin de la Saoura – Sahara occidental	<i>Saoura et Tindouf</i>	Béchar (21 communes) et Tindouf (2 communes)
	<i>Piémont des Ksours</i>	Adrar (10 communes)
	<i>Gourara Tounat</i>	Adrar (12 communes)
Sahara central	<i>Hoggar</i>	Adrar (2 communes) Tamanrasset (7 communes)
	<i>Tassili des Ajers</i>	Illizi (6 communes)
	<i>Tiddikelt</i>	Adrar (4 communes) Tamanrasset (3 communes)

Source : Commissariat au Développement de l'Agriculture des Régions Sahariennes, 1999.

2.2 Les potentialités naturelles : fortes disponibilités des ressources en eau souterraine et en énergie solaire

Le Sahara recèle d'énormes potentialités en eau souterraine. D'après l'étude du Plan Directeur Général de Développement des Régions Sahariennes (Zenkri, 2017, 38-41) effectuée en 1999, celles-ci se distinguent principalement par les aquifères du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT). Les réserves théoriques des deux aquifères sont estimées à près de 60.000 milliards de m³. D'autres ressources en eau situées dans la périphérie du bassin du Sahara septentrional (Biskra, Laghouat, Bechar, Hoggar et Tassili) sont également importantes et se caractérisent surtout par des nappes phréatiques. La nappe du CI ou Albien constitue un grand réservoir d'eau fossile qui s'étend sur une superficie globale de 840 000 Km² dont 600.000 Km² en Algérie (le reste en Tunisie et en Libye) à plus de 1000 m de profondeur, 1 à 2 g/l de sels, chaude, 60°C. Le CI couvre les 2/3 du Sahara septentrional avec une réserve de 40.000 milliards de m³.

La nappe du CT se localise dans le Sahara occidental et s'étend sur une superficie de 350.000 Km² avec une profondeur oscillant entre 100 et 500 m. Par contre, ces eaux sont froides et généralement salées (de 3 à 8 gr/litre). Cette nappe est exploitée dans les Zibans, Oued Righ, Souf et Ouargla et représente environ les 7/10^{ème} des ressources de ces régions, soit 20.000 milliards de m³, les écoulements des eaux de cette nappe convergent vers les Chotts Melghir et Merouane, qui constituent les exutoires naturels de la nappe. Au total, les potentialités en eau exploitables sont estimées à 5,2 milliards de m³/an dont 5 milliards de m³/an en eaux souterraines et 0,2 milliard de m³/an en eaux superficielles.

3. L'ÉVOLUTION DE L'AGRICULTURE SAHARIENNE ENTRE 2000 ET 2015

Nous allons consacrer ce point à l'analyse de l'évolution de l'agriculture saharienne, en se basant sur trois filières essentielles: l'arboriculture dont la phoeniciculture (culture des dattes), le maraichage sous serre ainsi que la pomme de terre.

3.1 L'arboriculture au Sahara : évolution des superficies plantées et diversification

L'évolution des superficies consacrées à l'arboriculture au niveau des régions sahariennes, entre 2000 et 2015, est retracée dans les tableaux 2 et 3 ci-après.

Les données contenues dans le tableau 2, montrent que la superficie totale plantée dans les différentes filières arboricoles, au début du millénaire, occupe une superficie de 470 000 ha à l'échelle nationale. En termes d'importance, l'oléiculture occupe la première place avec 168 080 ha correspondant à près de 36% de superficie totale, suivie en deuxième place par des espèces à noyaux et pépins avec 118 090 ha. Ces dernières représentent 25% de la superficie arboricole. En troisième place, vient la phoeniciculture avec 101 820 ha correspondant à près de 22% de la superficie totale.

Au total, la phoeniciculture prédomine l'arboriculture saharienne, elle occupe plus de 99 713 ha ce qui représente plus de 97% de la surface totale arboricole (de l'ordre de 102 310 ha). Les espèces noyaux et pépins viennent en deuxième position avec seulement 1 814 ha représentant moins de 2% de la surface arboricole.

La répartition de la surface phoenicicole au sein de la zone étudiée n'est pas homogène. Nous constatons que quatre wilayas en l'occurrence, El oued avec 26%, Biskra avec 24%, Adrar avec 19% et Ouargla avec 17%

détiennent plus de 86% de l'ensemble des palmiers dattiers. Alors que Ghardaïa et Bechar ne détiennent respectivement que 6% et 5%.

Tableau 2 : La situation de la superficie occupée par l'arboriculture au niveau du Sahara en 2000

	OLIVIERS		PALMIERS DATTIERS		AGRUMES		FIGUIERS		NOYAUX/ PÉPINS		SUPERFICIE TOTALE	
WILAYA	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
ADRAR	0	0	19 150	100	0	0	0	0,0	0	0,0	19 150	100
BISKRA	146	0,6	24 244	96,4	50	0,2	0	0,0	702	2,8	25 142	100
BECHAR	2	0	4 680	97,7	16	0,3	0	0,0	90	1,9	4 788	100
TAMANRASSET	0	0	2 480	93,9	0	0	15	0,6	146	5,5	2 641	100
OUARGLA	0	0	16 717	100	0	0	0	0,0	0	0,0	16 717	100
ILLIZI	2	0,3	609	81	53	7,1	21	2,8	65	8,7	750	100
TINDOUF	0	0	126	100	0	0	0	0,0	0	0,0	126	100
EL-OUED	12	0	26 057	97,8	52	0,2	20	0,1	508	1,9	26 649	100
GHARDAIA	0	0	5 650	89	345	5,4	49	0,8	303	4,8	6 347	100
TOTAL	168 080	35,8	101 820	21,7	46 010	9,8	36 000	7,7	118 090	25,1	470 000	100

Source : Construit par nous-mêmes d'après les statistiques du ministère de l'agriculture, série B, année 2000.

Tableau 3 : Superficies occupées par les plantations en 2015

	OLIVIERS		PALMIERS DATTIERS		AGRUMES		FIGUIERS		NOYAUX/ PÉPINS		SUPERFICIE TOTALE	
WILAYA	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
ADRAR	-	-	28 326	100,0	-	-	-	-	-	-	28 326	100
BISKRA	4 245	8,1	42 911	82,3	77	0,1	1 409	2,7	3 483	6,7	52 125	100
BECHAR	1 334	8,3	14 121	87,8	46	0,3	58	0,4	525	3,3	16 084	100
TAMANRASSET	174	2,2	7 003	86,8	182	2,3	65	0,8	646	8,0	8 070	100
OUARGLA	642	2,8	21 977	95,5	28	0,1	109	0,5	257	1,1	23 012	100
ILLIZI	122	7,6	1 254	78	129	8,0	21	1,3	83	5,1	1 608	100
TINDOUF	124	21,7	434	75,7	-	-	10	1,7	5	0,9	573	100
EL-OUED	3 000	7,4	36 680	90,5	26	0,1	-	-	805	2,0	40 511	100
GHARDAIA	1 250	8,7	10 848	75,1	1 063	7,4	209	1,4	1 078	7,5	14 448	100
TOTAL	406 571	43,7	166 893	18,0	67 191	7,2	43 130	4,6	245 855	26,4	929 641	100

Source : Construit par nous-mêmes d'après les statistiques du ministère de l'agriculture, série B, année 2015.

Après une quinzaine d'années d'efforts d'investissements, nous constatons une importante évolution dans la surface agricole arboricole et dans la structure des espèces arboricoles cultivées (voir tableau 2 ci-dessus).

La surface arboricole globale a enregistré une augmentation de 459 641 ha par rapport à l'an 2000, soit près de 100 % d'évolution. La surface dédiée à la culture d'oliviers occupe toujours la première position avec 406 571 ha avec presque 44% de la surface globale, suivie des espèces à noyaux et pépins avec 245 855 ha et enfin des palmiers dattiers avec 166 893 ha.

Au niveau de la zone d'étude la surface arboricole a connu une augmentation importante, puisqu'elle a atteint 184 757 ha. La phoeniciculture a enregistré une augmentation de 65 073 ha, soit une évolution de 65%.

Cependant, la place de la phoeniciculture enregistre une régression dans le total de la surface arboricole puisqu'elle ne représente que 88,5% du total arboricole. Cela est dû à l'introduction d'autres filières arboricoles, notamment les espèces à noyaux et pépins au niveau de la wilaya de Biskra et la plantation des oliviers dans les wilayas d'El oued, Bechar, Biskra et Ghardaïa. Au total, la filière oléiculture enregistre une évolution très importante et s'étale désormais sur une superficie de 10 891 ha, soit 6% de la surface arboricole. Les espèces à noyaux et pépins ont connu un accroissement de 6 882 ha.

3.2 Évolution des cultures maraichères sous serre

Les cultures maraichères constituent l'un des segments de l'agriculture saharienne qui a connu, visiblement, une forte évolution sur la période (2000-2015). Les données chiffrées ci-après nous permettront de le vérifier concrètement.

Selon le tableau 4, la surface agricole consacrée en 2000 pour la culture maraichère au niveau national est de l'ordre de 4 349 ha. Cette superficie est répartie notamment entre la culture des tomates (1737 ha), poivrons (883 ha) et piments (778 ha). Sur le plan de la production une quantité de 2.224.660 Qx est récoltée. Celle-ci se répartit comme suit : 1 266 560 Qx de tomates, 325 330 Qx de poivrons et 276 750 Qx de piments. Le Sahara n'a pas connu de résultats probants en ce qui concerne la superficie plantée ou bien les productions récoltées. Toutefois, ce constat ne s'applique pas sur la wilaya de Biskra qui a consacré 1 370 ha pour les cultures

marachères sous serre, c'est-à-dire 30% de la superficie nationale dévolue à cette culture, et elle a produit 1/3 de la production maraichère totale.

Tableau 4 : La production des cultures maraichères sous serre plasticulture dans le sud, en 2000

WILAYA	TOMATES		PIMENTS		POIVRONS		TOTAL	
	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)
ADRAR	9,50	5 620	11,95	3 060	5,20	1 330	40,00	13 960
BISKRA	689,24	510 040	437,84	168 560	201,98	90 490	1 370,46	801 820
OUARGLA	9,00	5 620	8,00	2 850	4,00	1 230	103,00	21 300
ILLIZI	0,58	350	0,18	60	0,14	40	1,21	580
EL-OUED	35,38	22 730	12,82	3 860	5,10	1 970	56,22	28 940
GHARDAIA	4,78	3 350	1,82	910	1,50	780	8,21	5 080
TOTAL	1 737,11	1 266 560	778,08	276 750	883,37	325 330	4 349,70	2 224 660
Rendement (Qx/ha)		729,1		355,7		368,3		511,5

Source : Construit par nous-mêmes d'après les statistiques du ministère de l'agriculture, série B, année 2000.

Tableau 5 : Superficies occupées par les cultures maraichères sous serre plasticulture en 2015

WILAYA	TOMATES			PIMENTS		
	Superficie (ha)	Production (Qx)	Rendement Qx/ha	Superficie (ha)	Production (Qx)	Rendement Qx/ha
ADRAR	7,32	3 869	528,6	14,50	3 851	265,6
BISKRA	2 189,00	3 071 910	1 403,3	1 231,87	894 213	725,9
BECHAR	1,24	938	756,5	0,08	16	200,0
TAMANRASSET	2,55	2 209	866,3	0,70	434	620,0
OUARGLA	7,60	5 110	672,3	11,58	2 277	196,6
ILLIZI	0,52	130	250,0	0,14	28	200,0
TINDOUF	5,56	5 004	900,0	0,52	260	500,0
EL-OUED	63,00	63 000	1 000,0	80,00	40 000	500,0
GHARDAIA	0,70	358	511,4	0,44	207	470,5
TOTAL	4 492,43	5 107 029	1 136,8	1 911,14		668,5

WILAYA	POIVRONS			TOTAL		
	Superficie (ha)	Production (Qx)	Rendement Qx/ha	Superficie (ha)	Production (Qx)	Rendement Qx/ha
BISKRA	841,95	609 502	723,9	5 587,00	5 584 116	999,5
BECHAR	0,08	20	250,0	1,68	1 041	619,6
TAMANRASSET	0,28	140	500,0	5,58	3 054	547,3
OUARGLA	2,49	500	200,9	469,09	259 327	552,8
ILLIZI	0,02	4	200,0	1,03	256	248,5
TINDOUF	3,16	1 580	500,0	11,92	8 492	712,4
EL-OUED	42,00	21 000	500,0	204,00	142 000	696,1
GHARDAIA	0,26	100	384,6	2,08	800	384,6
TOTAL ALG	2 140,48			13 217,06	10 337 756	782,2

Source : Construit par nous-mêmes d'après les statistiques du ministère de l'agriculture, série B, année 2015.

Cependant, la situation a fortement évolué en faveur de ces cultures en 2015 (voir le tableau 5). En termes de superficie plantée, une progression de plus 200% est réalisée, puisque les nouvelles superficies plantées atteignent 13 217 ha. En termes de production, le constat est encore plus édifiant avec une production de 10 337 756 Qx équivalent à une progression de plus 350%.

La wilaya de Biskra, devenue un pôle de production des cultures maraichères, a enregistré des résultats remarquables tant sur le plan de l'extension des superficies plantées que sur celui de l'amélioration des rendements à l'hectare. La superficie plantée (5 587 ha) représente 42% de la superficie totale des produits maraichers sous serre en Algérie. La production de cette wilaya à elle seule (5 584 116 Qx) équivaut à 54% de la production algérienne. La même performance est enregistrée concernant les rendements moyens à l'hectare. En effet, pour les tomates, poivrons et piments, les rendements réalisés sont supérieurs à la moyenne nationale. À titre d'illustration, le rendement des tomates atteint 1000 Qx/ha alors que la moyenne nationale n'est que de 782 Qx/ha.

Les facteurs qui sont à l'origine de ces performances dans la production maraichère, au niveau de la wilaya de Biskra comme à l'échelle nationale, sont multiples. Le premier facteur réside dans le caractère spéculatif de ces cultures à forte valeur ajoutée, d'autant plus que cela a coïncidé avec l'amélioration du pouvoir d'achat des citoyens qui a connu une nette amélioration durant la même période. Le second facteur est lié à l'encouragement des agriculteurs pour investir dans ce créneau via l'octroi de subventions dans le cadre de la

politique agricole. Le troisième facteur, est inhérent à la valeur intrinsèque des différents produits maraichers. La qualité de ces produits a permis leur commercialisation à l'international, même si la quantité exportée chaque année demeure modeste.

3.3 La pomme de terre : exemple de la dynamique agraire saharienne

La pomme de terre constitue un produit de large consommation en Algérie. Jusqu'à une date récente, la wilaya d'Ain Defla (située au nord), grâce à la fertilité de ses terres, était pionnière de sa culture. Début 2000, la superficie consacrée à la production de la pomme de terre, sur le territoire algérien, était de 72 690 ha. Les régions sahariennes, avec 1 495 ha seulement, représentaient 2%. Sur une production nationale de 12 076 900 Qx en 2000, moins de 500 000 Qx, soit 3%, provenaient des régions sahariennes¹¹.

Tableau 6 : Superficies occupées par la culture des pommes de terre en 2000

	PRIMEURS		SAISON		ARRIÈRE-SAISON		TOTAL	
WILAYA	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)
ADRAR	290	29 780	10	900	0	0	300	30 680
BISKRA	21	1 540	32	4 800	152	31 160	205	37 500
BECHAR	0	0	12	1 345	13	2 550	25	3 895
TAMANRASSET	0	0	67	15 070	0	0	67	15 070
OUARGLA	0	0	0	0	35	4 160	35	4 160
EL-OUED	20	3 370	220	40 630	582	87 380	822	131 380
GHARDAIA	32	5 920	0	0	0	0	32	5 920
TOTAL	3 480	475 920	45 590	8 027 450	23 620	3 573 530	72 690	12 076 900
Rendement National (Qx/ha)		136,8		176,1		151,3		166,1

Source : Construit par nous même d'après les statistiques du ministère de l'agriculture, série B, année 2000.

Tableau 7 : La culture des pommes de terre dans les principales wilayas productrices au sud en 2015

	PRIMEURS			SAISON		
WILAYA	Superficie (ha)	Production (Qx)	Rendement Qx/ha	Superficie (ha)	Production (Qx)	Rendement Qx/ha
BISKRA	46	8 800	191,3	-	-	-
OUARGLA	-	-	-	154	45 550	295,8
EL-OUED	-	-	-	11 000	3 850 000	350,0
GHARDAIA	-	-	-	12	4 560	380,0
TOTAL ALG	4 743	1 090 690	230,0	84 599	26 874 681	317,7
	ARRIÈRE-SAISON			TOTAL		
WILAYA	Superficie (ha)	Production (Qx)	Rendement Qx/ha	Superficie (ha)	Production (Qx)	Rendement Qx/ha
BISKRA	116	25 520	220,0	162	34 320	211,9
OUARGLA	1 512	442 828	292,9	1 666	488 378	293,2
EL-OUED	22 000	7 040 000	320,0	33 000	10 890 000	330,0
GHARDAIA	90	24 300	270,0	102	28 860	282,9
TOTAL ALG	63 971	17 430 399	272,5	153 313	45 395 769	296,1

Source : Construit par nous-mêmes d'après les statistiques du ministère de l'agriculture, série B, année 2015.

Depuis 2000, la culture de la pomme de terre a fortement évolué (tableau7). En 2015, la superficie qui lui a été réservée a plus que doublé puisqu'elle a atteint 153 313 ha au niveau national. La wilaya d'El Oued a enregistré une forte extension de la superficie cultivée, avec 33 000 ha elle représente plus de 1/5 de la superficie totale consacrée à cette culture.

De même pour les quantités produites, 45 395 769 Qx sont récoltés à l'échelle nationale. Cela signifie que la production a presque quadruplé entre 2000 et 2015. La wilaya d'El Oued a produit 11 000 000 Qx, soit près du quart de la production nationale en 2015.

Deux types de facteurs expliquent ces performances. Le premier est lié aux soutiens accordés à cette filière par les pouvoirs publics, considérée comme filière stratégique. La mise en place d'une politique favorisant l'investissement, le stockage et la commercialisation par le biais du dispositif SYRPALAC (système de régulation des produits à large consommation) a donné des résultats concrets. Parallèlement à l'accroissement des capacités de production, la disponibilité et la distribution de la pomme de terre connaît une nette stabilité, tout au long de l'année, mettant fin aux anciennes périodes de pénuries et de spéculation qu'avait connu le

¹¹ De plus la répartition des récoltes tout au long de l'année permet sa disponibilité régulière. La production de la pomme de terre se distingue par l'existence de trois périodes de récoltes : primeurs, saison et arrière-saison.

pays dans le passé. Le deuxième facteur est lié, dans le cas particulier de la région d'El Oued, à un fort rendement à l'hectare de 330 Qx/h, bien supérieur à la moyenne nationale qui n'est que de 296 Qx/h. Au final, comme l'a si bien résumé Bessaoud (2009, 29) « ces investissements [soutenus par d'importantes aides publiques] ont contribué à transformer la cartographie agricole de l'Algérie, notamment avec la mise en valeur des terres dans les régions sahariennes et steppiques. Bassin traditionnel de production de dattes (dont la fameuse variété Deglet-Nour commercialisée dans le monde entier), ces régions sont devenues des pôles de développement des cultures maraîchères et fruitières. Le tiers des approvisionnements du pays en produits maraîchers est issu du pôle agricole de Biskra qui se trouve aux portes du désert. Oued Souf dans le sud-est algérien est devenu le premier bassin de production de la pomme de terre et la commune steppique de Rechaïga est le premier fournisseur en oignons du pays. Les wilayas de Biskra et d'El Oued, au sud-est du pays disposent à elles seules de près de 17 % de la SAU irriguée en Algérie ».

3.4 *Contraintes et problèmes de l'agriculture dans les régions sahariennes*

Nonobstant les avancées enregistrées dans le domaine de l'agriculture saharienne, particulièrement dans les filières que nous avons traitées, les régions sahariennes demeurent exposées à diverses contraintes. À ce titre, l'implication des pouvoirs publics est indispensable pour résoudre des obstacles multiformes de nature différente. Ces contraintes relèvent, en premier lieu des difficultés naturelles et en second lieu du manque et de l'insuffisance des moyens technico-économiques.

Les contraintes naturelles sont liées à la qualité de la terre qui n'est pas riche en matières organiques, à l'accentuation des phénomènes de salinisation, au déficit hydrique avec en plus du rabattement des nappes, à l'enclavement de certaines Oasis, à l'érosion génétique (déperditions de cultivars) et à la fréquence et l'intensité des vents qui entraînent des ensablements. De même, les insuffisances de moyens constituent un autre handicap qui empêche le développement de l'agriculture saharienne. À cet égard, nous pouvons recenser la faible utilisation de nouvelles techniques, le manque de formation des agriculteurs, l'absence de moyens de commercialisation, les contraintes foncières dues à l'indivision ou au morcellement excessif de la palmeraie, la défectuosité et la vétusté des réseaux d'irrigation, la forte présence des maladies, comme le *bayoudh*, et des ravageurs, comme les lépidoptères, qui menacent les palmiers dattiers.

Par ailleurs, le problème de l'énergie affecte sérieusement l'agriculture saharienne confrontée à deux cas de figure. Le premier est lié à la non disponibilité de l'électricité dans plusieurs localités au regard de l'espace très vaste de cette zone, ce qui pénalise l'agriculture par le manque de moyens de pompage de l'eau souterraine permettant l'irrigation. L'alternative trouvée dans ce cas est l'utilisation du gasoil qui devient très onéreux avec les prix qui ont plus que doublé en l'espace de deux années. Le second cas, lorsque l'électricité est disponible, la facturation par tranche grève considérablement les dépenses d'énergie pour irrigation. Au total, les coûts élevés de l'énergie (gasoil ou électricité), ne font qu'augmenter les prix de revient ce qui compromet la rentabilité des exploitations agricoles. L'alternative ne peut se trouver que dans les énergies renouvelables pour au moins deux raisons : de faisabilité (installation facile et circonscrite) et de coûts (énergie moins chère).

4. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES : UN GISEMENT A EXPLOITER

En raison des conditions climatiques propres aux régions sahariennes, la disponibilité en eau d'irrigation a toujours constitué la principale contrainte au développement des exploitations agricoles et même au maintien des populations. Les solutions traditionnelles se basant sur le forage nécessitent, pour une agriculture de masse, la disposition de moyens importants dont le fonctionnement consomme de fortes quantités d'énergie électrique. Pour pallier les problèmes relatifs à l'inexistence de réseaux électriques et/ou aux surcoûts des procédés s'appuyant sur le carburant, le recours à l'énergie solaire commence à s'imposer comme la solution idoine, dans ce pays qui dispose d'un potentiel important en énergies renouvelables (solaire et éolien).

4.1 *Des potentialités naturelles pour la production en énergies renouvelables*

En plus des ressources en eau, le Sahara recèle de grandes potentialités dans d'autres sources d'énergie telles que le solaire, l'éolien et la géothermique. Le Sahara algérien bénéficie d'une puissance de rayonnement solaire parmi les plus élevées de la planète¹². D'après les statistiques du Ministère de l'Énergie et des Mines publiées

¹² Selon les données disponibles sur le site du Ministère de l'Énergie et des Mines, la durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse 2 000 heures annuellement et peut atteindre 3 900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1m² (environ 3 KWh/m² au nord) dépasse 5,6 KWh/m² dans le Grand Sud.

en 2005 (Zenkri, 2017, 42-44), l'Algérie dispose d'un potentiel de production en énergie solaire évalué à 169 440 TWh/an pour le solaire thermique et de 13.9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque, ce qui vaut environ 60 fois la consommation de l'électricité de l'Europe des 15 (estimée à 3 500 TWh). Le potentiel de production en énergie éolienne, quant à lui, n'est évalué qu'à 35 TWh/an. Même si le domaine saharien par sa situation en zone anticyclonique n'est pas une terre d'élection pour l'énergie éolienne, l'utilisation marginale et très localisée de ce type de ressources reste possible. Enfin, le Sahara dispose des nappes aquifères chaudes ou très chaudes ce qui rend l'exploitation d'une énergie géothermique possible. Elle est surtout utilisable pour le chauffage des habitations ou des serres de production en hiver. Ce procédé est d'ailleurs couramment utilisé dans les exploitations en serres.

4.2 Le programme national des énergies renouvelables

Que ce soit dans les discours ou dans les différents programmes de développement, les pouvoirs publics commencent à intégrer les énergies renouvelables comme nouvelles sources d'énergies, à côté des énergies conventionnelles. L'objectif est d'aller vers un mix énergétique national permettant la préservation des ressources fossiles, la diversification des filières de production de l'électricité mais aussi mettre en phase l'économie nationale avec la dynamique mondiale de développement durable (veille technologique).

Le programme national de développement des énergies renouvelables (PNEREE), pour la période 2011-2030, accorde une place primordiale à l'énergie solaire dans l'avenir de la politique énergétique et économique du pays. En effet, le développement du photovoltaïque et de l'éolien à grande échelle, l'introduction des filières de la biomasse (valorisation des déchets), de la cogénération et de la géothermie, et le développement du solaire thermique, constituent autant de sources d'énergie d'avenir à maîtriser et à développer dans la perspective de la transition énergétique qui s'impose à tous les pays consommateurs comme producteurs.

Le PNEREE ambitionne d'atteindre une production de 22 000 MW à l'horizon 2030¹³ destinée à la consommation nationale (12 000 MW) ainsi qu'à l'exportation (10 000 MW). Cependant, l'exportation de l'électricité est conditionnée par l'existence d'une garantie d'achat à long terme, de partenaires fiables et de financements extérieurs (Benalouache, 2017, 306).

Le choix fait pour le développement du solaire en particulier du photovoltaïque ressort des tableaux 8 et 9.

Tableau 8 : Tableau synthétique des objectifs et moyens mis en œuvre dans le cadre du PNEREE

Programme	Objectifs	Moyens
Programme National des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique lancé en février 2011 mais révisé au cours de l'année 2015	Les capacités renouvelables doivent atteindre 22.000 MW en 2030, dont 10 000 MW destinées à l'exportation. [2015-2020] : 4 525 MW dont 3 000 MW solaire [2021-2030] : 17 475 MW dont 6 000 MW solaire	FNERC (prélèvement de 1 % de la redevance pétrolière)

Source : CDER (Centre de Développement des Énergies Renouvelables), Cité par Benalouache (2017, 308).

La répartition de ce programme par filières technologiques, se présente telle que le montre le tableau ci-après.

Tableau 9 : Répartition des énergies renouvelables par filières et par phase (en MW)

	1 ^{ère} phase 2015-2020	2 ^{ème} phase 2021-2030	Total
Photovoltaïque	3 000	10 575	13 575
Eolien	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 : CDER (2015), Cité par Benalouache (2017, 308).

La réalisation du programme permettra d'atteindre à l'horizon 2030 une part de renouvelables de près de 27% dans le bilan national de production d'électricité. La concrétisation de ce programme ne relève pas du ressort exclusif du secteur public, le secteur privé national et étranger est autorisé à investir dans ce créneau. Par ailleurs, l'État intervient par différents instruments afin de soutenir financièrement sa mise en œuvre, notamment par le biais du Fonds National des Énergies Renouvelables et Cogénération (FNERC), alimenté par un prélèvement de 1% de la redevance pétrolière. Cependant, le rôle principal revient au groupe SONELGAZ qui, bénéficiant d'une situation de monopole de fait, s'appuie sur trois de ses filières : *Shariket*

¹³ Cette capacité représente environ 40 % de la production d'électricité consacrée actuellement à la consommation nationale.

Kabraba wa Taket Montadjadida (SKTM)¹⁴, la Compagnie d'Engineering de l'Électricité et du Gaz (CEEG) et le Centre de Recherche et de Développement de l'Électricité et du Gaz (CREDEG). En outre, des initiatives sont prises dans le but d'accompagner les acteurs, sur le plan de la formation et de la recherche. À ce titre, l'institut algérien des énergies renouvelables IAER est créé pour la formation des cadres ainsi que la mise en place de plusieurs centres de recherche (l'APRUE, le CDER, l'PUDES, etc.).

Le déploiement des projets renouvelables de production électrique est envisagé de façon progressive, selon trois étapes : une première (2011-2013) consacrée à la réalisation de projets pilotes pour tester les différentes technologies ; une deuxième (2014-2015) marquée par le début du déploiement du programme¹⁵ enfin une troisième (2015-2020) correspondant au déploiement à grande échelle (Benalouache, 2017, 306).

Les investissements dans le domaine des énergies renouvelables seront répartis sur le territoire national en respectant les spécificités naturelles de chaque région. Pour la région du sud, la priorité est accordée à l'hybridation des centrales existantes et à l'alimentation des sites épars, au vu des potentialités solaires et éoliennes. Les terrains visés sont préalablement établis.

La stratégie de l'Algérie vise à développer une véritable industrie des énergies renouvelables associée à un programme de formation et de capitalisation des connaissances, qui permettra à terme, d'employer le génie local algérien, notamment en matière d'engineering et de management de projets. Le programme ENR, pour les besoins d'électricité du marché national, permettra la création de plusieurs milliers d'emplois directs et indirects.

L'effet socioéconomique attendu est notable. Les investissements dans le cadre des énergies renouvelables permettront l'apparition d'activités nouvelles telles que l'étude de potentiel de site et dimensionnement, l'étude et la conception de stations éoliennes, l'étude et la conception de stations solaires, la planification, le suivi et la gestion de projet en installation de stations solaire et éolienne, l'installation de systèmes photovoltaïques pour l'électrification, l'installation de systèmes photovoltaïques pour l'éclairage public, l'installation de systèmes photovoltaïques pour le pompage, la maintenance des stations et des équipements photovoltaïques, etc.

La mise en œuvre de ce programme permettra de créer des opportunités dans plusieurs créneaux, notamment ce qui relève de l'ingénierie et les études, des travaux de réalisation, des travaux d'entretien et de maintenance, de micro activités constituant les réseaux de sous-traitance et de la formation. Cependant, la production industrielle constitue un créneau primordial dans la concrétisation des objectifs du programme, au regard de la diversité des fabrications attendues. À cet effet, cette dernière va prendre en charge la fabrication : de panneaux ou composants, de cellules et leur encapsulation pour le module photovoltaïque, du silicium, d'onduleurs et appareils d'acquisition de données, de transformateurs et les batteries solaires indispensables à la construction de centrales, de miroirs thermiques, d'équipements de fluide caloporteur et de stockage d'énergie, des équipements du bloc de puissance, de mâts et de rotors d'éoliennes, des équipements de la nacelle, de câbles, des éléments connexes à une installation solaire, des équipements solaires : le chauffe-eau solaire, les systèmes de climatisation solaire et les pompes solaires.

4.3 *De faibles réalisations comparativement au potentiel national*

Malgré le potentiel dont recèle le pays, ou précisément le sud en gisement solaire, l'introduction et l'intégration des techniques de l'exploitation de l'énergie solaire n'en sont qu'à leurs débuts. Les données recueillies auprès des différentes instances responsables montrent l'existence d'un fossé entre le discours officiel et la réalité du terrain.

Entre 2011 et 2015, c'est-à-dire durant la phase expérimentale et de veille technologique, les réalisations ont porté essentiellement sur des projets pilotes de centrales photovoltaïques implantées au niveau du sud.

En matière d'énergie solaire, nous évoquons :

- l'électrification à l'énergie solaire de 906 foyers répartis sur 18 villages isolés du grand sud de l'Algérie, dans les wilayas de Tamanrasset, Adrar, Illizi et Tindouf.
- Plusieurs projets initiés dans le cadre de la Fondation Sonatrach-Tassili¹⁶ : projet d'électrification à l'énergie solaire d'un village de Torset ; projet de motorisation de 4 puits d'eau de parcours (Messtni, Tintourha, Adjrou, Arikine, Issindilene) ; projet de motorisation de 14 puits d'eau de parcours, d'électrification d'écoles et de salles de soins par énergie solaire ;

¹⁴ Le domaine d'action prioritaire de SKTM est l'électrification des réseaux isolés du Sud.

¹⁵ La deuxième étape est marquée par le lancement par SKTM en 2014 de 23 projets de Centrales Photovoltaïques au Sol (CPVS) de moyenne capacité (3 à 21 MW), réparties sur les hauts plateaux et le Sahara. Ce projet est appelé "projet 400 MW".

¹⁶ La Fondation Sonatrach Tassili s'inscrit dans le cadre d'actions qui prolongent les efforts déjà engagés par Sonatrach sur l'ensemble du territoire national dans une perspective de développement durable.

- Plusieurs centrales photovoltaïques, dans le cadre de la phase expérimentale du programme national des énergies renouvelables (2011-2014) dont celles mises en service :
 - 150 MW (dont 25 MW en solaire thermique (CSP), à Hassi R'Mel en juillet 2011 ;
 - une centrale photovoltaïque pilote d'une puissance de 1,1 MW à Oued N'chou (près de Ghardaïa), pour l'expérimentation des quatre technologies existantes.
- En matière d'énergie éolienne, une seule ferme éolienne d'une capacité de 10 MW a été mise en service à Kabertene (Adrar) et réceptionnée à la fin de 2014.
- À partir de 2015, les réalisations s'intensifient. En 2017, sur les 23 centrales prévues, 7 ont été mises en service, 9 sont en cours de construction et pour les 7 restantes, le maître d'ouvrage a été sélectionné (Benalouache, 2017, 349).
- Au final, l'ensemble des 23 projets prévus pour la deuxième phase totalisera après mise en service une capacité de 343 MWc en photovoltaïques.

Tableau 10 : Projet de 343 MWc en centrales photovoltaïques

Wilaya	Localité	Capacité Installée (MW)	Mise en Service
ILLIZI	Djanet	03	19/02/2015
ADRAR	Adrar	20	28/10/2015
ADRAR	Kabertene	03	13/10/2015
TAMANRASSET	Tamanrasset	13	03/11/2015
TINDOUF	Tindouf	09	14/12/2015
ADRAR	Zaouiet.Kounta	06	11/01/2016
ADRAR	Reggane	05	28/01/2016
ADRAR	Timimoun	09	07/02/2016
TAMANRASSET	In-Salah	05	11/02/2016
ADRAR	Aoulef	05	07/03/2016
LAGHOUAT	El Khnag (I)	20	08/04/2016
LAGHOUAT	El-Khnag (II)	40	26/04/2017
DJELFA	Ain-El-Ibel (I)	20	08/04/2016
DJELFA	Ain-El-Ibel (II)	33	06/04/2017
SOUK AHRAS	Oued El Keberit	15	24/04/2016
NAAMA	Sedrate Leghzal	20	03/05/2016
SAIDA	Ain-Skhouna	30	05/05/2016
SIDI-BEL-ABBES	Telagh	12	29/09/2016
EL BAYADH	Biodh Sidi Chikh	23	26/10/2016
M'SILA	Ain-El-Melh	20	26/01/2017
OUARGLA	El-Hdjira	30	16/02/2017
BATNA	Oued El-Ma	02	16/01/2018

Source : Ministère de l'Énergie et des mines, Énergies nouvelles et renouvelables, Bilan des réalisations, <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie>

En 2017, après deux années d'entrée dans la phase de réalisation, l'Algérie comptait 22 centrales photovoltaïques, d'une capacité totale de près 350 MW. Il restait donc 4 000 MW à réaliser en trois ans pour atteindre l'objectif des 4 500 MW fin 2020.

Dans le cadre du programme de développement des énergies renouvelables, un appel à investisseurs pour l'installation de centrales de production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable de grande capacité, sera lancé par le secteur de l'énergie, en fonction d'une répartition établie des terrains sélectionnés propices à cet effet.

CONCLUSION

L'agriculture saharienne a bénéficié dans le cadre de la politique agricole, amorcée en 2000, de plusieurs actions. Celles-ci sont contenues dans le programme de mise en valeur au Sud du pays (inscrit à l'indicatif du Commissariat au Développement des Régions Sahariennes (CDRS) ou bien dans d'autres programmes (intensification, reconversion...). Dans ce cadre, un énorme effort d'investissement est effectué par les pouvoirs publics, particulièrement, par le biais du FNRDA. À cet effet, pour la période 2000-2005, le total d'investissement réalisé s'élève à 4 milliards d'euros dont 2,3 milliards sont des subventions FNRDA. L'irrigation agricole constitue le domaine le plus financé avec près de 50 % de l'enveloppe engagée. L'agriculture saharienne a bénéficié de ces investissements notamment en ce qui concerne l'introduction des techniques de goutte à goutte, le financement des équipements (pompes).

Ces investissements ont permis l'augmentation de la superficie irriguée dans les régions sahariennes. Les superficies plantées ont enregistré des extensions dans toutes les filières : la phoeniciculture, l'arboriculture, les cultures maraichères et la pomme de terre. De même pour les quantités produites, celles-ci, ont connu des augmentations très importantes. À titre d'exemple, la wilaya d'*El Oued*, pour la pomme de terre occupe la première place avec le quart de la production nationale (MADR, 2002). La wilaya de *Biskra*, quant à elle, produit l'essentiel des cultures maraichères et elle vient d'amorcer, récemment, la commercialisation à l'international.

Par ailleurs, des handicaps de différentes natures demeurent toujours posés. Ces contraintes relèvent, en premier lieu des difficultés naturelles et, en deuxième lieu, du manque et de l'insuffisance de moyens technico-économiques. Dans ce cadre, le problème de l'énergie affecte sérieusement l'agriculture saharienne de part, son inexistence au regard de l'immensité du Sahara ou bien de son coût excessif lorsqu'elle est disponible. Cela pose véritablement le problème de la rentabilité des exploitations agricoles et leurs capacités d'être compétitives sur le marché.

Au final, les potentialités naturelles dont dispose cette région constituent un gisement non encore exploité en énergie renouvelable. Dans ce domaine, un programme ambitieux est mis en place en prévision de la production de 22 000 MW, sur la période 2015-2030. Ce dernier ne peut être que d'un apport certain pour soutenir la dynamique actuelle de l'agriculture saharienne qui a besoin de davantage d'énergie, notamment, pour l'irrigation.

BIBLIOGRAPHIE

- ARRÊTÉ INTERMINISTÉRIEL n° 586 du 25 juin 2000, déterminant la nomenclature des recettes et des dépenses du compte d'affectation spécial n°302-067 intitulé "Fonds National de Régulation et de Développement Agricole", FNRDA.
- BENALOUACHE N. (2017) *L'énergie solaire pour la production d'électricité au Maghreb : transition énergétique et jeux d'échelles*, Thèse de doctorat Aix-Marseille Université/Université de Sfax.
- BESSAOUD O. (2019) Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie. [Rapport de recherche] CIHEAM-IAMM., 82 p. hal-02137632.
- CDARS (Commissariat au Développement de l'Agriculture des Régions Sahariennes) 1999.
- CDER (Centre de Développement des Énergies Renouvelables) (2015) Compte rendu de la journée d'étude sur les applications du photovoltaïque dans le pompage d'eau et l'agriculture, Bulletin des Energies Renouvelables, Ghardaïa, n° 35, pp14-15.
- CIRCULAIRE n° 332 du 18.07.2000 relative à la stratégie de mise en œuvre du PNDA
- CNES (2001) Stratégie de développement de l'agriculture, Étude, 18ème session plénière, juillet.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DU DÉVELOPPEMENT RURAL (MADR) (2000) Statistiques, série B.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DU DÉVELOPPEMENT RURAL (MADR) (2002) Diagnostic de la situation hydro agricole dans les wilayas d'El-Oued et de Biskra, INSID.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DU DÉVELOPPEMENT RURAL (MADR) (2015) Statistiques, série B.
- MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES, *Énergies nouvelles et renouvelables, Bilan des réalisations*, <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie>
- ZENKHRI S. (2017) *L'agriculture saharienne : du système oasien traditionnel à l'établissement d'une conception d'économie de marché et de développement durable*, Thèse de doctorat en sciences, Université de Mostaganem.

Demande de bois-énergie dans la ville de Bukavu

Stany VWIMA NGEZIRABONA¹, Angélique NEEMA CIZA²
et Francine SAFINA BORA³

En 2008, Claude Bechard, alors ministre des ressources naturelles et de la faune du Québec, dit que la forêt se trouve aujourd'hui au carrefour de tous les grands enjeux de l'époque actuelle : le développement économique et régional, la concurrence internationale, le développement durable, les changements climatiques, la cohabitation entre les différentes communautés et les nations autochtones, la disponibilité et la formation de la main-d'œuvre ... Tous ces enjeux se vivent en forêt et ont un impact sur les travailleurs et les communautés qui y trouvent leur subsistance et leur fierté (Gouvernement du Québec, 2008). C'est dans ce sens que Heino et Kavonen (2003) confirment que les forêts font partie intégrante de la vie des personnes qui vivent dans ou autour de la forêt, et de la société dans son ensemble. Pour Angerand et *al.* (2007) les forêts primaires sont le foyer de plus d'un milliard de personnes autochtones et la base de la permanence de leur riche culture et de leurs moyens de vie. En plus, quatre milliards de personnes vivent dans des communautés proches des forêts ou dépendent d'elles d'une manière ou d'une autre. Les forêts fournissent les médicaments dérivés des plantes, les protéines alimentaires provenant de la chasse et de la pêche, les bois de construction, les bois-énergies (charbon et bois de chauffage...). Pour la FAO (2017), plus de 65 millions des personnes déplacées (à l'intérieur de leur pays ou à l'extérieur) sont fortement tributaires des combustibles ligneux. Depuis des millénaires, le bois est une source d'énergie utilisée traditionnellement pour se chauffer et pour cuisiner les aliments (Pellerin Drion, 2013). L'importance économique et sociale des forêts est à la base de leur dégradation à travers la planète. L'une des causes de la destruction des forêts, principalement dans les pays en développement, est l'utilisation des bois comme sources d'énergie (Mpanzu Balomba et *al.*, 2018). Dans ce cas, il est extrêmement probable que la croissance démographique, l'expansion de la production agricole à des fins bioénergétiques et les pratiques de gestion forestière non durables augmenteront la pression sur les terres et entraîneront un surcroît de défrichement des forêts (GIEC, 2007). Cette idée se trouve approfondie dans le rapport de la FAO (2008) qui montre que l'évolution des modes d'utilisation de l'énergie en combinaison avec les changements climatiques aura de profondes conséquences pour les forêts du monde. La demande d'énergie est, de toute évidence, l'une des questions majeures auxquelles sera confronté le secteur forestier au cours du vingt et unième siècle. Selon le rapport de l'EIA (2007), la demande des bois-énergies devrait s'accroître considérablement dans les années à venir à cause de l'augmentation de la population et du développement économique alors même, selon Achard et *al.* (2002) cité par Angerand et *al.* (2007), qu'en ce début du XXI^e siècle, la diminution nette annuelle de la surface boisée s'élève à 12 millions d'hectares, dont près de 8 millions d'hectares de forêts tropicales éliminées ou dégradées. Pour le *Memento du forestier tropical* (2015), bien que le bois-énergie ne fasse quasiment pas l'objet

¹ Professeur à l'Université Évangélique en Afrique, faculté des sciences économiques et de gestion. svwima@uea.ac.cd ou svwima@yahoo.fr

² Assistante de recherche et d'enseignement à l'Université Évangélique en Afrique, Faculté des sciences économiques et de gestion et doctorante à l'Unité d'Économie et Développement Rural, Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège. neema_ciza@yahoo.fr

³ Assistante de recherche et d'enseignement à l'Université Évangélique en Afrique, faculté des sciences agronomiques et environnementale, Laboratoire de Système d'Information géographique. safinafrancine@yahoo.fr

du commerce international, sa consommation dans les pays tropicaux ne cesse d'augmenter. Elle est passée de 0.9 à 1.4 milliards de m³ entre 1960 et 2010. Selon le rapport de la FAO (2007), le bois de feu et le charbon restant ciblés sur les usages domestiques, leurs consommations en 2030 sont projetées respectivement à 544 millions de m³ et 46 millions de tonnes. Selon la FAO (2011), le bois de feu et le charbon de bois représentent 90% des prélèvements de bois dans les forêts d'Afrique et un tiers de la production totale de bois. Pour Marien et *al.* (2008), l'Afrique, dans toute sa diversité écologique, sociale et économique, est le continent où le bois comme source d'énergie domestique va continuer à prendre une part prédominante dans les prochaines décennies. La R.D. Congo possède plus de 60% des réserves forestières de l'Afrique, et 17% de la surface totale du pays devraient être protégés et mis sous un régime d'aires protégées (parcs, etc.) (FAO, 2007). Les forêts en RDC couvrent une superficie d'environ 1.280.000 Km², représentant 54% de l'étendue nationale. Selon Lubini, Mukongo Shabantu et Batunyi (2002), la RDC regorgerait d'environ 710 essences forestières alors que seules 36 sont régulièrement exploitées et commercialisées. Mpoyi et *al.* (2013) ont identifié, à l'échelle nationale et sous provinciale, la variante « densité de la population » comme étant la plus directement corrélée avec la déforestation. Ceci tend à confirmer que les usages communautaires de la forêt constituent, à ces échelles, la principale cause directe de la commercialisation. Cette idée se trouvait déjà dans le rapport de Ndona (2003) qui montrait que les forêts doivent être mises au service de l'économie et du développement du pays. Cependant la dégradation des écosystèmes à laquelle nous assistons actuellement est essentiellement la conséquence de l'activité humaine, laquelle met en péril l'avenir des populations dépendantes de ces forêts (Maonyo M. et *al.*, 2016). Au Sud-Kivu, les quelques études existantes n'ont jusque-là porté que sur les déforestations constatées et la gouvernance des ressources naturelles (Ngendakumana, 2012, cité par Mwapu, 2012). Les informations sur la demande de la ville de Bukavu en bois-énergie sont insuffisantes alors que ces produits sont largement utilisés et commercialisés. Pour Barbiche (2013), la forte demande en bois-énergie au Sud Kivu, en particulier de charbon de bois, par les ménages et les petites et moyennes entreprises, entraîne la dégradation progressive des forêts naturelles et génère des problèmes environnementaux dans le bassin d'approvisionnement de Bukavu. Cet article vise à estimer les coefficients budgétaires de consommation et les quantités utilisées par les usagers du bois-énergie de Bukavu ; à évaluer l'impact de la demande globale en bois-énergie de cette ville sur le patrimoine forestier des aires d'approvisionnements ; à évaluer des échecs des politiques gouvernementales sur les bois-énergies.

1. MÉTHODOLOGIE

1.1 Choix de la zone d'étude

Le choix de la ville de Bukavu est motivé par plusieurs facteurs dont sa position géographique et démographique. Bukavu, capitale de la province du Sud-Kivu, est située à 180 km de Goma par le lac et 207 km par la route (RDC, Ministère du Plan, Unité de Pilotage du Processus DSRP, 2005), à 1 650 km de Kinshasa (capitale de la RDC) à vol d'oiseau, à 120 km d'Uvira par la route et à 15 km de Kamembe (Rwanda) (carte n° 1). C'est une ville qui s'étend sur 60 Km² avec un taux de croissance démographique de 3,3% par an. Bukavu joue un rôle de ville d'« accueil » dans le sens où elle abrite actuellement presque toutes les populations qui se sont déplacées ou qui se déplacent encore (Vwima, 2014). Pour ces raisons, les besoins en énergie ne cessent d'augmenter et ils entraînent une surexploitation des réserves forestières. La situation est d'ores et déjà critique dans Bukavu où il n'existe plus d'espace vert. Signalons que la population de Bukavu est passée de 167.950 habitants (Ministère du plan et statistique, 1984) lors du premier et unique recensement organisé en RDC jusqu'aujourd'hui, à 1.184.972 habitants (Mairie de Bukavu, 2017).

1.2 Collecte des données

À part les données secondaires issues des statistiques de la FAO, de l'INS et de différents rapports pour la demande en bois-énergie, nous allons, par une descente sur le terrain, soumettre deux types de questionnaires afin de réaliser deux enquêtes.

La première enquête concerne les vendeurs et détaillants qui s'approvisionnent en bois-énergie à l'extérieur de la ville. Ces vendeurs et détaillants ont été trouvés sur les marchés de la ville de Bukavu où ils travaillent. Ces différents marchés constituent des points d'entrées des divers produits consommés dans la ville de Bukavu dont les bois-énergies. L'objectif de cette enquête par questionnaire est d'arriver à quantifier des flux d'approvisionnements de bois-énergie par la ville de Bukavu et à estimer le taux de déforestation généré par chaque source d'approvisionnement.

Carte n° 1 : Ville de Bukavu et ses axes d'approvisionnements



Source : Auteurs avec logiciel ArcGIS.

Tableau 1 : Différents marchés de la ville de Bukavu par commune

Communes	Marchés
Ibanda	Panzi Kamagama, Kimbangu la voix, Nyawera, Bilala, Nguba
Kadutu	Grand marché de Katutu, Beach Muhanzi, Aefoski
Bagira	Horebu, Marché Nkunda, Maria Kachelewa, Nyakiduduma, Marché Nyamuhinga

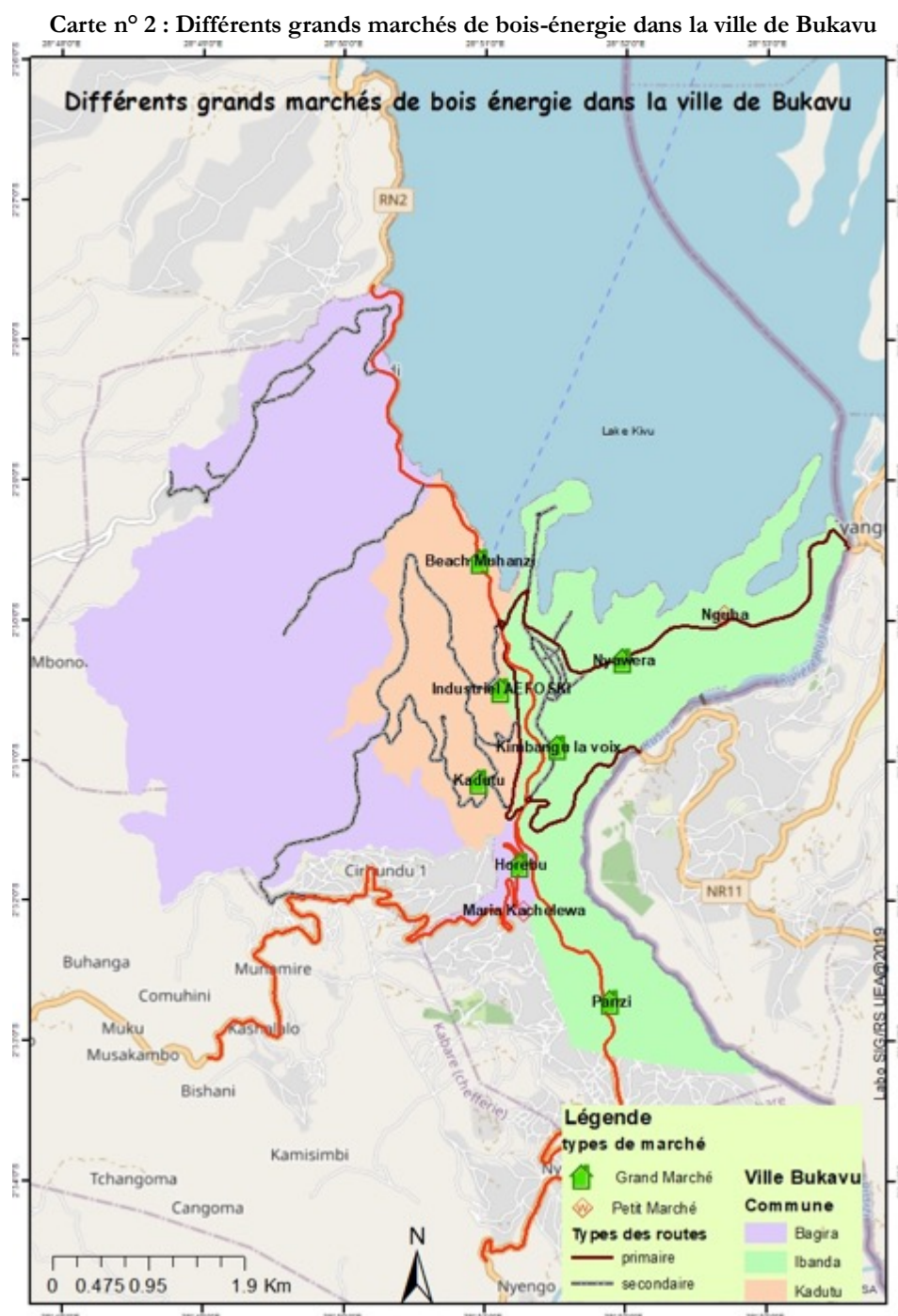
Source : auteurs.

La deuxième enquête, socio-économique, a été effectuée auprès des ménages utilisateurs de bois-énergie de trois communes de Bukavu. Ne possédant pas une base statistique de notre population cible pour établir un calcul d'échantillon, nous avons procédé par un échantillonnage occasionnel sur 210 ménages utilisateurs de bois. Cet échantillon a été réparti par commune mais aussi par quartier de chaque commune comme le montre le tableau 2.

Tableau 2 : Répartition de l'échantillon de ménages utilisateurs de bois-énergie par commune et par quartiers

Communes	Échantillon	Quartiers	Échantillon
Kadutu	70	Nyamugo	10
		Kajangu	10
		Mosala	10
		Kasali	10
		Cimpunda	10
Ibanda	70	Nyakaliba	10
		Nkafu	10
		Ndendere	24
		Nyalukemba	23
		Panzi	23
Bagira	70	Nyakavogo	24
		Lumumba	23
		Kasha	23
Total	210	Total	210

Source : auteurs.



Source : Adebu B. (PBF) (2014) sur base d'interprétation des images satellitaires. RapidEye (2011, 2012), SRTM (2011) cités par Guidal et Barbiche (2014).

1.3 Analyse des données

Pour évaluer la consommation de bois-énergie par les ménages de la ville de Bukavu, on a eu recours à l'évaluation des quantités consommées et au calcul du coefficient budgétaire qui représente la dépense de consommation de bois-énergie dans la dépense totale du ménage. Pour évaluer l'impact de la demande globale en bois-énergie de Bukavu sur le patrimoine forestier des aires d'approvisionnement, on a utilisé des conversions. Pour la conversion entre le poids de bois de chauffe et de charbon (en tonnes) et le volume de bois (m^3), les facteurs de conversion retenus sont : 1 tonne de charbon = 6,67 tonnes d'équivalent bois (rendement de 15%) ; 1 tonne de bois de chauffe = 1,38 m^3 et $1m^3 = 0,72$ tonne de bois. 1 tonne de charbon = 20 sacs de charbon ; 1 tonne de bois de chauffe = 100 fagots de bois ; 1 tonnes de bois = 2,74 stères de bûches (FAO, 2009 ; Schure et *al.*, 2011 ; Serre Duhem et Ntoto M'Vubu, 2012) ; 5 500 tonnes de charbon de bois = 220 ha ; 55 000 tonnes de bois de chauffe = 220 ha (Guidal et Barbiche, 2014). Une fois les conversions effectuées, et

comme les disponibilités des réserves forestières par territoires d'approvisionnements de bois-énergie sont disponibles, on a estimé le taux de déforestation.

2. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Deux types de résultats sont présentés : les résultats issus de la quantification des flux d'approvisionnements de bois-énergie par la ville de Bukavu et les résultats socio-économiques auprès des utilisateurs de bois-énergies issus de l'enquête par questionnaire.

2.1 Les résultats sur le flux d'approvisionnements de la ville de Bukavu

2.1.1 Fréquence d'approvisionnement de la ville de Bukavu

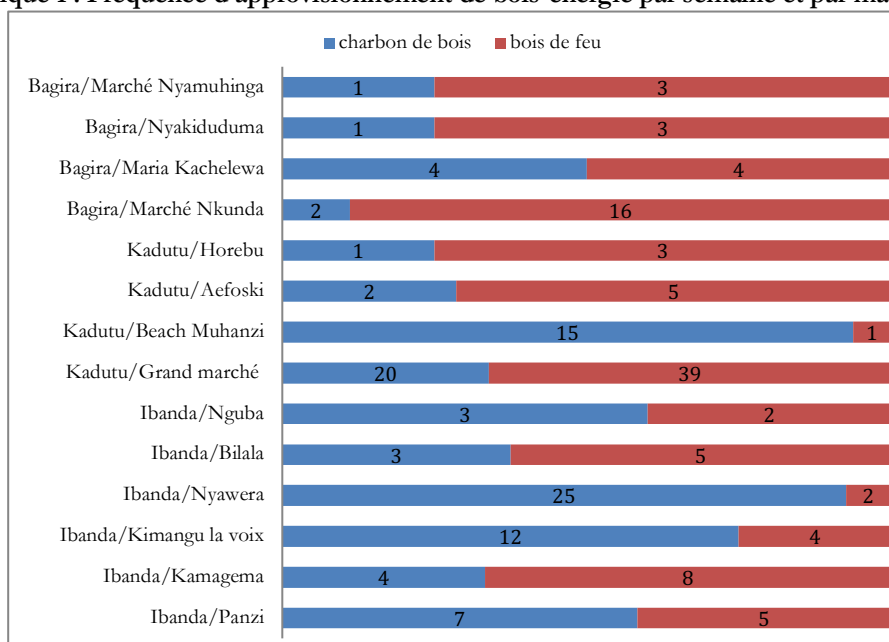
Tableau 3 : Fréquences d'approvisionnements de bois-énergie par semaine

Conditionnements	Bois de chauffe (nombre de fois)	Charbon (nombre de fois)	Total (nombre de fois)	%
Sacs de charbon		2 380	2 380	86
Fagots de bois	346		346	12
Bûches	56		56	2
Total	402	2 380	2782	100
%	14	86	100	

Source : données de pointage des flux.

Selon les résultats du tableau 3, la ville de Bukavu s'approvisionne en deux types de bois : le bois de chauffe (fagots de bois et bûches) et le charbon de bois. 86% du total des fréquences d'approvisionnements concernent le charbon de bois et 14% le bois de chauffe (dont 12% en fagots et 2% en bûches). Ce résultat signifie une préférence pour le charbon de bois à cause de l'absence de fumées qui le caractérise. On a dénombré 850 vendeurs de bois-énergie en provenance de l'intérieur de la province du Sud-Kivu. En divisant le nombre des fréquences d'approvisionnement par le nombre de vendeurs, on trouve une vitesse de rotation par vendeur de 3,25 fois par semaine.

Graphique 1 : Fréquence d'approvisionnement de bois-énergie par semaine et par marché (%)



Source : données de pointage de flux.

Les informations chiffrées du graphique 1 confirment la présence du charbon de bois et du bois de feu sur tous les marchés d'approvisionnements de Bukavu. Les fréquences élevées d'approvisionnement s'observent sur les marchés le plus achalandés : le grand marché de Kadutu et celui de Beach Muhanzi.

2.1.2 *Quantité d'approvisionnement des bois-énergies de la ville de Bukavu*

Les résultats des pointages des flux effectués sur les différents marchés de la ville de Bukavu montrent que 20 459 tonnes de bois-énergie y sont consommées par semaine, soit 81 835 tonnes par mois. En un an, chaque habitant de Bukavu utilise 828,7 kg. En divisant la quantité des bois-énergies approvisionnée par semaine par la fréquence d'approvisionnement et par le nombre de vendeurs, on trouve que 7,37 tonnes de bois-énergies sont approvisionnées en moyenne par tour et 24,07 tonnes en moyenne par vendeur sont achetées à l'intérieur de la province du Sud-Kivu et au district de Rusizi (Rwanda).

Tableau n° 4 : Estimation des flux d'approvisionnements de bois-énergie en quantité (tonne)

Conditionnement	Camion	Camionnette	Pirogue	Vélo	Piéton	Total	Unité de conversion pour 1 tonne de bois	Quantités totales (en tonne/semaine)	Quantités totales (en tonne/mois)	Quantité totales (en tonne/an)
Sac de charbon	29 095	550	192	3 859	379	34 075	20	1 704	6 815	81 779
Fagot de bois	55 501	11 787	21	8 678	4 612	80 599	100	806	3 224	38 688
Stères de bûches	4 585	2 572	9	0	0	7 166	2,74	2 615	10 461	125 532
Total	351 034	19 861	1 947	47 269	8 401			20 459	81 835	982 020

Source : données de pointage des flux.

La route et le lac constituent les seules voies par lesquelles Bukavu peut s'approvisionner en bois-énergie en provenance de l'intérieur de la province. Les moyens le plus usités sont les camions, les camionnettes, les pirogues, les vélos et les piétons. Les camions et les camionnettes, souvent vétustes, véhiculent non seulement le bois-énergie mais aussi les personnes et d'autres produits du lieu de production vers le lieu de consommation (ville de Bukavu) et opèrent les liens entre les différents territoires du Sud-Kivu. La vétusté des engins de transport, le mauvais état des routes et les tracasseries routières rendent difficiles l'organisation des marchés de bois-énergie et la mise en contact des zones de production et de consommation.

Tableau 5 : Estimation de la quantité d'approvisionnement de la ville de Bukavu en bois-énergie par territoire et par semaine

Territoires	Charbon de bois (tonnes/semaine)	Bois de feu (tonnes par semaine)	Total (tonnes par semaine)	%
Ibanda	626	812	1 438	28
Kadutu	926	1 526	2 452	48
Bagira	152	1 083	1 235	24
Total	1 704	3 421	5 125	100
%	33	67	100	

Source : données de pointage des flux.

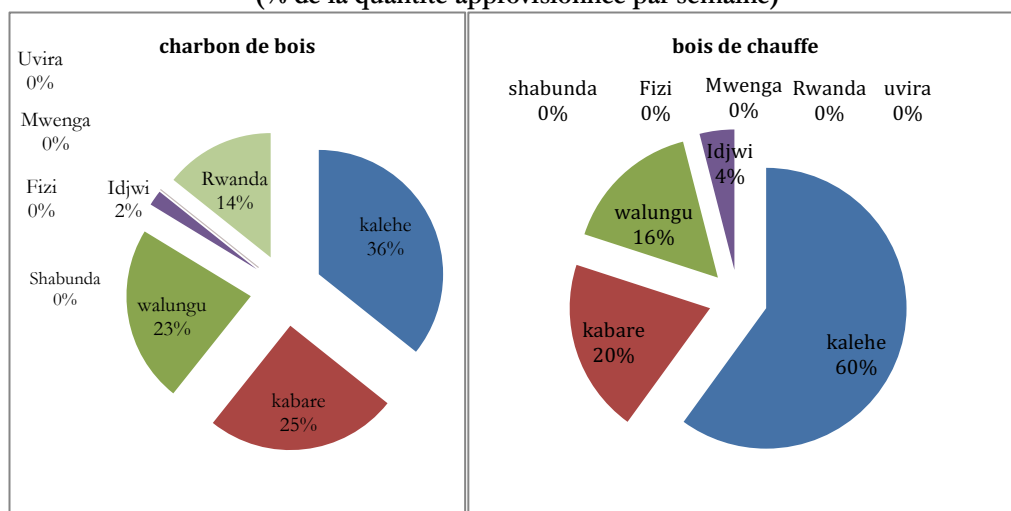
Le charbon de bois représente 33% de l'ensemble des approvisionnements en bois-énergie de la ville de Bukavu contre 67% de bois de feu. Bien que le charbon de bois soit préféré au bois de feu, ce dernier pèse plus que le premier, ce qui justifie son importance en termes de poids. Par rapport aux trois communes, celle de Kadutu reçoit 48% des approvisionnements de bois-énergie de la ville de Bukavu. Signalons que c'est dans cette commune que sont situés les grands marchés de la ville de Bukavu (marché de Kadutu, Beach Muhanzi).

2.1.3 *Sources d'approvisionnement en bois-énergie de la ville de Bukavu*

Le graphique 2 montre que les sources d'approvisionnements de Bukavu en bois-énergie sont diversifiées mais dominées en grandes parties par les villages les plus proches de la ville. L'insécurité, le mauvais état de la route, la vétusté des engins de transport et les tracasseries routières constituent les principaux facteurs qui expliquent ce phénomène. Des territoires forestiers comme Shabunda, Fizi et Mwenga, qui détiennent de grandes opportunités de production de bois-énergies, ne contribuent pas à l'approvisionnement de Bukavu. Le territoire de Kalehe livre 36% en charbon de bois et 60% en bois de feu. 25% de charbon de bois et 20% de bois de feu proviennent du territoire de Kabare. 23% de charbon de bois et 16% de bois de feu proviennent de Walungu. Signalons les 14% d'approvisionnement de bois-énergie de la ville de Bukavu en provenance du Rwanda. Cette situation vient renforcer un commerce transfrontalier solide entre le Rwanda et la RDC, même dans les pires

moments des conflits qui ont existé entre le Rwanda et la RDC. Ce commerce transfrontalier peut constituer un canal de paix dans la région des Grands Lacs (Kimanuka et Lange, 2010 ; Titeka et Kimanuka, 2012).

Graphique 2 : Contribution de chaque territoire dans l'approvisionnement en bois-énergie de la ville de Bukavu (% de la quantité approvisionnée par semaine)



Source : traitement des données des pointages des flux.

2.2 Résultats des enquêtes socio-économiques auprès des vendeurs et des usagers de bois-énergie

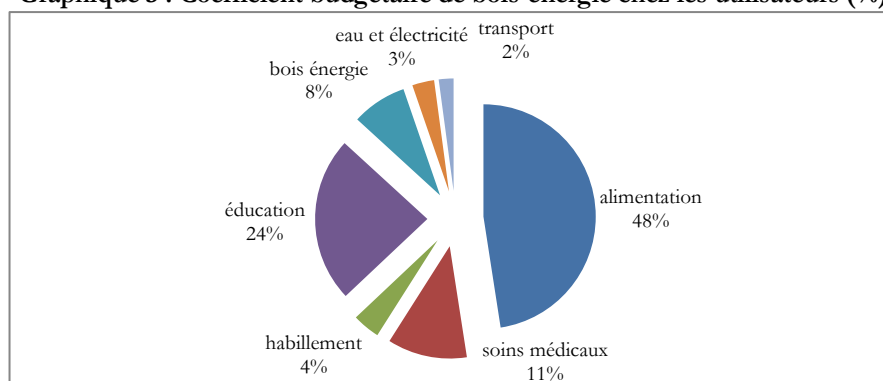
2.2.1 Profil des enquêtés

Cette enquête a porté sur 210 ménages utilisateurs de bois-énergies dans la ville de Bukavu. L'âge moyen des enquêtés est de 41 ans (min. 25 ans et max 66 ans). Les enquêtés sont tous adultes et majeurs et exercent une certaine responsabilité dans leurs ménages. 22% des chefs des ménages sont masculins et 78% sont féminins. Cette situation cadre avec la réalité de la province du Sud-Kivu et de la RDC où la femme reste toujours le pilier de la sécurité alimentaire et de la cuisine. 96% des enquêtés sont mariés et seulement 3% sont veufs(ves) et 1% sont divorcés. La taille moyenne des ménages enquêtés s'élève à 6,16 personnes, ce qui correspond à celle de Bukavu qui est de 6 personnes par ménage (PNUD, 2010). Le niveau d'étude des enquêtés est élevé même si on dénombre encore 5% d'analphabètes. 32% des enquêtés ont fait des études universitaires, 49% des études secondaires et 15% ont fait l'école primaire. 42% des enquêtés sont commerçants, 41% sont fonctionnaires, 4% sont sans emploi et 15% exercent d'autres métiers.

2.2.2 Calcul du coefficient budgétaire de bois-énergie

Le calcul du coefficient budgétaire montre que le bois-énergie consomme 8% du budget du ménage estimé à 278 US dollars par mois. Dans ce cas, le ménage affecte 22 US dollars par mois pour l'approvisionnement en bois-énergie, soit 3,7 US dollars par personne et par mois.

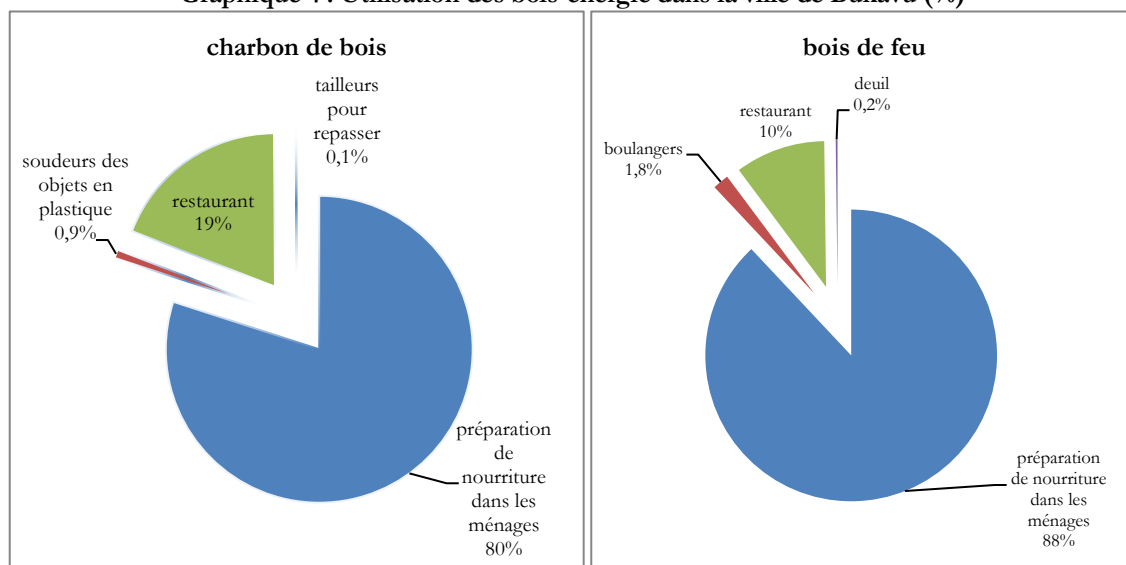
Graphique 3 : Coefficient budgétaire de bois-énergie chez les utilisateurs (%)



Source : traitement des données de l'enquête.

2.2.3 Destination de bois-énergie par les utilisateurs

Graphique 4 : Utilisation des bois-énergie dans la ville de Bukavu (%)

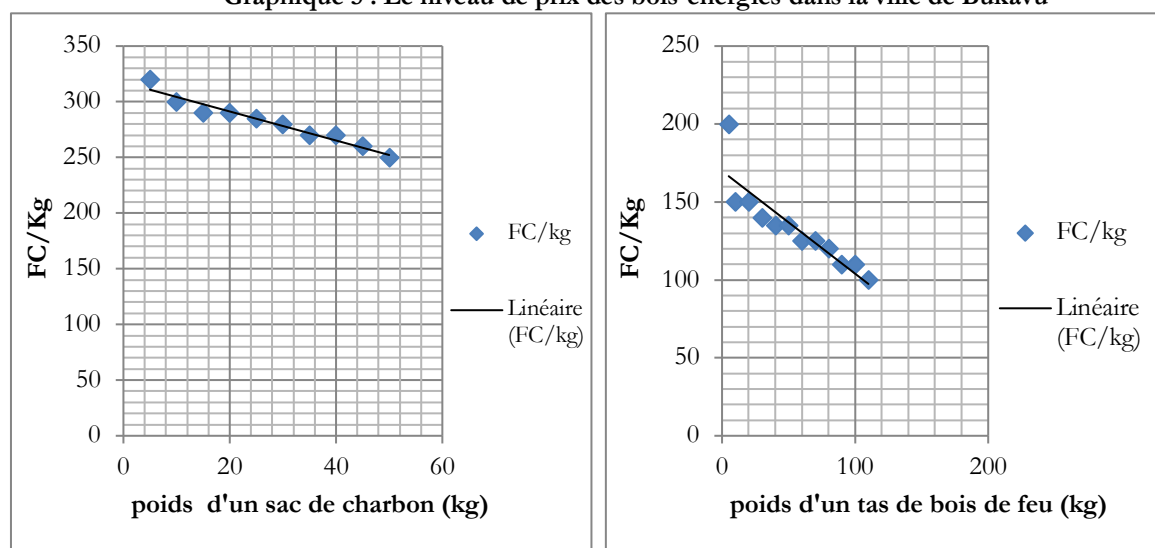


Source : traitement des données de l'enquête.

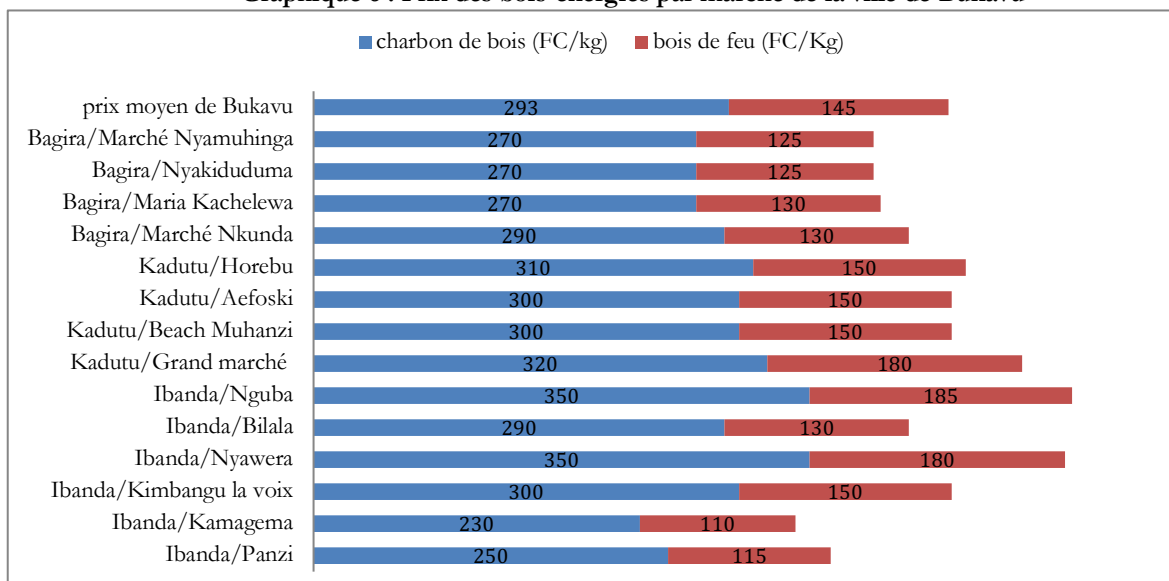
Le résultat de l'enquête confirme que la ville de Bukavu reste très fortement dépendante de l'énergie ligneuse qui est la principale source d'énergie de cuisson pour les ménages. 80% du charbon de bois et 88% du bois de feu servent à la préparation de la nourriture, 19% du charbon de bois et 10% du bois de feu sont utilisés dans les restaurants. De très faibles quantités des bois-énergies sont utilisées par les boulangers, les soudeurs des objets en plastiques ou pour le deuil. Selon l'enquête, seuls 36% des ménages utilisant le charbon de bois comme source principale d'énergie de cuisson possèdent un foyer amélioré. La promotion de cet équipement peut contribuer à réduire le coefficient budgétaire de bois-énergie. Encore faudrait-il que les ménages soient sensibilisés à cette cause. La diminution du coefficient de consommation avec l'utilisation des foyers améliorés a été prouvée à Ouagadougou où elle est passée de 1,18 kg/habitant/jour en 1980 à 0,532 kg/habitant/jour en 1996 (Ouedraogo, 2006). Avec la raréfaction progressive et la cherté du bois-énergie, certains ménages de Bukavu préparent tous les repas de la journée et du soir en une seule fois. Celui du soir sera réchauffé avant de le manger. Cette pratique observée chez 12% des ménages de la ville mérite d'être soutenue car elle contribue à réduire le coefficient budgétaire de bois-énergie.

2.2.4 Le niveau de prix de bois-énergie dans la ville de Bukavu

Graphique 5 : Le niveau de prix des bois-énergies dans la ville de Bukavu



Source : traitement des données de l'enquête.

Graphique 6 : Prix des bois-énergies par marché de la ville de Bukavu

Source : traitement des données de l'enquête.

L'enquête montre que plus la quantité achetée augmente en poids, plus le prix par kg de bois-énergie diminue. Cette corrélation négative s'explique par le comportement des vendeurs qui profitent peu par kg mais gagnent en quantité. Ce qui leur permet d'augmenter la vitesse de circulation au niveau de la vente. Cette rotation s'établit en moyenne par vendeur à 3,25 fois par semaine. Comme le précise le graphique 6, le prix d'un kilogramme de charbon de bois et de bois de feu varie d'un marché à un autre. Il est en moyenne de 293 FC/kg pour le charbon de bois et 145 FC/kg⁴ pour le bois de feu dans la ville de Bukavu.

2.3 Impact de la demande globale en bois-énergie de la ville de Bukavu sur le patrimoine forestier des aires d'approvisionnements

Cette section évalue l'impact de la seule demande de la ville de Bukavu en bois-énergie sur le patrimoine forestier des différents territoires d'approvisionnement. Par manque de données actualisées, on a utilisé les informations sur les réserves forestières de 2014 provenant du Laboratoire SIG de l'Université Évangélique en Afrique (carte 3). On a émis l'hypothèse que les superficies des forêts dans ces zones sont restées les mêmes pendant 4 ans. Comme il s'agit des informations sur les superficies (ha) occupées par les forêts (primaire, secondaire et plantations forestières) par territoire, il a fallu convertir les données sur les quantités en tonnes de bois-énergie approvisionnant Bukavu en hectares, en passant par les relations suivantes : 5 500 tonnes de charbon de bois = 220 ha ; 55 000 tonnes de bois de chauffe = 220 ha (Guidal et Barbiche, 2014).

Tableau 6 : Superficies forestières des territoires d'approvisionnement de la ville de Bukavu en bois énergie

Territoire	Forêt primaire (ha)	Forêt secondaire (ha)	Plantation forestière (ha)	Total (ha)	%
Kabare	69 205	14 390	9 819	93 415	23
Kalehe	221 866	35 551	1 769	259 186	65
Idjwi	54	367	1 549	1 971	0
Walungu	32 178	9 889	4 341	46 408	12
total	323 303	60 198	17 479	400 980	100
%	81	15	4	100	

Source : Laboratoire SIG UEA, 2018.

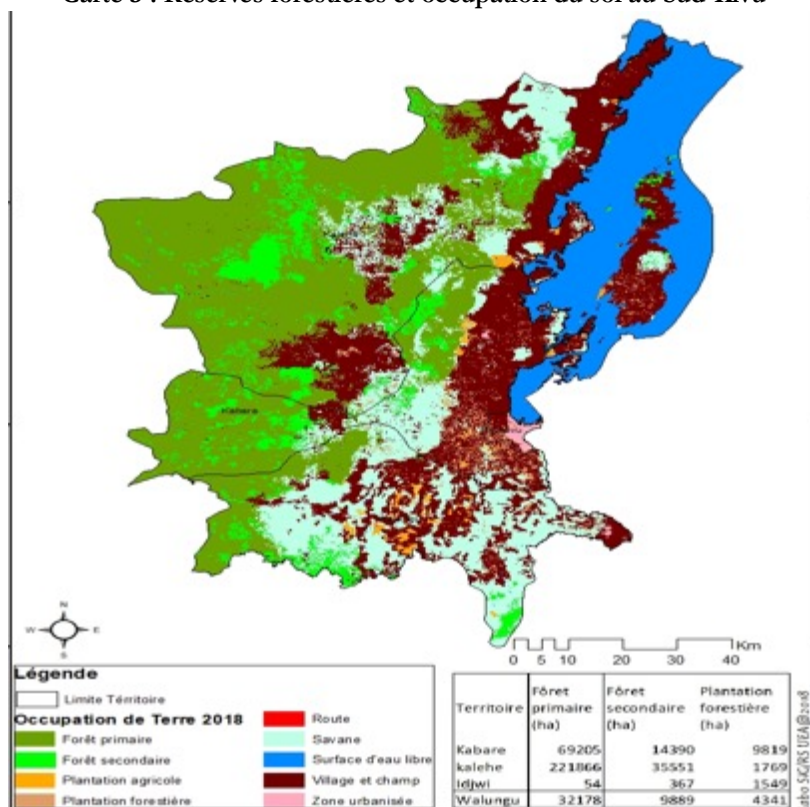
Le territoire de Kalehe dispose d'une grande réserve forestière (65%) suivi de Kabare (23%), de Walungu (12%) et de Idjwi (tableau 6). La présence du parc Kahuzi Biega dans les 2 premiers territoires justifie leur prédominance en termes de superficies forestières. Ces 4 territoires ont été identifiés par le pointage de flux comme étant ceux qui approvisionnent la ville de Bukavu en bois énergie.

⁴ Un fagot de 7 tiges de bois d'eucalyptus (120 cm de hauteur) pèse environ 11 kg. Il est vendu 1 600 FC (soit 145 FC/kg). Le bois est vendu aussi en détail par bûches de 200 FC en moyenne.

Tableau 7 : Taux de déboisement dû à l'approvisionnement de bois-énergie par territoire d'approvisionnement

Territoires	Approvisionnement s de charbon de bois (%)	Approvisionnement s de charbon de bois (ha)	Approvisionnement s de bois de feu (%)	Approvisionnement s de bois de feu (ha)	Approvisionnement t en bois-énergie total (ha)	Réserve forestière (ha)	Taux de déboisement (%)
Kalehe	36	1178	60	394	1572	259186	0,61
Kabare	25	818	20	131	949	93415	1,02
Walungu	23	752	16	105	857	46408	1,85
Idjwi	2	65	4	26	92	1991	4,62
Shabunda	0	0	0	0	0	0	
Fizi	0	0	0	0	0	0	
Uvira	0	0	0	0	0	0	
Mwenga	0	0	0	0	0	0	
Rwanda	14	458	0	0	458	142000 ⁵	0,32
total	100	3271	100	657	3928	543000	0,72

Source : traitement des données de l'enquête.

Carte 3 : Réserves forestières et occupation du sol au Sud-Kivu

Les 81 779 tonnes de charbon approvisionnant Bukavu par an correspondent à 3 271 ha qu'on a répartis par territoire d'approvisionnement. 164 223 tonnes de bois de feu équivalent à 657 ha également répartis par territoire. Au total l'approvisionnement en bois-énergie de la ville de Bukavu représente 3 928 ha après conversion. Avec des réserves forestières estimées à 543 000 ha, le taux de déboisement dû à l'approvisionnement en bois-énergie de Bukavu s'établit à 0,72% par an, soit une perte annuelle de 3 928 ha de couverture forestière, dont 458 ha au Rwanda (taux de déforestation 0,32%). En excluant l'approvisionnement à partir du Rwanda et en considérant seulement les approvisionnements en bois-énergie en provenance de l'intérieur de la province du Sud-Kivu, on peut estimer que 3 470 ha ont été déboisés sur 401 000 ha de réserves forestières, soit un taux de déboisement de 0,87%. Avec ce taux élevé de déforestation et en l'absence de toute mesure préventive et de protection des ressources ligneuses, les réserves forestières du Sud-Kivu seront épuisées dans 116 ans⁷. Le taux de déforestation de 0,87% est supérieur à celui trouvé en 2013 pour la province du Sud-Kivu qui était de 0,33% par an dans la période 2000 à 2005 (RDC, 2013, cité par Guidal et Barbiche, 2014). Par rapport aux territoires d'approvisionnements de Bukavu, la déforestation se fait de plus en plus sentir dans la province d'Idjwi (4,62% de taux de déforestation) suivie du territoire de Walungu (1,85%), de Kabare (1,02%)

⁵ FAO. 1^{ère} partie : Les forêts naturelles du Rwanda. <http://www.fao.org/3/x6814f/X6814F03.htm>

⁷ Soit 401 000 ha comme réserves forestières au Sud-Kivu divisé par 3 470 ha de superficie déforestée par an soit 116 ans.

et Kalehe (0,61%). Ces taux de déforestation traduisent une surexploitation non maîtrisée des ressources ligneuses et confirment que l'approvisionnement dans sa forme actuelle n'est pas planifié et peu suivi par les autorités faute de schéma d'approvisionnement durable de bois-énergie.

CONCLUSION

Les approvisionnements en bois-énergies de la ville de Bukavu sont de grande ampleur. La dimension écologique et environnementale de la province du Sud-Kivu et du Rwanda est en situation critique si rien n'est fait dans un avenir proche. L'approvisionnement en bois-énergie de Bukavu génère un taux de déforestation élevé et constitue l'une des principales causes de l'épuisement des ressources ligneuses des forêts des différents territoires de la province du Sud-Kivu. Malgré l'existence de politiques pouvant rationaliser la consommation des bois-énergies en lui substituant d'autres énergies alternatives plus écologiques, la pression sur les ressources ligneuses ne cesse d'augmenter et l'impact de ces politiques reste négligeable, surtout dans la conjoncture où l'accès à l'énergie électrique fournie par la Société Nationale d'électricité (SNEL) devient aléatoire du fait des fréquentes coupures de courant. Malgré de nombreuses études sur le problème de la dégradation des ressources forestières, la déforestation ne cesse d'augmenter. Dans ce sens, la conception et l'exécution d'un schéma d'approvisionnement impliquant tous les acteurs (autorités traditionnelles, société civile, État, privés, bailleurs de fonds, chercheurs, ONGs, utilisateurs de bois-énergies) pourrait contribuer à diminuer le taux de déforestation.

BIBLIOGRAPHIE

- ANGERAND S., BAL TODANO J., CARDONA D. A., CARRERE R., GINTING L., HALL R., NIKI J., LOVERA S., MEENA R., ROJAS I., VAN OIJEN D. (2007) *La gestion communautaire de la forêt : de la résistance aux propositions d'utilisation durable*, Amis de la terre.
- BARBICHE R. (2013) *Analyse de la filière bois pour optimiser les chances de réussite des activités*, GIZ/PBF, GFA, DES.
- EIA (2007) *Annual energy outlook 2007 with projections to 2030*, Energy Information Administration.
- FAO (2017) *Forêt et énergie*, FAO, Rome.
- FAO (2011) *Cogestion des forêts en Inde : réalisations et défis*, FAO.
- FAO (2008) *Les forêts et l'énergie. Questions principales*, Étude FAO : Forêts, Rome.
- FAO (2009) *Forest product conversion factors*. Rome, Italy, FAO, 12.
<http://www.uncece.org/fileadmin/DAM/timber/meetings/forest-products-conversion-factors.pdf>
- FAO (2007) *Forest Resources Assessment. State of the world Forests*, FAO, Rome.
- GOUVERNEMENT DE QUÉBEC (2008) *La forêt, pour construire le Québec de demain*, Québec.
- GUIDAL A., BARBICHE R. (2014) Proposition de schéma d'approvisionnement durable en bois-énergie pour la ville de Bukavu (Sud-Kivu). Programme Biodiversité et Forêts. Projet Filière Bois/Chaînes de Valeur. Provinces Sud-Kivu, Maniema et Katanga.
- HEINO J., KAVONEN J. (2003) Les forêts font partie intégrante de la vie en Finlande, *Unesylva*, vol. 54, n° 213.
- KIMANUKA C., LANGE M. (2010) *La traversée : petit commerce et amélioration des relations transfrontalières entre Goma (RD Congo) et Gisenyi (Rwanda)*, Londres : International Alert.
- GIEC (2007) *Rapport sur le changement climatique*. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_fr.pdf
- LUBINI A., MUKONGO SHABANTU R., BATUNYI K. (2002) Évaluation des besoins en formation dans le secteur forestier en République Démocratique du Congo. Rapport de consultation. FAO, RIFFEAC & UICN.
- MAIRIE DE BUKAVU (2017) *Rapport sur les statistiques de la population de la ville de Bukavu*.
- MAONYO MASUMBUKO D., NGOTULY M. T., BAGUMA M. J., NDAKALA M. P., KIZA N. J., MWANGAMWANGA I., MUZE K., NYAWEZA M. Y (2016) Inventaire préliminaire d'espèces des bois fournissant les bois d'œuvre commercialisés dans la ville de Bukavu, Sud-Kivu, RD Congo, *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol. 20, n° 2, 253-258.
- MARIEN J.-N., BERTRAND A., DU TOIT B., GAUTIER D., GAZULL L., IDOWU M., KASSAMBARA A., MALLET B., MONTAGNE P., NKOUA M., RAMAMONJISOA B., SWART J. (2008) *Foresterie urbaine et périurbaine en Afrique. Quelles perspectives pour le bois-énergie ?* Rapport régional FAO Afrique.
- MEMENTO DU FORESTIER TROPICAL (2015) (sous la direction de D. Louppe, G. Mille), ed. Quae, Cirad, 1200p.
- MINISTÈRE DU PLAN ET STATISTIQUE (1984) *Répartition de la population du Kivu*.
- MPANZU BALOMBA P., NGONDA NSAKALA H., BONKENA BOKOMBOLA P. (2018) Forêts, exploitation et consommation de bois-énergie en RDC : cas des provinces de Kinshasa, de Kwango et du Kongo Central, *Tropicultura*, vol. 36, n° 3, 553-564.
- MPOYI A. M., NYAMWOGA F. B., KABAMBA F. M., ASSEMBE-MVONDO S. (2013) Le contexte de la REDD+ en République Démocratique du Congo : causes, agents et institutions, Document Occasionnel 84, CIFOR, Bogor, Indonésie.

- MWAPU I. (2012) Gouvernance des ressources naturelles collectives des écosystèmes fragiles dans la région des Grands Lacs Africains, Congo-Kinshasa.
- NDONA N. (2003) *La forêt, l'homme et ses besoins vitaux*, FAO, Rome
- NGENDAKUMANA S. (2012) Mapping policy and institutional landscapes for RES approaches in Watershed and biodiversity management schemes: current lessons and prospects in Guinea, Country Readiness Study report, ICRAF-UNDP Report for PRESA Project, 36p.
- OUEDRAOGO B. (2016) La demande de bois-énergie à Ouagadougou : esquisse d'évaluation de l'impact physique et des échecs des politiques de prix, *Développement durable et territoires* [En ligne], Varia (2004-2010), mis en ligne le 20 mars 2006, consulté le 30 septembre 2016. URL : <http://developpementdurable.revues.org/4151>
- PELLERIN DRION S. (2013) Le bois-énergie, une solution d'avenir ? Article disponible en ligne à l'adresse : <https://www.cairn.info/revue-pour-2013-2-page-137.htm>
- PNUD (2010) *Note sur la conjoncture politique et socio-économique de la province du Sud-Kivu*, 1er semestre, New-York, PNUD.
- RDC, MINISTÈRE DU PLAN, UNITÉ DE PILOTAGE DU PROCESSUS DSRP (2005) *Monographie de la Province du Nord-Kivu*, Kinshasa.
- SCHURE J., VERINA INGRAM V., AKALAKOU-MAYIMBA C. (2011) Bois-énergie en RDC : analyse de la filière des villes de Kinshasa et de Kisangani, Projet makala/CIFOR.
- SERRE DUHEM C., NTOTO M'VUBU A. R. (2012) Analyse de la filière bois-énergie dans la province du Sud Kivu, Programme Biodiversité et Forêts Projet Filière Bois/Chaînes de Valeur, Provinces Sud-Kivu et Maniema.
- TITEKA K., KIMANUKA C. (2012) *Marché dans l'obscurité : le commerce informel transfrontalier dans la région des Grands Lacs*, Londres : International Alert.
- VWIMA N. S. (2014) *Le rôle du commerce frontalier des produits alimentaires avec le Rwanda dans l'approvisionnement des ménages de la ville de Bukavu (Province du Sud-Kivu)*, Thèse de doctorat, Université de Liège/Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique, 170 p.

Consommation énergétique et croissance économique en Algérie : réalités, défis et perspectives

Matouk BELATTAF¹, Ouari MERADI² et Halim ZIDELKHIL³

La littérature économique a abouti à des résultats mitigés et controversés quant à l'implication de la consommation d'énergie dans la constitution du PIB et la croissance économique. Certains auteurs, tels que Asafu-Adjaye (2000), El-Sakka et Ghali (2004), Apergis et Payne (2010) et Guo (2018), avancent que la consommation d'énergie est un préalable à la croissance et au développement social et technologique dans la mesure où elle est considérée comme facteur de production qui complète le travail et le capital dans le processus de production. En effet, une carence en celle-ci réduirait les capacités productives, la croissance économique et le progrès technologique. Mais d'autres affirment que le rôle de l'énergie est minime ou indéterminé par rapport à la croissance. Cela est faussé par l'exercice de faibles coûts de l'énergie par rapport au PIB et la consommation d'énergie n'est pas susceptible d'avoir un impact significatif sur la croissance de la production. De plus, ils soutiennent qu'au fur et à mesure qu'une économie se développe, sa structure de production va plus se situer dans le secteur tertiaire qui est moins intensif en énergie, comparé au secteur industriel (El-Sakka et Ghali, 2004).

À côté de la croissance économique, la consommation d'énergie reflète un certain niveau de vie et pourrait être aussi corrélée à la pauvreté ou l'opulence ; Magrin et *al.* (2007) avancent ainsi que la faible consommation d'énergie est à la fois symptôme de pauvreté et d'obstacle à la performance économique et au bien-être social. En outre, la BOAD (2008) met en avant le rôle et la disponibilité de l'énergie dans le développement des activités et la promotion d'un tissu industriel compétitif.

Plusieurs études ont appréhendé le lien entre la consommation d'énergie et la croissance économique. Ces analyses ont utilisé différentes approches, notamment celles de l'impact à court et à long terme par la technique de cointégration de Johansen et Max-Eigen et d'analyse en termes de causalité au sens de Granger. D'autres utilisent l'approche des fonctions de réponses impulsionnelles et de décomposition de variance.

S'inscrivant dans ce cadre, pour ce qui est du cas algérien, cette étude tentera de caractériser la nature des effets susceptibles d'être engendrés par une hausse de la consommation de l'énergie sur la croissance économique algérienne.

L'Algérie comme pays en développement, à caractère rentier, où l'exportation des hydrocarbures à l'état brut constitue plus de 97% (Banque d'Algérie, 2017b) des exportations totales et près de 50% des recettes fiscales (Direction Générale du Trésor, 2011). Les ressources énergétiques, transformées ou primaires, sont le véritable moteur de la croissance économique en termes de valeur ajoutée, et ce sont elles qui permettent l'accumulation des capacités de production et des avoirs extérieurs au niveau de la Banque

¹ Professeur en sciences économiques, Faculté des SECSG, Université de Ouargla, Algérie. matoukb@yahoo.fr

² HDR en sciences économiques, Laboratoire d'Économie & Développement (LED), Faculté des SECSG, Université de Bejaia, Algérie. ouarimeradi@hotmail.fr

³ Doctorant en sciences économiques, Laboratoire d'Économie & Développement (LED), Faculté des SECSG, Université de Bejaia, Algérie. halim.zidelkhil@gmail.com

d'Algérie. Cette analyse est corroborée par les résultats financiers de l'État algérien, d'autant plus alarmants que depuis juin 2014 l'Algérie est touchée, par ricochet induit, par la diminution de la demande énergétique internationale qui avait causé la baisse drastique des exportations algériennes d'hydrocarbures, passées de 63 milliards de dollars en 2013 à 58 en 2014 et seulement 28 milliards de dollars en 2016 (Banque d'Algérie, 2018). L'examen des comptes de la balance des paiements ainsi que le PIB par approche de valeur ajoutée suggèrent la prépondérance de l'exploitation énergétique dans l'économie algérienne. Par rapport à celle-ci, et à côté des exportations utilisées, la consommation de l'énergie devrait aussi avoir un rôle prépondérant dans l'accroissement des valeurs ajoutées des différents secteurs. C'est le résultat observé dans plusieurs études empiriques. Dans ce sillage, notre problématique se matérialise par la question principale suivante : « quelle est la relation qui peut subsister entre la consommation énergétique (ou bien l'exportation brute des hydrocarbures) et la croissance économique en Algérie ? » C'est à cette question que nous tenterons de répondre avec un modèle Vectoriel Auto Régressif (VAR) sur une période qui s'étale de 1980 à 2017. Intuitivement et selon la littérature économique, ce lien est fort et avéré. Cependant, connaissant la nature de l'industrie énergétique algérienne ainsi que son PIB à forte dominance rentière, la consommation énergétique et son lien avec la croissance semblent être difficiles à cerner dans ce contexte. Notre hypothèse est que dans le cas algérien, la consommation énergétique ne contribue pas fortement à l'accroissement du PIB puisque ce dernier dépendrait plus de l'exportation des hydrocarbures à l'état brut et non d'une dynamique économique consommatrice d'énergie.

Pour y répondre, nous allons entamer l'étude par une revue de la littérature concernant l'existence de liens de causalité entre les variables étudiées et voir ainsi quelles sont les approches utilisées dans ce sens. Nous allons ensuite analyser, dans la deuxième section, la situation de quelques indicateurs énergétiques ainsi que le PIB pour le cas algérien. Dans la troisième et dernière section, nous mobiliserons une étude économétrique par une approche vectorielle auto régressive complétée par des tests de cointégration et de causalité afin de vérifier empiriquement l'objet de notre problématique.

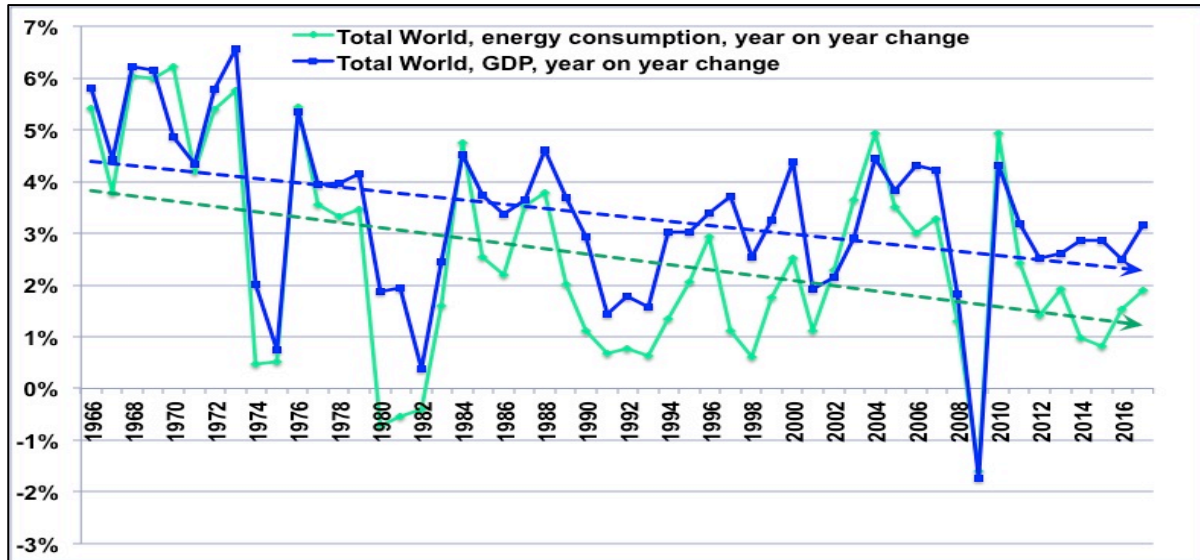
1. REVUE DE LA LITTÉRATURE

D'un point de vue théorique, il est admis que la relation entre la croissance économique et la consommation de l'énergie reste forte. Cependant, la question qui se pose avec acuité est d'identifier la nature de cette corrélation, la tentation ici nous pousse implicitement et a priori à qualifier ce corollaire de positif. Mais, concernant la disposition générale d'une source importante d'énergie, certains cas contredisent ce raisonnement, ce sont par exemple l'Allemagne, la France et le Japon qui sont traditionnellement puissance économique sans pour autant disposer de fortes ressources énergétiques. En plus, l'Algérie reste un Pays en Voie de Développement malgré ses réserves importantes en énergie, « malédiction des ressources naturelles ou syndrome hollandais » *dutchdisease* ».

La consommation énergétique est positivement corrélée avec la croissance économique, les résultats empiriques obtenus d'Ouedraogo (2013) analysent la relation de court et de long terme entre l'accès à l'énergie et la croissance économique pour quinze pays africains de 1980 à 2008, et cela en utilisant les techniques de cointégration en panel et de causalité. Ces résultats montrent que le PIB et la consommation d'énergie évoluent positivement à long terme. En outre, Gozgor et *al.* (2018) constatent ce même résultat entre la consommation d'énergie non renouvelable et renouvelable et le taux de croissance économique. Sachs et Warner (2001) affirment qu'une corrélation évidente subsiste entre la croissance économique et la consommation d'énergie, car sans l'énergie il est impossible de produire, créer de la richesse et d'améliorer le bien-être et la prospérité économique et technologique. Dans cette même approche, nous citons d'autres travaux comme ceux de Shahbaz et *al.*, (2017), Kasperowicz et Streimikienė (2016) et Wolde-Rufael (2014). Cependant, les modèles théoriques et tests empiriques mettent en exergue des preuves contradictoires avec des non-causalités. Ce qui nous rend incertains sur la nature de cause à effet de cette situation. En effet, les travaux de Babatunde (2018) soulignent l'évolution structurelle imputable au changement de base économique, c'est ainsi que la consommation d'énergie du Nigéria est stationnaire et n'a donc pas de lien à long terme avec la croissance économique. En outre, une indépendance statistique a été signalée entre la consommation d'énergie et la croissance économique dans une approche VAR. De même, Zilio et Recalde (2011), dans leur étude sur 21 pays d'Amérique Latine et des Caraïbes au cours de la période 1970-2007, ont soutenu l'inexistence d'une relation stable à long terme. En ce qui concerne les pays exportateurs de pétrole dont la structure des recettes avoisine celle de l'Algérie, Mehrara (2007) avait examiné cette relation de causalité dans un panel de 11 pays exportateurs de pétrole en utilisant des tests de panel de racine unitaire et une analyse de cointégration de panel. Il avait déduit une forte

unidirectionnelle causalité allant de la croissance économique à la consommation d'énergie pour les pays exportateurs de pétrole. Cette contradiction met en exergue un fait majeur : l'implication de l'énergie dans le PIB présente une différence notable selon qu'elle est exportée ou impliquée dans la dynamique économique générale. Le graphique 1, ci-dessous, démontre le lien positif et étroit entre la consommation énergétique et la croissance économique mondiale :

Graphique 1 : Évolution de la consommation d'énergie et du PIB dans le monde de 1966 à 2016



Source : Jancovini (2017).

Le pic négatif de la croissance mondiale, entamé à partir de 2007 et accru en 2009 « avoisinant les 2% », est relativement dû à la crise des subprimes comme épicerie de la crise financière qui s'est matérialisée par diverses réactions un peu partout dans le monde selon les configurations économiques déjà établies et le degré d'intégration financière enregistré. Il est de bon aloi de noter que la mauvaise intégration du marché financier algérien au reste du monde avait empêché la contagion de la crise vers le pays, mais que celle-ci l'a affecté en 2014 par le canal d'exportation des énergies brutes.

Cependant, comme la littérature l'atteste, la causalité n'est pas avérée pour certains cas. Les courbes de consommation d'énergie et du PIB n'évoluent pas dans le même sens pour le cas algérien. Voir le graphique 2 qui illustre parfaitement cette situation. Ce qui nous suggère que pour le cas algérien, deux cas peuvent paraître. C'est pour cela que notre analyse sera consolidée par une analyse quantitative pour mieux positionner l'Algérie face à cette causalité mitigée.

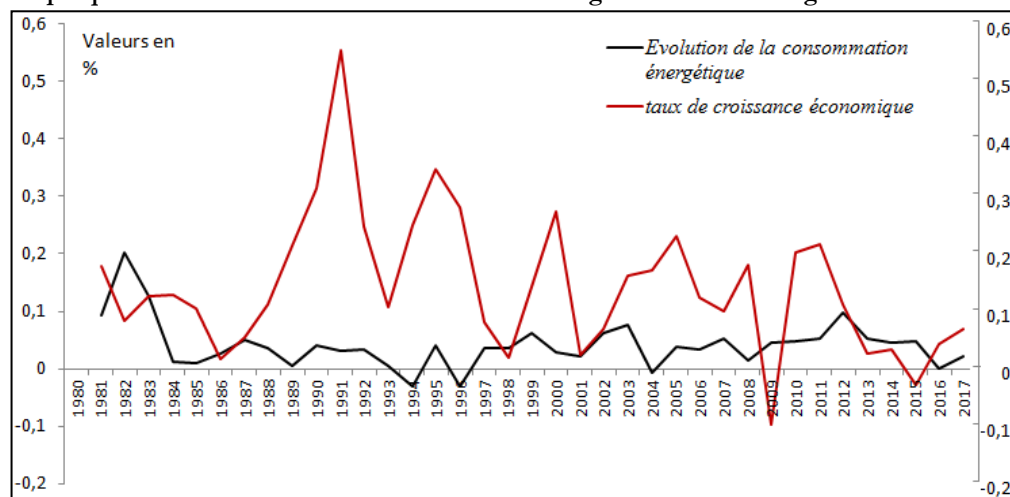
2. INDICATEURS DE CROISSANCE ET DE CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

L'analyse du graphique 2 suggère une décorrélation entre la consommation nationale de l'énergie et la croissance économique. De même, si on se réfère au graphique 3, la part de la valeur ajoutée des hydrocarbures dans la constitution du PIB demeure importante, issue essentiellement des produits de leur exportation.

À titre d'exemple, la part de la valeur ajoutée des hydrocarbures en pourcentage du PIB atteint en 2006 45.5%, 34.9% en 2010 et seulement 27.1% à la date du choc pétrolier (Banque d'Algérie, 2016, 2017a). Les recettes globales des hydrocarbures déclinaient de 32 milliards de dollars au premier semestre 2014 à 26 milliards de dollars au deuxième semestre de la même année. La chute est à la fois nominale et réelle. En termes de prix unitaire, un baril de brut passait de 109.9 dollars au premier semestre 2014 à 58 dollars en décembre 2014 (Banque d'Algérie, 2019).

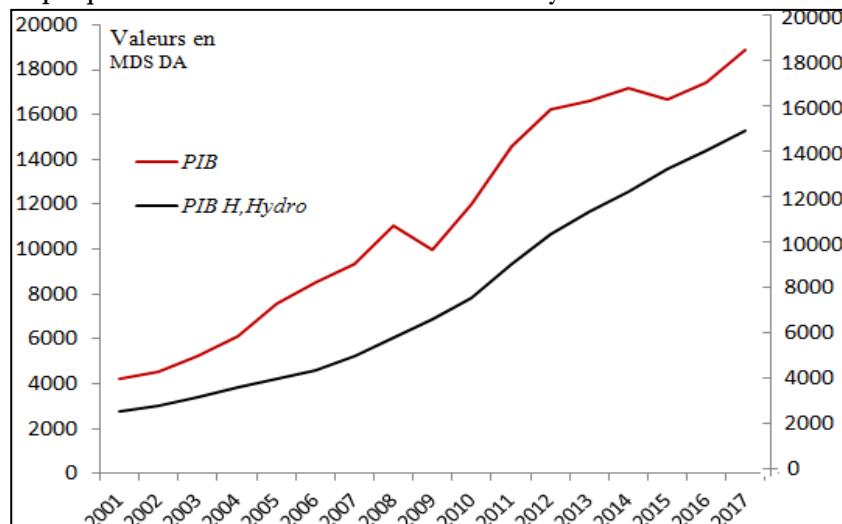
Le graphique 4 illustre un fait majeur, c'est celui de la part de la consommation finale et de la consommation des industries énergétiques dans le total de la consommation nationale. La consommation finale en pourcentage de la consommation nationale est décroissante : d'un ordre de 24.20 en 2000, 15.27 en 2010 et 11.84 en 2017.

Graphique 2 : Évolution de la consommation d'énergie et du PIB en Algérie de 1980 à 2017



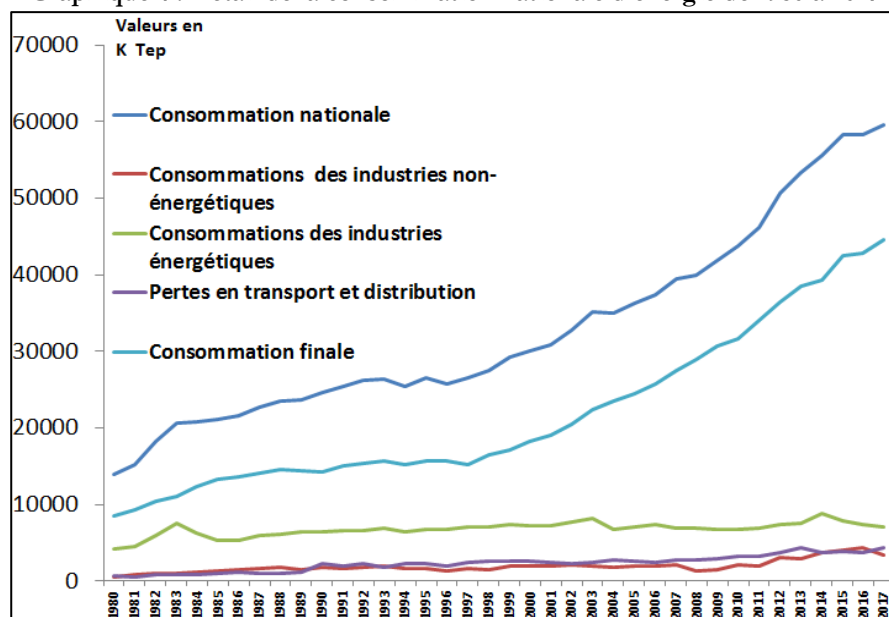
Source : Réalisé par les auteurs depuis : www.energy.gov.dz et l'ONS.

Graphique 3 : Évolution du PIB et le PIB hors hydrocarbures de 2000 à 2017



Source : Réalisé par les auteurs depuis : www.energy.gov.dz

Graphique 4 : Détail de la consommation nationale d'énergie de 1980 à 2017



Source : Réalisé par les auteurs depuis : www.energy.gov.dz

Quant à la consommation finale, elle représente la deuxième source de consommation énergétique nationale avec une tendance croissante à concurrence de 60.76 % en 2000, 72.22% en 2010 et 74.93% en 2017. La consommation des industries non énergétiques est relativement faible, de l'ordre de 6.4% en 2000, de 4.98% en 2010 et de 5.85% en 2017. Cette faible consommation est due à celle de l'industrie hors hydrocarbures dans la constitution du PIB national qui est de l'ordre de 7.18 % en 2000, de 4.96% en 2010 et de 5.48% en 2017 (Banque d'Algérie, 2001, 2011, 2017).

Nous allons appuyer les résultats graphiques de la non-causalité entre la consommation énergétique et la croissance pour le cas algérien par le test de Granger ainsi que l'étude de cointégration et des fonctions d'impulsion des variables les plus significatives sur la croissance économique algérienne.

3. LE MODÈLE ÉCONOMÉTRIQUE

Les séries utilisées sont annuelles et composées de 38 observations, issues de l'office national des statistiques ainsi que du ministère de l'énergie et des mines algérien.

Les résultats obtenus indiquent que les séries des variables explicatives, en l'occurrence : la consommation des industries énergétiques « CIE », la consommation des industries non énergétiques « CINE », la consommation nationale d'énergie « CNE » et les exportations énergétiques brutes « EXPE », ainsi que celle à expliquer le « PIB » ne sont pas stationnaires en niveau. En effet, pour ces séries, les statistiques des tests ADF ont des probabilités supérieures à 5% et autorisent donc à accepter l'hypothèse nulle de racine unitaire. Le test effectué sur les séries en première différence permet de rejeter l'hypothèse nulle de non-stationnarité pour toutes les séries au seuil de 5%. Ainsi, les séries sont stationnaires en première différence sauf pour la série CNE qui est stationnaire en deuxième différence comme illustré dans le tableau 1, ci-dessous :

Tableau 1 : Résultats des tests de stationnarité

Variables	En niveau			En différence			Conclusion
	T _{ADF}	T _C	Pr	T _{ADF}	T _C	Pr	
PIB	4,84	-1,95	1	-3,16	-1,95	0.0024*	I(1)
CIE	0,31	-1,95	0,7706	-5,79	-1,95	0,0000*	I(1)
CINE	0,74	-1,95	0,8717	-6,75	-1,95	0,0000*	I(1)
CNE	7,5	-1,95	1	-9,43	-1,95	0,0000**	I(2)
EXPE	0,54	-1,95	0,8296	-3,81	-1,95	0,0004*	I(1)

Note: * rejet de l'hypothèse nulle, la série est stationnaire en 1^{re} différence.

**rejet de l'hypothèse nulle, la série est stationnaire en 2^e différence.

Source : Réalisé par les auteurs à partir d'Eviews 7.

3.1 Les Résultats du modèle

Nous avons opté pour un modèle à Vecteur Auto Régressif « VAR » pour déceler les relations de court terme entre la CNE et le PIB. Voici quelques paramètres du modèle :

- Critères d'Akaike et de Schwarz = 16.0196, 16.3275
- Nombre de décalages =1
- $R^2 = 0.990$
- R^2 ajusté = 0.988

L'équation du modèle :

$$Pib(-1) = 175.91 + 0.9607 pib(-2) - 0.2734 cie(-2) - 0.2124 cine(-2) + 0.0522 cne(-3) + 0.0118 expe(-2) \quad (1)$$

Les valeurs absolues des statistiques calculées relatives aux paramètres adossés à ces variables explicatives sont inférieures à 1,96 sauf pour la variable PIB (-2) qui est égale à « 10.78 » ainsi que celle de la variable EXPE « 1.78 » significative au seuil de 10%. Cela dit, les paramètres ne sont pas significativement différents de 0, sauf pour le pib (-2) à 5% et l'EXPE à 10% avec 1 retard.

3.2 Test de Cointégration de Johansen

La non-stationnarité des séries nous mène à rechercher la présence d'une relation d'équilibre à long terme entre les variables du modèle par la procédure de cointégration de Johansen dont les résultats sont illustrés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Résultats des tests de cointégration de Johansen

Hypothèses	T Trace	valeurs critiques à 5%	Probabilités
None*	95,5953	69,8188	0,0001
Au moins 1*	51,9545	47,8561	0,0152
Au moins 2	25,9931	29,797	0,1289
Au moins 3	7,77996	15,4947	0,4871
Au moins 4	0,0995	3,8441	0,7524

Note: *rejet de l'hypothèse nulle de l'inexistence d'une relation de cointégration

Source : calculs des auteurs à partir d'Eviews 7.

Le test de la Trace indique l'existence de 2 relations de cointégration puisque l'hypothèse nulle selon laquelle il n'existe aucune relation de cointégration entre les quatre variables est rejetée. La statistique de la trace en ($r = 0$) d'une valeur de 51.9545 est supérieure à la valeur critique au seuil de 5% « 47.8561 ». En outre la probabilité 0.0196 est inférieure à 0.05. Ces résultats nous suggèrent l'utilisation d'un modèle vectoriel à correction d'erreur, mais les variables ne sont pas intégrées du même ordre et puisque nous voulons analyser les relations de court terme et les relations de causalité, un modèle vectoriel autorégressif est approprié.

3.3 Analyse de la causalité de Granger

Les résultats de ces tests reportés dans le tableau 3 mettent en évidence une causalité unidirectionnelle à court terme entre l'exportation d'énergie et la croissance économique, « la probabilité est de 0.0232, bien inférieure à 0.05 ». Cette causalité va uniquement de l'exportation d'énergie brute à la croissance économique. En ce qui concerne la consommation nationale d'énergie, la causalité est uniquement unidirectionnelle. Elle va du PIB vers la consommation d'énergie et non l'inverse, tirée notamment par l'accroissement de la consommation finale et de la part des industries énergétiques dans la consommation nationale. En d'autres termes, c'est la croissance économique qui cause la consommation d'énergie. L'absence de causalité entre cne, cine, cie et le PIB suggère que ce dernier accroît la consommation finale d'énergie à caractère non productif.

Tableau 3 : Résultats des tests de causalité de Granger

Variabes	Prob	Valeur critique à 5%	Résultats
Expe (-1) ne cause pas PIB (-1)	0,0232	0,05	L'hyp nulle est rejetée, expe cause le PIB
Cne (-2) ne cause pas PIB (-1)	0,4751	0,05	L'hyp nulle est acceptée, cne ne cause pas le PIB
Cine (-1) ne cause pas PIB (-1)	0,3809	0,05	L'hyp nulle est acceptée, cine ne cause pas le PIB
Cie (-1) ne cause pas PIB (-1)	0,8021	0,05	L'hyp nulle est acceptée, cie ne cause pas le PIB

Note: *rejet de l'hypothèse nulle de l'inexistence d'une relation de causalité

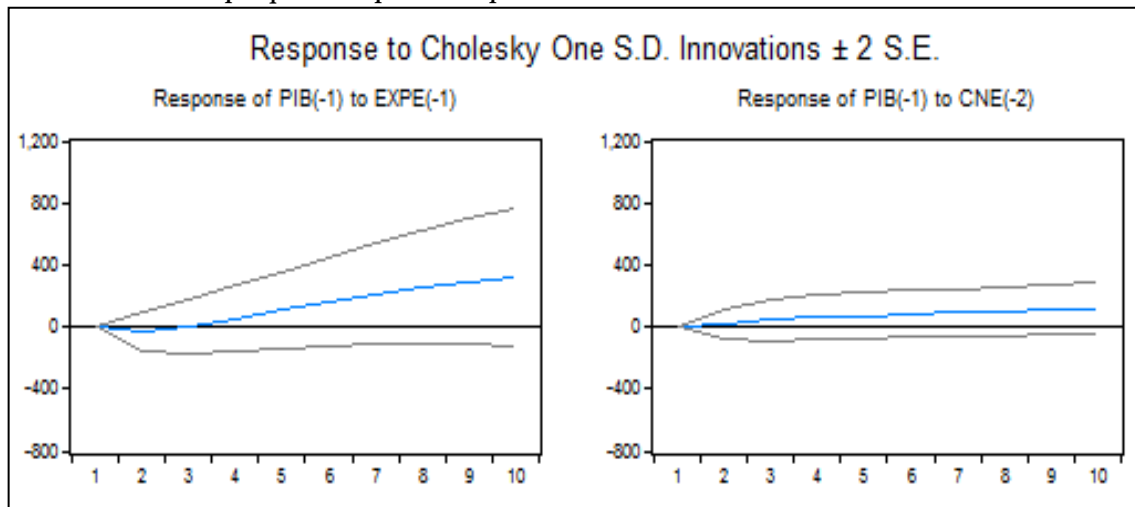
Source : Réalisé par les auteurs à partir d'Eviews 7.

Ces résultats sont conformes à la réalité économique du pays puisque la part des industries toutes confondues est résiduelle comparativement à celle de l'exportation des hydrocarbures à leur état brut. La dualité entre le secteur pétrolier et les autres secteurs confondus semble être au profit de l'exportation de l'énergie brute et des industries énergétiques. Il y a une dynamique économique globale assez faible pour consommer de l'énergie et aboutir à un PIB conventionnel dont la structure et la constitution sont communes. Cela est une caractéristique des économies rentières dont la demande interne dépendrait essentiellement des avoirs extérieurs issus de la rente pétrolière, et dont le PIB est tiré essentiellement par un seul secteur, en l'occurrence le secteur pétrolier.

3.4 Analyse des chocs impulsionnels sur le PIB

Ce test nous permettra de constater si les chocs sont instantanés et dans quelle période le retour vers l'équilibre s'opère.

Graphique 5 : Réponses impulsionnelles de CNE et EXPE sur le PIB



Source : Réalisé par les auteurs à partir d'Eviews 7.

L'impact d'un choc de consommation nationale d'énergie et de l'exportation d'énergie brute sur le PIB n'est pas instantané, la réponse au choc commence à partir de la première année et suit une tendance haussière. Cela corrobore le caractère rentier du pays où même l'énergie exportée est à l'état brut. Quant au choc de la consommation nationale d'énergie sur la croissance, celui-ci à l'instar des exportations d'énergie a un temps de retard d'une année, perceptible avec une faible répercussion sur le PIB qui demeure néanmoins positive. En se référant au graphique 4, la consommation nationale d'énergie est tirée notamment par la consommation finale des ménages qui ne disposent pas d'impact direct et conséquent sur la dynamique productive constituant l'élan de la croissance nationale algérienne.

CONCLUSION

Il est clair que la consommation énergétique va de soi avec l'accroissement du PIB, cela est notamment observé dans les économies industrialisées avec le processus de création de richesses. Un rôle qui est largement discuté dans la littérature économique. L'objectif de la présente étude a été de mettre effectivement en exergue ce constat, mais aussi de faire ressortir une particularité des économies rentières, à l'instar de celle de l'Algérie où l'accroissement du PIB n'est affecté que de manière résiduelle par le processus de création de richesses, mais plutôt par l'exploitation primaire et brute des hydrocarbures et des richesses naturelles.

Les résultats du modèle VAR montrent que la consommation d'énergie est complètement décorrélée de la croissance du PIB en Algérie et que la consommation des industries énergétiques semble expliquer mieux la croissance que celle à caractère non énergétique.

Ainsi, à partir du test de cointégration de Johansen, les résultats empiriques ont mis en évidence l'inexistence d'une relation à long terme entre la consommation d'énergie et la croissance économique. Quant aux résultats des tests de causalité, ils indiquent une causalité au sens de Granger unidirectionnelle à court terme entre l'exportation d'énergie et la croissance économique. Cette causalité va uniquement de l'exportation d'énergie vers la croissance économique. En outre, la causalité entre la consommation d'énergie et la croissance du PIB est unidirectionnelle, elle va du PIB vers la consommation d'énergie. Par conséquent, l'hypothèse selon laquelle la consommation énergétique ne contribue pas fortement à l'accroissement du PIB est confirmée, car la croissance du PIB dépendrait plus de l'exportation des hydrocarbures.

La diversification économique en Algérie et l'implication des différents acteurs économiques dans le processus de création de la richesse seront un palliatif intéressant au système économique actuel où les acteurs économiques vivent en aval de la construction rentière du PIB.

BIBLIOGRAPHIE

- APERGIS N., PAYNE J. E. (2010) Renewable energy consumption and growth in Eurasia. *Energy Economics*, 32(6), 1392-1397.
- ASAFU-ADJAYE J. (2000) The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: Time series evidence from Asian developing countries. *Energy Economics*, 22(6), 615-625.
- BABATUNDE M. A. (2018) *Energy Consumption and Economic Growth in Nigeria A Time – varying Framework Analysis*, (January 2016).
- BANQUE D'ALGÉRIE (2016) *Rapport annuel, Chapitre VIII : Situation monétaire et politique monétaire*. É.
- BANQUE D'ALGÉRIE (2017a) Bulletin statistique trimestriel, 37(mars).
- BANQUE D'ALGÉRIE (2017b) *Rapport annuel 2016, Évolution économique et monétaire en Algérie*.
- BANQUE D'ALGÉRIE (2018) Bulletin statistique trimestriel, 44, décembre.
- BANQUE D'ALGÉRIE (2019) Bulletin statistique trimestriel, 46, juin.
- BOAD (2008) Forum sur le Thème : *Les États de l'UEMOA face aux défis du développement*, 33e anniversaire de la BOAD, 2008, *Rapport de synthèse des travaux*, Lomé, 1-68.
- DIRECTION GENERALE DU TRÉSOR (2011) Chapitre - Xii - Finances Publiques Chapter - Xii - Public Finances. *Finances Publiques, Rétrospective Statistique 1962-2011*.
- EL-SAKKA M. I., GHALI K. H. (2004) Energy use and output growth in Canada: a multivariate cointegration analysis Khalifa. *Energy Economics*, 26, 225-238.
- GOZGOR G., LAU C. K., LU Z. (2018), Energy consumption and economic growth: New evidence from the OECD countries. *Energy*, 153, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.158>
- GUO W. W. (2018) An Analysis of energy consumption and economic growth of Cobb-Douglas production function based on ECM. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 113(1).
- JANCOVINI J.-M. (2011) Disponible sur : <https://jancovici.com/transition-energetique/l-energie-et-nous/lenergie-de-quoi-sagit-il-exactement/>
- KASPEROWICZ R., ŠTREIMIKIENĖ D. (2016) Economic growth and energy consumption: Comparative analysis of V4 and the “old” EU countries. *Journal of International Studies*, 9(2), 181-194.
- MAGRIN G., DIEYE P. N. (2007) *Biocarburants, aménagement du territoire et politiques agricoles en Afrique : un éléphant dans un magasin de porcelaine ?* Communication orale présentée à la conférence internationale sur « Enjeux et perspectives des biocarburants en Afrique », Ouagadougou, 10 p.
- MEHRARA M. (2007) Energy consumption and economic growth: The case of oil exporting countries. *Energy Policy*, 35(5), 2939-2945.
- OUEDRAOGO N. S. (2013) Energy consumption and economic growth: Evidence from the economic community of West African States (ECOWAS). *Energy Economics*, 36, 637-647.
- SACHS J. D., WARNER A. M. (2001) Natural Resources and Economic Development The curse of natural resources. *European Economic Review*, 45, 827-838.
- SHAHBAZ M., HOANG T. H. V., MAHALIK M. K., ROUBAUD D., (2017) Energy consumption, financial development and economic growth in India: New evidence from a nonlinear and asymmetric analysis. *Energy Economics*, 63(C), 199-212.
- WOLDE-RUFAEL Y. (2014) Electricity consumption and economic growth in transition countries: A revisit using bootstrap panel Granger causality analysis. *Energy Economics*, 44, 325-330.
- ZILIO M., RECALDE M. (2011) GDP and environment pressure: The role of energy in Latin America and the Caribbean. *Energy Policy*, 39(12), 7941-7949.

Stratégies des multinationales de l'hydrocarbure et impact sur l'environnement

Lila DOUADI¹ et Habib AMIAR²

Le développement³ du secteur pétrolier s'accroît rapidement, et les conséquences de cette course effrénée devraient faire l'objet d'une surveillance particulière. Tous les avantages financiers qui découleront d'un développement pétrolier doivent être étudiés, en mettant en parallèle les coûts sociaux et environnementaux qui seront subis. Le pétrole a un coût que l'on ne peut négliger. De multiples questions se doivent d'être posées, lorsque les compagnies pétrolières désirent s'installer dans un endroit présentant des risques pour les populations locales et l'environnement. Par exemple, quels types de consultations ces entreprises prévoient d'engager avec les communautés locales, quelle est la nature spécifique de la relation contractuelle, quelles sont les lois en matière de droits de l'homme et de sécurité dans le pays d'implantation. La notion de l'éthique liée à la responsabilité sociale de l'entreprise est avantageuse à toutes les parties prenantes. Elle est un préalable essentiel de la réduction de la pauvreté, et en adéquation avec les objectifs internationaux, en termes de responsabilité des gouvernements, à la prévention de la corruption, à la protection de l'environnement, et au débat démocratique sur la gestion et la répartition équitable des ressources. En 1999, Kofi Annan⁴, alors secrétaire général de l'ONU, a lancé le Pacte mondial lors du Forum économique mondial de Davos. Ce pacte stipule que les multinationales avaient dorénavant la possibilité de s'engager -à titre volontaire- à respecter dix principes sociaux, écologiques et de droits humains. La responsabilité sociale et environnementale des entreprises est une forme de gouvernance visant à prendre en considération les droits de l'homme et le respect de l'environnement dans leurs décisions stratégiques (Trébulle et Uzan, 2011).

¹ Maître de conférences. Université de Tizi Ouzou, Algérie. lildouadi@yahoo.fr

² Maître Assistant. Université de Tizi Ouzou, Algérie. amiarassen@yahoo.fr

³ Le pétrole est une ressource chimique et énergétique qui a accompagné et catalysé le développement technologique de l'Humanité. Le pétrole est une énergie pratique, dont les possibilités sont nombreuses, grâce à des caractéristiques physico-chimiques hors du commun. Le pétrole est un liquide. C'est une qualité indéniable : plutôt pratique à extraire, à transporter, à stocker et à utiliser, par opposition à un solide. Un liquide est encore plus pratique qu'un gaz, notamment en ce qui concerne le problème des fuites et le comportement à température ambiante. On peut le transvaser facilement. Le pétrole brut, après raffinage, permet de produire de nombreux dérivés, à vocation énergétique ou non. Cette spécificité a permis le développement parallèle de l'industrie, des transports et de la pétrochimie. Les progrès techniques et le développement des marchés de ces différents secteurs d'activités ont créé une demande toujours plus forte en pétrole. Les différents débouchés sont à l'origine de cette croissance de la demande, qui a accéléré le développement des réseaux de transport et de distribution du pétrole. La manne financière issue de cette variété d'applications a justifié les investissements colossaux requis par la mise en place de réseaux d'extraction, de transport, de transformation, de stockage et de distribution des produits pétroliers.

⁴ Septième secrétaire général des Nations unies. Il est de nationalité Ghanéenne et a entamé son premier mandat le 1er janvier 1997. Le 29 juin 2001 il est réélu pour un second mandat, du 1er janvier 2002 au 31 décembre 2006.

1. LES ACTIVITÉS ET LES STRATÉGIES DES MULTINATIONALES PÉTROLIÈRES

On dénombre dans l'industrie pétrolière un certain nombre d'aspects qui la distingue des autres industries. Le premier élément fait référence à l'imprévisibilité importante, en terme de rentabilité des investissements réalisés. Le risque est à la fois économique, mais aussi politique et technique. L'aspect « technique » est subordonné à un facteur chance qui n'est pas négligeable, malgré les quantités de recherches géologiques ou géophysiques réalisées en amont. Concernant le risque économique, les firmes pétrolières le contournent, en investissant de manière diversifiée dans plusieurs pays. Par ailleurs, elles adoptent des stratégies dites « concentration d'entreprises » pour s'assurer une stabilité des marchés. Un second facteur d'influence est lié à la nécessité d'avoir une continuité dans les opérations entreprises. Le troisième facteur fait référence à la difficulté de réguler les multitudes d'activités engendrées par la mondialisation. Une multinationale opère dans plusieurs pays, elle utilise donc plusieurs modèles juridiques, chaque pays ayant des spécificités propres, qu'il est primordial d'appréhender avant d'entamer des négociations sur d'éventuels contrats. Enfin, un quatrième facteur concerne les « barrières à l'entrée », si une entreprise désire intégrer le marché très fermé des producteurs de pétrole, cela sera difficile, car elle devrait faire face à des concurrents chevronnés, implantés bien avant elle. Les obstacles sont donc relativement élevés, notamment pour l'obtention des concessions.

Les multinationales sont confrontées à un problème lorsque les valeurs éthiques du pays d'origine diffèrent de celles du pays d'accueil. Les enjeux concernent les droits de l'homme, la corruption et l'environnement. Les conditions de travail dans les pays en développement sont moins favorables que dans les pays développés. Souvent les multinationales cèdent à la tentation d'exploiter le différentiel entre les lois et les pratiques en matière de droit du travail ; s'agissant de la protection de l'environnement, il concerne la pollution, la gestion des déchets et la gestion des ressources. Lorsque les normes du pays d'origine de la multinationale diffèrent de celles du pays d'accueil, quatre options se présentent à l'entreprise : appliquer les normes du pays d'origine, les normes du pays d'accueil, la norme qui lui semble la plus profitable, ou appliquer la norme qu'elle estime moralement la meilleure (Asgary et Mitschow, 2002, cité par Pestre, 2013, 40-41).

2. L'ÉTHIQUE, AU CENTRE DE LA RESPONSABILITÉ SOCIALE DE L'ENTREPRISE

On distingue l'approche objectiviste et subjectiviste de la notion d'éthique, qui est l'énonciation d'une théorie d'un auteur connu dans le domaine du droit, Hans Kelsen⁵.

L'étymologie grecque parle de l'éthique pour désigner une « science morale », en lien direct avec les habitudes et les mœurs. Si l'on reprend une distinction établie par Michel Dion dans son livre « *L'éthique de l'entreprise* »⁶, il est alors primordial d'orienter l'analyse sur une approche objectiviste⁷ de la notion d'éthique. En mettant l'accent sur les facteurs internes d'influence, cette approche consiste à affirmer que le processus d'institutionnalisation de l'éthique en milieu organisationnel ne fait que refléter le contenu de « vérités éternelles », qui n'admettent aucun doute et interprétation. Ainsi, lorsqu'une entreprise définit les valeurs organisationnelles primordiales, telles que l'intégrité, l'honnêteté, la justice, ce n'est pas tant une définition formelle de ces valeurs qui est réalisée, mais plutôt le reflet de l'importance de ces valeurs, dans le comportement organisationnel attendu, de tous les acteurs de l'entreprise.

L'approche subjectiviste de l'éthique, quant à elle, suggère que les différents moyens d'institutionnaliser les préoccupations éthiques dans l'entreprise ne font que véhiculer les jugements de la majorité des parties prenantes. Il n'y a dès lors aucune valeur, aucun principe absolu. Cette approche est nuancée car le sentiment des individus, qui non seulement peut varier au cours du temps mais est aussi largement influençable, ne permet pas de fixer de manière durable des principes éthiques dans la société. Cette approche est considérée comme étant volatile, car « les jugements moraux » sont perçus comme enracinés dans les sentiments des personnes qui les portent. Il y a des droits, des normes qui font clairement partie de « l'existence humaine authentique », certains auteurs les regrouperont sous l'appellation « l'ordre public transnational », soit des normes qui ne peuvent dépendre du jugement individuel, mais qui constituent des règles fondamentales liées à la conscience universelle.

Pour Hans Kelsen par contre, chaque milieu aura une définition qui lui est propre. Certaines actions ou abstentions peuvent donc apparaître comme morales pour les uns et totalement immorales pour les autres.

⁵ Est un juriste austro-américain, fils d'une famille de Bohême et de Galicie. Il est à l'origine de la « Théorie pure du droit ».

⁶ Avec les contributions de Claude Béland, Jean Claude Delorme, Denis Mercier, Bruno Riverin et Raymond Royer.

⁷ Attitude consistant à écarter délibérément les données subjectives pour ne s'en tenir qu'à ce qui est contrôlable par les sens.

Selon lui, les actions ou abstentions qui sont érigées par l'ordre juridique en « conditions d'actes de contraintes » seront déterminantes, pour savoir si un comportement pourra être considéré comme illicite ou non. Si, par contre, ces actions ou abstentions sont prévues par l'ordre juridique comme conséquences, alors, les actes de contrainte prendront le caractère de sanctions. Le fait illicite est donc loin d'être « à l'extérieur » du droit. L'acte illicite n'est pas une négation du droit, il en fait partie, et c'est en confrontant un fait à l'ordre juridique, soit après avoir déterminé si celui-ci est attaché d'une sanction ou non, que l'on pourra en déduire son illicéité. Pour Kelsen, si une certaine action ou abstention est érigée comme condition à un acte de contrainte, il s'ensuit que le juriste doit la considérer comme telle, même s'il ne reconnaît pas en cette dernière un acte illicite. Si on admet qu'un ordre normatif n'ordonne une certaine conduite que par le fait qu'il attache à la conduite contraire une sanction, on en déduit que l'acte illicite est bien une condition du droit et non sa négation.

Jusqu'au milieu des années 1990, le problème des droits de l'homme était un problème très marginal pour les multinationales pétrolières. Cependant, de nombreuses multinationales pétrolières ont été obligées de redéfinir les rôles qu'elles étaient susceptibles de jouer dans la société, ce qui incluait la problématique relative aux différentes responsabilités. En quelques années, les droits économiques et sociaux et les libertés civiles sont devenus une priorité pour les firmes soucieuses de leur image.

L'affaire Shell est probablement celle qui aura eu le plus d'impact dans le domaine, et celle qui indirectement aurait initié un début de changement. Cette compagnie avait pris l'habitude d'exploiter du pétrole au Nigéria, sur des terres du peuple Ogoni⁸, une minorité ethnique du delta du Niger. Ken Saro-Wiwa⁹ était porte parole du Mouvement pour la survie du peuple Ogoni. Ce mouvement fut créé dans le but de lutter contre les abus commis par certaines compagnies pétrolières sur ces terres. Pour ses actions, et notamment la mise en place d'une campagne non-violente contre la compagnie Shell, il reçut le prix Nobel alternatif en 1994, peu de temps après son arrestation par le régime de Sani Abacha¹⁰. Il fut l'objet de plusieurs arrestations, dont une en mai 1994, où il finira par être accusé d'incitation au meurtre, après la mort de quatre Ogoni. Un an après son emprisonnement, il fut condamné à mort par un tribunal spécial. Le procès fut très largement critiqué par les associations internationales de défense des droits de l'homme. Les poursuites intentées par le peuple Ogoni aux États-Unis, sur la base de l'Aliens Tort Claims Act (ATCA)¹¹, ont conduit l'entreprise pétrolière anglo-néerlandaise Royal Dutch Shell à payer 15,5 millions de dollars américains pour régler le litige à l'amiable. Il était en effet reproché à cette entreprise d'avoir fourni des armes à l'administration Abacha et participé à la rafle, au cours de laquelle Ken Saro-Wiwa et cinq de ses compatriotes furent arrêtés.

3. IMPACTS DES RESPONSABILITÉS SUR LES STRATÉGIES DES FIRMES

La grande majorité des auteurs s'accordent pour situer la naissance du concept de responsabilité sociale dans les années cinquante, bien que certains le voient plutôt comme une continuité du paternalisme¹² du début du XXe siècle. Cette notion, décrite comme « un état d'esprit, se traduit par une attitude, tendant à établir artificiellement des relations familiales entre un supérieur et son inférieur, quel que soit le niveau hiérarchique » (Ballet et De Bry, 2001, 32).

⁸ Peuple autochtone du Sud du Nigeria très connu sous l'appellation du Royaume Ogoni; une minorité ethnique.

⁹ Le nom complet est Kenule Beeson Saro-Wiwa, d'origine Ogoni, écrivain et militant écologiste. Il a été porte-parole puis président du Movement for the Survival of the Ogoni People, dénonçant les dégâts écologiques. Condamné à être pendu et exécuté en 1995.

¹⁰ Est un général, dictateur, d'origine kanouri, du nord du Nigeria. Il s'est autoproclamé chef d'État du Nigeria, en novembre 1993 jusqu'à son décès le 8 juin 1998 à Abuja, la capitale. Il a été, aussi, le président de la Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) de juillet 1996 à juin 1998.

¹¹ La loi sur les actions en responsabilité civile des personnes étrangères est un instrument juridique adopté par le premier congrès américain, le 24 septembre 1789, afin de dédommager les victimes d'actes de piraterie ou d'atteintes aux ambassadeurs. Depuis 1980, cet outil permet à la victime d'une violation grave des droits de l'homme de chercher réparation à travers une procédure civile devant les tribunaux américains même si les deux parties ne sont pas américaines et que la violation a eu lieu à l'étranger.

¹² Utilisé tant en morale qu'en économie et en politique, le terme paternalisme a deux significations. Il désigne d'abord une attitude adoptée par certaines personnes consistant à limiter la liberté d'une ou plusieurs autres personnes, majeures ou non, dans l'intention affichée d'agir pour leur bien, comme le ferait un père avec ses enfants, de façon *spontanée* ou *tactique* et dans le but (avoué ou non) d'exercer sur eux une autorité, du moins une certaine influence, donc à maintenir sur eux un rapport de dépendance, ceci tout en conférant à celui-ci une tonalité affective, à l'image de ce que l'on observe dans les relations familiales. Cette attitude peut être perçue comme infantilisante à l'égard de ceux qu'elle vise, en particulier les personnes n'ayant pas intériorisé les notions d'auto-discipline ou d'émancipation. Il renvoie ensuite à une conception des rapports sociaux, *réfléchie*, voire *théorisée*, applicable dans le monde du travail, selon laquelle les rapports entre dirigeants (qualifiés de "patrons") et ouvriers doivent être régis selon les règles de la vie familiale. Au XIXe siècle en France, Frédéric Le Play en est un des principaux initiateurs.

La seconde grande guerre a laissé des usines transformées par le fordisme. Ce mode de production est défini par la division du travail, ce qui entraîne une croissance de la productivité et l'augmentation des salaires des employés. Cette situation accentue la vision hiérarchique de l'entreprise, et sa place prépondérante dans la sphère économique.

L'après-guerre est également une période de transition politique. La crise économique qui a sévi dans la décennie 1930 a accru la nécessité pour les gouvernements de réagir pour assurer un minimum de niveau de vie à la population. Les États prendront ainsi de plus en plus de place dans la vie des citoyens à travers de nombreuses mesures sociales et économiques. Cette nouvelle protection sociale, accompagnée d'une augmentation du pouvoir d'achat des ouvriers, transforme la société. Ainsi, les compagnies sont une source de création de richesses, l'État sécurise le filet social.

C'est dans cette effervescence que la réflexion autour d'une responsabilité sociale de l'entreprise se développe. La première école de pensée faisant la promotion d'un contrat social, née dans les années cinquante, est la *Business Ethics*, elle constituera une théorie fondamentale aux États-Unis. Elle relève d'une logique utilitariste, donc purement matérialiste, et n'a aucun intérêt à s'épancher sur une cause plus noble. Elle combine une certaine morale (des principes qui lui sont utiles) et le droit, sous forme de contrats. On l'appelle également le courant moraliste éthique. Il s'agit d'une école pragmatique qui réfléchit à la façon la plus efficace de mettre en forme la responsabilité sociale de l'entreprise, et ne s'interroge pas sur les fondements ou la pertinence du concept en lui-même, se préoccupant du comment et non du pourquoi. Ainsi, ceux qui affirment que la nouvelle éthique, dont font preuve les grandes entreprises, n'est qu'un mode de gestion des compagnies destiné à redorer leur image, critiquent les tenants de cette école.

Le processus décisionnel au sein d'une entreprise obéit à deux modèles, le premier appelé « shareholders »¹³ qui favorise, comme son nom l'indique, la primauté des actionnaires au sein de l'entreprise. Comme ceux-ci possèdent le capital, ils sont les premiers concernés par le comportement de la firme. Ils détiennent le contrôle, en ce sens, il est facile pour eux de se retirer d'une entreprise qui n'agit pas selon leurs intérêts.

Le second modèle, dit « stakeholders »¹⁴, fut développé par Edward Freeman (1984). Les parties prenantes peuvent être identifiées, comme tout groupe ou individu affecté par les actions de l'entreprise. Cette théorie stipule que la société sortirait gagnante dans son ensemble, si la firme tenait compte des impacts de ses actions. La prise en compte et la consultation des parties prenantes devraient, selon Freeman, se faire de façon volontaire par la firme sans être le fruit d'une quelconque réglementation.

La crise de l'État-providence, conjuguée à la crise financière des années 80, provoqua une perte de légitimité de l'institution étatique, comme régulateur des normes sociales (Ballet et De Bry, 2001). Les mesures interventionnistes créèrent des déficits dans les pays industrialisés et furent interprétées par plusieurs comme un échec. On mit alors en place des politiques budgétaires et monétaires plus austères. Les vagues de privatisations¹⁵ et de déréglementation qui suivirent remirent l'entreprise au premier plan.

4. LES CODES DE CONDUITE ET D'ÉTHIQUE, UN ENJEU POUR LES MULTINATIONALES PÉTROLIÈRES

La notion de RSE englobe des termes comme « éthique des affaires », « entreprise durable » ou encore « entreprise citoyenne ». Mais l'expression « responsabilité sociale de l'entreprise », que l'on peut traduire littéralement de l'anglais « *corporate social responsibility* », reste cependant un concept appartenant à la « *soft law* »¹⁶ et qui repose avant tout sur une approche volontaire, a contrario de l'approche classique du droit, selon laquelle les règles sont juridiques lorsque leur inobservation engendre une sanction étatique (Aubert, 2004).

¹³ C'est-à-dire, l'actionnaire. Il n'a d'autres intérêts que de suivre uniquement la valeur du cours de l'action et des dividendes annuels.

¹⁴ Une partie prenante, stakeholder en anglais, peut être définie comme "un porteur d'intérêt", c'est-à-dire n'importe quel acteur qui a un intérêt et qui joue un rôle dans la conception stratégique et le modèle de gouvernance. La théorie des parties prenantes, stakeholder theory, propose une approche participative de la conception de la stratégie. Plutôt que de n'envisager la stratégie que dans la dimension unique de lutte contre la concurrence, la théorie des parties prenantes prône l'intégration de l'ensemble des partenaires à la démarche. C'est une conception fondée sur une négociation constructive où l'on s'arrange pour que chacune des parties prenantes trouve son intérêt à coopérer. C'est un modèle de gouvernance négocié et donc participatif.

Remarque : l'identification des parties prenantes et le dialogue avec celles-ci font l'objet de la cinquième partie de la norme ISO 26000 sur la responsabilité sociétale des organisations, parue en 2010.

¹⁵ Dans les pays occidentaux puis dans ceux de l'Est.

¹⁶ La notion de « *soft law* » est utilisée dans le sens de « normes », de « règles » ou de « droit » qui signifie « droit doux » : sans obligation, « droit mou » : sans sanction ou « droit souple » : les deux sens, sans obligation et/ou sans sanction. Cette notion est utilisée par opposition à « *hard law* » qui signifie « norme juridique sévère », « droit contraignant » ou « droit dur » qui se résume souvent aux sanctions.

La responsabilité sociale est fondée avant tout sur des initiatives personnelles et volontaires, et ne doit pas être vue comme contenant des principes non-négociables. On estime cependant que plusieurs raisons devraient pousser les entreprises à adopter des stratégies claires et précises. Il paraît d'évidence qu'avec des lignes directrices, les entreprises feraient preuve de plus de transparence et de visibilité pour les observateurs extérieurs ainsi que les parties prenantes.

L'OCDE a établi des principes directeurs¹⁷ sous forme de recommandations à l'intention des entreprises multinationales. Ces principes ont pour objectif de promouvoir le progrès économique, le bien être social et la protection de l'environnement, dans les pays d'implantation des firmes. En 2010, les gouvernements de 42 pays membres et non membres de l'OCDE ayant adhéré à la Déclaration sur l'investissement International, et les entreprises multinationales, ont procédé à une mise à jour des Principes directeurs, en tenant compte des évolutions du nouveau contexte de l'investissement international. Les recommandations ont trait à l'exigence de diffusion de l'information et à la transparence, au respect des droits de l'homme, à la protection de l'environnement et la lutte contre la corruption.

Les entreprises devraient publier des informations exactes sur leurs activités, leurs situations financières, leurs résultats, par branche d'activité ou zone géographique. La publication d'informations des entreprises devrait être adaptée, à leur taille et au lieu de leur implantation.

Les multinationales se doivent de respecter des droits de l'homme internationalement reconnus, ce qui signifie qu'elles se gardent de porter atteinte aux droits d'autrui et doivent parer aux incidences négatives sur les droits de l'homme. Prévenir et atténuer les incidences négatives sur les droits de l'homme, directement liées à leurs activités, leurs biens ou leurs services. La firme multinationale devrait contribuer à l'abolition du travail des enfants, ainsi qu'à toute forme de travail forcé. Ce faisant, elle devrait respecter le droit des travailleurs de constituer des syndicats et de s'y affilier.

Dans un objectif de protection de l'environnement, les entreprises devraient, dans le cadre des lois et règlements en vigueur dans les pays où elles opèrent, et eu égard aux accords, principes, objectifs et normes internationaux, tenir dûment compte de la nécessité de protéger l'environnement, la santé et la sécurité publique. Pour y parvenir, il serait nécessaire de mettre en place et d'appliquer un système de gestion environnementale. Ce dernier serait assorti d'objectifs mesurables, en cohérence avec les politiques nationales et les engagements internationaux pertinents.

La recommandation de l'OCDE en matière de lutte contre la corruption précise que les entreprises ne devraient pas, directement ou indirectement, offrir, promettre, accorder ou exiger des paiements illicites, ou d'autres avantages indus, en vue d'obtenir ou de conserver un marché ou un autre avantage illégitime. Les entreprises devraient également repousser toute sollicitation de pots-de-vin et autres formes d'extorsion.

Concernant les relations avec les consommateurs, les entreprises devraient se conformer à des pratiques commerciales loyales. Veiller à ce que les biens et les services qu'elles fournissent soient conformes à toutes les normes requises, en matière de santé et de sécurité des consommateurs, fournir des renseignements, vérifiables et clairs, sur les prix, le contenu, la sécurité d'utilisation, les effets sur l'environnement, l'entretien et le stockage. En définitive, l'entreprise devrait s'abstenir de toute affirmation, omission ou toute autre pratique qui soit trompeuse, fallacieuse, frauduleuse ou déloyale.

De nombreuses multinationales pétrolières se sont désormais engagées dans la voie de l'éthique. Si l'on prend l'exemple de Total, la démarche éthique de l'entreprise est clairement détaillée sur son site internet. Cela passe par la diffusion du Code éthique de l'entreprise. Total n'est pas la seule à agir ainsi. Parmi les plus grandes sociétés, Chevron s'est aussi engagée dans cette voie, disposant aussi d'un code de conduite détaillé, et incitant même les individus à dénoncer des comportements contraires. Certaines entreprises vont encore plus loin et disposent à la fois d'un Code de conduite et d'un Code d'éthique. C'est le cas notamment de Shell. Les principes généraux sont traduits dans 14 langues. Shell essaie par ailleurs d'influencer toutes les entreprises avec lesquelles elle sera susceptible de travailler.

Il convient de souligner la portée exacte de ces principes, parce qu'ils n'ont pas été adoptés sous une forme juridique contraignante, et que les États ou gouvernements n'en sont pas destinataires. Pour les entreprises multinationales, ils n'ont qu'une valeur de recommandations.

CONCLUSION

La revendication d'un contrôle accru des multinationales pétrolières faisait partie d'un mouvement tendant, à l'origine, à la mise en place d'un nouvel ordre économique international. Le débat sur la manière d'amener

¹⁷ OCDE, *Les principes directeurs de l'OCDE à l'intention des entreprises multinationales*, éd. OCDE, 2011. Consulté sur le lien suivant : <https://www.oecd.org/fr/daf/inv/mne/2011102-fr.pdf>

progressivement ces entreprises à rendre des comptes fut relancé dans les années 1990, lorsque de nombreuses voix se sont élevées pour dénoncer les abus tant au niveau des droits de l'homme que de l'environnement.

Malgré les évolutions économiques et politiques, certaines données relatives au pétrole restent inchangées. Ressource indispensable à la vie quotidienne des pays industrialisés, il est l'une des bases fondamentales de nombreuses politiques économiques. Même si certaines multinationales ont des liens étroits avec leur pays d'origine, elles ont encore souvent tendance à relativiser le respect des conventions internationales. Lorsqu'elles opèrent dans des pays où la notion de respect des droits de l'homme ne fait pas partie des préoccupations principales, les compagnies agissent en se basant sur les règles minimales propres à ces pays. Les États d'origine des compagnies pétrolières paraissent avoir délégué en grande partie aux ONG le soin de contrôler les agissements de ces entreprises.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT J.-L. (2004) *Introduction au droit et thèmes fondamentaux du droit civil*, Paris, A. Colin, (10^e éd.), 384 p.
- BALLET J., DE BRY F. (2001) *L'entreprise et l'éthique*, Paris, éd. Seuil, 431 p.
- DION M. (2007) *L'éthique de l'entreprise*, Anjou, Canada, éd. Fides, 456 p.
- FREEMAN R. E. (1984) *Strategic Management: A Stakeholder Approach*, Pitman, Boston, 292 p.
- TRÉBULLE F. G., UZAN O. (2011) *Responsabilité sociale des entreprises. Regards croisés Droit et Gestion*, Paris, éd. Economica, 530 p.
- KELSEN H. (1962) *Théorie pure du droit*, Paris, éd. Dalloz, Charles Eisenmann (Traduction), 496 p.
- PESTRE F. (2013) *La responsabilité sociale des entreprises multinationales. Stratégies et mise en œuvre*, Paris, éd. L'Harmattan, 374 p.
- ASGARY N., MITSCHOW M. C. (2002) *Toward a model for international business ethics*, *Journal of Business Ethics*, 239-246.
- OCDE (2011) *Les principes directeurs de l'OCDE à l'intention des entreprises multinationales*, éd. OCDE.

La fusion nucléaire : une future révolution énergétique dans le cadre de la transition écologique ?

Jacques POIROT¹

La fusion nucléaire, connue surtout grâce au projet international ITER (*International thermonuclear experimental reactor* ou *Réacteur thermonucléaire expérimental international*), consiste à faire fusionner deux noyaux d'atomes afin de créer de la chaleur, récupérable pour produire de l'électricité en grande quantité². La fusion nucléaire ne doit pas être confondue avec la fission nucléaire mise en œuvre dans les centrales nucléaires actuelles. Cette fusion nucléaire présente par rapport à la fission nucléaire de nombreux avantages, dont les deux plus importants sont, d'une part, de ne faire apparaître aucun déchet radioactif de haute activité à vie longue, à l'issue du processus de production d'électricité et, d'autre part, d'éliminer *de facto* tout risque majeur d'explosion de la centrale, comme cela a été le cas pour les centrales de Tchernobyl ou de Fukushima (Mackay, 2011, 190).

Nous analyserons, dans une première partie, le développement et les perspectives de mise en œuvre de la fusion nucléaire ; ces recherches sont menées actuellement, non seulement dans le cadre du projet international ITER, mais encore au niveau de nombreuses institutions publiques et privées, et notamment par certains « géants du numérique ». Nous nous demanderons, dans une seconde partie, quelles seraient les conséquences économiques, sociales et environnementales de la production d'énergie par fusion nucléaire

1. RECHERCHE ET PERSPECTIVES DE LA MISE EN ŒUVRE DE LA FUSION NUCLÉAIRE

Seront successivement examinés le projet mondial ITER soutenu et financé par de nombreux États et les autres projets, mobilisant moins de ressources financières ou humaines mais dont les chances d'aboutir à la mise au point d'un processus de production d'électricité ne sont pas négligeables pour autant.

1.1 *Le projet mondial ITER*

Le projet ITER est un projet mondial qui mobilise d'importantes ressources financières mais dont les retombées économiques, pour tous les États participants, sont virtuellement très fortes. Le projet ITER comporte deux grandes étapes : il s'agit tout d'abord de montrer qu'il est possible de créer et de maîtriser un processus de fusion nucléaire et, dans une seconde étape, de démontrer qu'il est techniquement possible de produire de façon économiquement acceptable de grandes quantités d'électricité.

¹ BETA-CNRS Nancy, Université de Lorraine. jacques.poirot2@wanadoo.fr

² Dans le cas du projet ITER, comme nous le verrons infra, il s'agit de deux atomes isotopes d'hydrogène : le deutérium et le tritium.

1.1.1 Les États participants au projet ITER

L'idée de lancer un programme international pour la maîtrise de la fusion nucléaire en vue de produire à terme de l'électricité est relativement ancienne. L'initiative de ce projet en revient à la Russie, pays dans lequel des travaux avaient été déjà engagés sur ce sujet. Dès 1985, Mikhaïl Gorbatchev avait présenté ce projet à François Mitterrand, lors de sa première visite en France et, en novembre 1985, avait convaincu Ronald Reagan de participer à un programme international pour construire une première génération de centrales à fusion. À la suite de ces concertations, les États-Unis, l'Europe, en association avec le Canada, et le Japon décident de lancer, en octobre 1986, avec l'Union soviétique, le programme ITER.

En avril 1988 commence une « phase de conception » (*Conceptual design activities* ou CDA), au cours de laquelle il avait été prévu d'établir une première synthèse des résultats déjà obtenus par les différents programmes sur ce sujet. Après cette première synthèse, achevée en 1990, les quatre membres s'engagent, avec un nouvel accord, en juillet 1992, dans une phase d'ingénierie (*Engineering design activity* ou EDA) qui durera 6 ans et qui s'achèvera, comme prévu, fin 1998.

À la suite de cette première synthèse, les États-Unis décident de se retirer du projet ITER, qu'ils considèrent comme incertain et trop coûteux. Les participants à ce projet sont alors amenés à revoir « à la baisse » les objectifs initiaux du projet ITER (2^{ème} phase de EDA) ; il a été nécessaire de tenir compte, en effet, de la réduction des financements provoquée par le retrait américain. Cette restructuration du projet ITER sera terminée en juillet 2001.

En 2003, le projet ITER, compte tenu sans doute de ses perspectives, semble alors intéresser ou « ré-intéresser » de nouveaux États : en janvier, la Chine rejoint le projet ITER, en février de cette même année, c'est le retour des États-Unis et, en juin, la participation de la Corée du Sud à ce projet. En 2005, c'est au tour de l'Inde de se joindre au projet ITER.

Quatre pays avaient posé leur candidature pour recevoir le site du projet ITER : la France avec le site de Cadarache, dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur ; le Canada, avec le site Clarington, en Ontario ; le Japon avec le site de Rokkasho, au nord de l'île Honshu ; l'Espagne avec le site de Vandellòs.

Après de nombreuses tergiversations, l'accord final sera signé à Paris, au Palais de l'Élysée, le 21 novembre 2006 par les représentants de la Chine, de la Corée du Sud, des États-Unis, de l'Inde, du Japon, de la Russie et de l'Union européenne. Une structure juridique est créée pour une *ITER organization*, avec un conseil des gouverneurs, qui tiendra sa première réunion, le jour même de la signature de l'accord, au Centre de conférences internationales à Paris. C'est le site de Cadarache qui a été retenu en définitive pour la construction du réacteur expérimental.

Il a été prévu, lors de la signature de cet accord, que l'Europe assumerait 45,6% des dépenses et chacun des six autres partenaires 9,1% pour une facture totale évaluée alors à 10 milliards d'euros (4,6 milliards pour la construction; 4,8 milliards pour l'exploitation; 0,5 milliard pour le démantèlement). Il est à noter que la contribution des membres est faite principalement « en nature », sous forme de fournitures, pièces et systèmes divers. En retour, les États-membres de ITER partageront les résultats expérimentaux ainsi que « toute propriété intellectuelle générée par la phase d'exploitation, prévue de 2022 à 2042 ».

Les membres du programme international ITER ont créé, chacun à leur niveau, une agence qui assure « l'interface entre les gouvernements nationaux et *ITER Organization*. Ces agences disposent, chacune, de leur propre personnel, de leur propre budget, et elles passent des contrats directement avec les entreprises industrielles. *ITER Organization* a également conclu deux accords de coopération technique avec des pays non-membres, l'Australie en 2016 (par l'intermédiaire de l'agence australienne pour la science et la technologie ANSTO) et le Kazakhstan en 2017 (par l'intermédiaire du centre nucléaire national du Kazakhstan). Le projet ITER est véritablement un grand projet international : les pays-membres d'*ITER Organization* sont issus de trois continents différents et représentent plus de la moitié de la population mondiale ainsi que 85 % environ du PIB mondial.

1.1.2 La première étape du projet international : montrer la possibilité d'utiliser la fusion nucléaire pour produire de la chaleur et par conséquent de l'électricité

La fusion retenue avec le programme ITER est la fusion des noyaux de deux isotopes³ de l'hydrogène : le deutérium et le tritium au sein d'un plasma contenant ces deux isotopes. Le plasma est obtenu à partir d'un gaz soumis à des températures très élevées, si bien que les électrons qui entourent les noyaux des atomes se détachent de ces derniers. Au lieu d'être composé d'atomes « classiques » noyaux entourés d'électrons, le plasma, (un 4^{ème} état de la matière) est un gaz contenant des noyaux d'atomes et des

³ Les noyaux de deux isotopes ont le même nombre de protons, mais un nombre différent de neutrons.

électrons indépendants. Le plasma constitue l'environnement dans lequel des noyaux peuvent fusionner et générer de l'énergie.

Trois conditions doivent être remplies pour qu'il soit possible de faire apparaître ainsi des fusions entre noyaux de deutérium et noyaux de tritium au sein de ce plasma : une température très élevée (se traduisant par une forte agitation des éléments composant ce plasma) afin de provoquer des collisions fortement « énergétiques » entre leurs éléments, une densité suffisamment forte des particules constituant ce plasma afin d'augmenter la probabilité de collisions entre particules et un temps de confinement suffisant du plasma pour faire apparaître des réactions résultant de ces collisions.

Pour confiner le plasma, c'est-à-dire pour empêcher ce plasma de se dilater, il doit être placé dans un espace donné ; avec le projet ITER, ce confinement se fait au sein d'un *tokamak*⁴, machine qui utilise des champs magnétiques puissants pour retenir les noyaux de deutérium et de tritium (chargés positivement) et au sein de laquelle s'effectuent les collisions entre noyaux de deutérium et de tritium.

La réaction de fusion nucléaire résulte de la collision brutale entre un noyau de deutérium et un noyau de tritium faisant apparaître un noyau d'hélium et un neutron indépendant, ainsi que de l'énergie. Le noyau d'hélium est porteur d'une charge électrique. Il sera donc soumis aux champs magnétiques du tokamak et restera ainsi « confiné » dans le plasma. On estime que 80% environ de l'énergie produite sera, par ailleurs, « emportée » hors du plasma par le neutron éjecté lors de la réaction de fusion, qui, n'étant pas chargé électriquement, demeurera insensible aux champs magnétiques. Ces neutrons, éjectés par les réactions de fusion entre les noyaux de deutérium et de tritium, seront absorbés par les parois du tokamak. 80% de l'énergie produite ainsi par la réaction de fusion sera transférée à ces parois sous forme de chaleur. Cette chaleur serait théoriquement récupérable pour produire de l'électricité, comme cela est le cas dans les centrales thermiques classiques fonctionnant au charbon ou au gaz. Avec le projet ITER, cette chaleur sera évacuée par des tours de refroidissement.

L'objectif final du projet ITER (première phase) n'est pas, en effet, de produire de l'électricité, mais de démontrer simplement que la quantité d'énergie utilisée pour obtenir les réactions de fusion est sensiblement inférieure à la quantité d'énergie qui apparaît sous forme de chaleur. Le réacteur expérimental de grande taille, selon les prévisions qui ont été faites, devrait être en mesure de produire un premier plasma en 2025.

Signalons qu'il est prévu ensuite, dans une deuxième phase de ce projet, de produire, en 2035, 10 fois plus d'énergie que le réacteur n'en requiert pour son fonctionnement. Ce ratio entre énergie produite et énergie consommée devrait s'élever à 30 voire à 40 d'ici à 2050.

La capacité des réactions de fusion à produire de l'énergie serait très supérieure à celle de toutes les autres sources d'énergies utilisées actuellement. À masse égale, la fusion d'atomes fait apparaître quatre millions de fois plus d'énergie que les réactions chimiques classiques comme la combustion de pétrole ou de gaz naturel et quatre fois plus d'énergie que les réactions de fission nucléaire, mise en œuvre dans les centrales nucléaires actuelles.

1.1.3 La deuxième étape du projet international : conception d'un réacteur de démonstration « DEMO »

L'expérience acquise avec ITER devrait déboucher sur la conception d'un réacteur de démonstration DEMO, producteur d'électricité. Mais comme le souligne le site d'ITER, il est trop tôt pour dire si DEMO sera le « fruit d'une collaboration internationale comme ITER ou s'il procédera de choix nationaux ». L'exploitation de ou des réacteurs DEMO, selon les cas, devrait commencer, d'après les prévisions des responsables d'ITER, au début des années 2030. La commercialisation d'électricité issue de la fusion nucléaire est prévue à l'horizon 2040 (ITER, 2019).

L'objectif de cette phase « DEMO » serait de fournir au réseau, pour la première fois, une électricité produite par une « machine de fusion nucléaire » en obtenant un rapport de « puissance générée/puissance injectée » de 30 à 50 (plus importante que celle du réacteur d'ITER qui ne pourrait guère dépasser 10), ainsi que la production de tritium dans le cadre du processus de production.

Il a été prévu également, dans le cadre du projet ITER comme dans celui de DEMO de poursuivre des recherches sur les « matériaux avancés indispensables à la construction d'une centrale de fusion industrielle », sur l'autosuffisance en tritium et sur l'évacuation de la chaleur⁵.

Des projets seront menés en parallèle avec la construction du réacteur d'ITER et durant la phase de conception de DEMO. Le but serait de développer des matériaux avancés, d'assurer une autosuffisance en

⁴ tokamak, acronyme russe de toroidalnaïa kamera s magnitnymi katushkami (en français : chambre toroïdale avec bobines magnétiques).

⁵ Ce point sera précisé dans le paragraphe suivant.

tritium et d'évacuer la chaleur. Le programme de *l'International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF)* est ainsi en cours au Japon dans le cadre d'une collaboration avec l'Europe. L'objectif est de créer des matériaux « avancés » indispensables à la construction d'une centrale de fusion industrielle (Sacco, 2018).

1.2 Les autres projets de production d'électricité par fusion nucléaire dans le monde

De nombreux acteurs, qu'il s'agisse de startup comme General Fusion, Helion Energy ou Tri-Alpha Energie, d'entreprises comme Martin Lockheed, une entreprise américaine dans le domaine de la défense et de l'aérospatial américain, ou d'instituts de recherche, comme l'Institut Max-Planck de Physique des Plasmas ou le Massachusetts Institute of Technology (MIT), se sont engagés dans le domaine de la fusion nucléaire (Dupin, 2016, 2017). Ces recherches seraient, sans aucun doute, susceptibles de déboucher sur la mise au point de réacteurs à fusion nucléaire, capables d'avoir des performances identiques sinon meilleures que les réacteurs des projets ITER ou DEMO. Sans prétendre à l'exhaustivité, nous avons retenu quelques exemples parmi trois grandes catégories d'acteurs : startups, entreprises et instituts de recherche.

1.2.1 Startups

Deux startups sembleraient avoir des perspectives de réussite dans leurs projets de fusion nucléaire : General fusion et Tri-Alpha Energy.

a) General Fusion

General Fusion est une startup financée, entre autres, par *Bezos Expeditions*, *Cenovus*, le Fonds souverain de Malaisie... Jeff Bezos, le PDG d'Amazon, a apporté par l'intermédiaire de son fonds d'investissement *Bezos Expeditions* plus de 20 millions de dollars à General Fusion.

L'entreprise est implantée à Burnaby près de Vancouver, au Canada ; techniquement, la technologie mobilisée par *Général Fusion* peut être considérée comme « la plus simple » de toutes celles qui sont actuellement mobilisées. General Fusion a repris un modèle de fusion testé dans les années 1970 : la fusion par confinement inertiel. Le principe est le suivant : il s'agit de produire des réactions de fusion à partir d'un mélange de deutérium et de tritium, contenu dans une microbille. À cet effet, le mélange, chauffé à une température de 100 millions de degrés, est comprimé à l'aide d'un laser pour obtenir une densité de l'ordre de quelques centaines de grammes par centimètre cube⁶. Comme les lasers sont coûteux, General Fusion les a remplacés par des pistons à vapeur, plus robustes et moins coûteux que le système à laser. Un premier réacteur expérimental pourrait, selon les responsables, être mis en fonction dès 2025.

b) Tri Alpha Energy

Cette startup américaine est financée par des investisseurs importants, notamment par Goldman Sachs, Vulcan Capital, Venrock... Paul Allen, le cofondateur de Microsoft et créateur du fonds Vulcan Capital, finance les recherches de Tri Alpha Energy à hauteur de 40 millions de dollars.

Tri Alpha Energy s'est fait connaître à la fin de l'année 2015 en maintenant un plasma de 10 millions de degrés Celsius pendant cinq millisecondes. Une prouesse que l'on pensait réservée aux grands instituts de recherche et non à une petite start-up.

L'objectif de Tri Alpha Energy est de réaliser, à la différence du projet ITER, une fusion sans production de neutrons ; ces neutrons seraient susceptibles d'endommager, en effet, les réacteurs. Cette fusion nécessite, cependant, des températures très élevées de l'ordre de 300 millions de degrés Celsius, une température deux fois plus élevée que pour les fusions traditionnelles.

1.2.2 Une entreprise industrielle : Lockheed Martin

Lockheed Martin, un très important conglomérat de défense et d'aérospatial américain et un des plus importants vendeurs d'armes dans le monde, avait annoncé son projet d'investir dans la fusion nucléaire et de mettre en service un réacteur nucléaire à fusion dès 2020. La multinationale américaine avait assuré que son réacteur serait de taille suffisamment réduite pour être transporté sur un camion. Son réacteur permettrait d'alimenter en électricité des villes ou de propulser navires, avions et navettes spatiales. La multinationale n'aurait donné aucune indication sur le type de réaction utilisée ou sur le mode de fonctionnement de son réacteur nucléaire.

⁶ <http://www-lmj.cea.fr/fr/experiences/index.htm>

1.2.3 Instituts de recherche

Deux importants instituts de recherche, L'Institut Max-Planck de Physique des Plasmas et le Massachusetts Institute of Technology (MIT) ont engagé des recherches sur la fusion nucléaire.

a) L'Institut Max-Planck de Physique des Plasmas

Cet institut situé à Greifswald (Allemagne) a inauguré en 2015 le Wendelstein 7-X (W7X), un réacteur expérimental qui a coûté 1,1 milliard d'euros. En décembre 2015, un plasma d'un million de degrés a pu être confiné pendant un centième de seconde. Le W7X est un stellarator, un modèle concurrent du tokamak utilisé, notamment, par ITER. Sa principale différence avec le tokamak d'ITER est le « positionnement extrêmement complexe des bobines » pour créer le champ magnétique. Le plasma produit est confiné par un champ magnétique hélicoïdal généré par trois bobines alimentées, situées autour du tore (bobines poloïdales)⁷. W7-X n'a pas vocation à produire de l'énergie, mais à évaluer la meilleure manière de confiner le plasma combinant stabilité et efficacité ; ses résultats serviront ensuite à l'élaboration d'un réacteur nucléaire de production d'énergie. Après sa mise en service en 2015, le W7X a battu de nouveaux records dans le domaine du confinement, concernant la température, la densité et la durée de confinement du plasma.

b) Massachusetts Institute of Technology (MIT)

Le MIT, après avoir utilisé comme réacteur le tokamak *Alcator C-MOD*, a comme projet de mettre en œuvre pour 2025 un réacteur à fusion : ARC (*affordable, robust, compact*, abordable, robuste et compact), financé par le Département de l'Énergie des États-Unis. Il est comparable à celui du projet ITER, mais il devrait, à la différence d'ITER, utiliser des matériaux supraconducteurs de nouvelles générations, baptisés Rebcu (*rare earth barium copper oxide*). Ce réacteur serait plus petit mais plus puissant que celui d'ITER. Des observateurs européens estiment, cependant, qu'il sera nécessaire de travailler au moins 30 ans sur ces nouveaux matériaux supraconducteurs.

2. CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES, SOCIALES ET ENVIRONNEMENTALES DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE PAR FUSION NUCLÉAIRE

Nous soulignerons tout d'abord les avantages de la mise en œuvre de la fusion nucléaire par rapport aux autres modes de production d'électricité, notamment la fission nucléaire des centrales nucléaires actuelles. Nous montrerons ensuite que la production d'énergie par fusion nucléaire, en entraînant la « disparition des énergies fossiles », le pétrole, le charbon et le gaz, favoriserait l'apparition d'un nouvel ordre économique mondial. Nous rechercherons, enfin, comment cette production d'énergie par fusion nucléaire provoquerait, sans doute inéluctablement une restructuration de nombre d'activités économiques et remettrait en cause, totalement ou partiellement, le développement des énergies renouvelables actuelles.

2.1 Avantages apportées par la fusion nucléaire dans la production d'énergie

Nous analyserons les avantages de la fusion nucléaire successivement par rapport aux autres sources d'énergie ainsi que les avantages spécifiques de la fusion nucléaire par rapport à la fission nucléaire mise en œuvre dans les centrales nucléaires actuelles.

2.1.1 Avantages de la fusion nucléaire par rapport aux autres sources d'énergie

La fusion nucléaire serait une source d'énergie abondante, pérenne, sans émission de CO₂, et d'un coût relativement réduit par rapport aux autres sources d'énergie.

⁷ Contrairement au stellarator, le tokamak utilise le champ électromagnétique toroïdal créé par le plasma, alimenté par un courant très important. Lorsque l'injection est faite, l'énergie générée est extrêmement élevée. Cependant, un tel processus présente des instabilités du plasma qui nécessitent une alimentation cyclique. À l'opposé, grâce à ses bobines poloïdales, le stellarator bénéficie d'une plus grande stabilité et d'un meilleur contrôle du plasma (Julian, 2018).

a) Une source d'énergie aisément abondante

Le nombre de centrales nucléaires à fusion peut être aisément accru sans difficulté majeure pour accroître la production d'énergie et s'adapter à la forte croissance de la demande, qui semble inéluctable dans les prochaines décennies. Ce n'est pas le cas pour les autres sources d'énergies, notamment pour nombre d'énergies renouvelables. Les éoliennes, par exemple, doivent être placées dans les zones venteuses et éloignées, le plus possible des habitations, à cause du bruit qu'elles engendrent. L'espace est également relativement limité pour l'installation des centrales solaires photovoltaïques. Les toits des bâtiments ne sont pas tous utilisables et, si on voulait développer cette source d'énergie sur une très grande échelle, la création de parcs photovoltaïques utilisant de grandes surfaces pourrait entrer en conflit avec d'autres usages des terrains ou espaces disponibles. Par ailleurs les installations nécessaires pour la fusion nucléaire pourraient être construites relativement aisément sur tout le territoire, sans mobiliser nécessairement d'espaces très importants, par rapport à l'exploitation des autres sources d'énergie. Comme cela a été précisé précédemment, à masse égale, la fusion d'atomes légers libère une énergie près de quatre millions de fois supérieure à celle d'une réaction chimique comme la combustion du charbon, du pétrole ou du gaz, et quatre fois supérieure à celle des réactions de fission nucléaire.

b) Une source d'énergie pérenne

Les « combustibles » nécessaires à la fusion nucléaire sont disponibles aisément et en très grandes quantités. Si on se réfère à la fusion mise en œuvre dans le réacteur ITER, les besoins en combustibles portent sur le deutérium, le tritium et le lithium. Le deutérium et le tritium sont les deux « combustibles » pour la réaction de fusion nucléaire. Pour obtenir le deutérium, il suffit de distiller de l'eau, qu'il s'agisse de l'eau douce des lacs ou de l'eau de mer. On considère que cette ressource est très abondante et quasi-inépuisable. Chaque mètre-cube d'eau de mer contient 33 grammes de deutérium, que l'on extrait déjà actuellement à des fins scientifiques et industrielles. Le tritium, isotope radioactif de l'hydrogène, dont la désintégration est rapide, n'existe, quant à lui, qu'à l'état de « traces » dans la nature. Mais, comme le tritium apparaît lors de l'interaction d'un neutron et d'un atome de lithium, il pourra être produit, tout simplement, pendant la réaction de fusion. Il suffira de permettre aux neutrons issus de la fusion des noyaux d'interagir avec le lithium de modules placés dans la chambre à vide du réacteur. Ce lithium, quant à lui, dont on aura besoin pour produire le tritium au cours de la fusion nucléaire, est un métal léger, présent en abondance dans la croûte terrestre (Hache, 2018). Les ressources prouvées, faciles à extraire, constitueraient un stock suffisant pour alimenter les centrales de fusion pendant plus de 1 000 ans ! Le lithium peut également être retiré de l'eau de mer ; il permettrait, selon le site d'ITER, de couvrir les besoins en énergie de la planète pendant 6 millions d'années⁸. Le site d'ITER rappelle que de très faibles quantités de deutérium et de tritium suffisent à « alimenter la réaction de fusion (à l'intérieur de la chambre à vide, la quantité de combustible dans le plasma ne dépasse jamais quelques grammes). La fusion, c'est donc une réaction qui est très économe en combustible »

c) Aucune émission de CO₂

À la différence des énergies fossiles, la fusion nucléaire, comme d'ailleurs la fission nucléaire, n'entraîne aucune émission de CO₂. Dans le cadre de la lutte contre le changement climatique accentué par les émissions humaines de CO₂, l'emploi de l'énergie nucléaire présente, à ce niveau, un avantage incontestable par rapport aux énergies fossiles.

d) La fusion nucléaire : une énergie bon marché

Selon le site de ITER, la quantité d'énergie produite par un réacteur de fusion nucléaire, à caractère industriel, devrait, dans la seconde moitié du XXI^e siècle, être peu différente de celle d'une réaction à fission (entre 1 et 1,7 gigawatts). Le coût moyen par kilowatt d'électricité devrait, dans ces conditions, être voisin de celui de la fission nucléaire actuelle, pour diminuer par la suite, grâce aux économies d'échelle. On peut s'attendre aussi à ce que ces économies d'échelle soient favorisées par une forte croissance de la demande d'énergie qui semble inéluctable.

2.1.2 *Avantages spécifiques de la fusion nucléaire par rapport à la fission nucléaire*

Cette technologie présente trois avantages majeurs par rapport à la fission nucléaire : il n'apparaît aucun déchet radioactif de longue durée de vie, aucun risque de fusion et d'explosion du cœur du réacteur et aucun risque de prolifération d'armement nucléaire.

⁸ Se reporter à la page du site de ITER : <https://www.iter.org/fr/sci/fusionfuels>

a) Aucun risque direct de prolifération d'armement nucléaire

La fusion n'utilise pas de matières fissiles comme l'uranium et le plutonium susceptibles d'être détournés pour fabriquer des armes nucléaires. Toutefois, le principal usage du tritium produit actuellement dans le monde est de permettre la réalisation de bombes thermonucléaires (Bombes H) ou de bombes à neutrons. Une réaction de fusion entre deutérium et tritium permet de « doper » les bombes H. Les bombes à neutrons, qui sont des armes pour le champ de bataille sont fondées sur une fusion deutérium-tritium.

On peut imaginer qu'une partie du tritium « fabriquée » comme nous l'avons précisé précédemment à partir de lithium à l'issue des réactions de fusion puisse être frauduleusement détournée. Des pays prétextant le développement de la recherche sur la fusion pourraient avoir accès à des quantités importantes de tritium. Des groupes terroristes pourraient même se procurer de faibles quantités de tritium pour augmenter considérablement les effets d'une bombe atomique artisanale.

Des précautions pourraient cependant être aisément prises pour éviter ce type de dérapages ; si bien qu'on peut considérer que la fusion nucléaire ne faciliterait pas véritablement, comme cela peut être le cas pour la fission nucléaire, le développement dans certains pays d'un arsenal nucléaire.

b) Aucun déchet radioactif de longue durée de vie

La mise en œuvre de la fusion nucléaire n'entraîne pas, comme cela est le cas pour la fusion nucléaire, de déchets radioactifs ayant une longue durée de vie.

c) Aucun risque d'explosion du cœur du réacteur

La perte de contrôle d'un réacteur de fusion nucléaire ne peut pas entraîner, comme un réacteur de fission nucléaire, l'explosion du cœur de ce réacteur, susceptible d'entraîner une forte contamination de l'environnement comme cela a été le cas lors des accidents nucléaires de Tchernobyl et de Fukushima.

Les réacteurs de fusion nucléaire devront toutefois être gérés avec prudence. Certains éléments du système de production pourraient devenir radioactifs. Avec le tokamak de ITER, comme le souligne Pierre Péguin, dans l'appel de Genève (APAG2)⁹, les neutrons de très haute énergie qui iront bombarder la paroi de l'enceinte de confinement risquent fort de la détériorer et de la rendre radioactive ». Un risque d'accident ne peut pas être écarté avec les réacteurs de fusion. Selon Pierre Péguin, le réacteur expérimental d'ITER « ne peut échapper à des phénomènes d'instabilité appelés disruptions, véritables coups de foudre détruisant la structure, perforant la paroi, endommageant gravement la machine et libérant le tritium dans l'environnement ». Le tritium est considéré comme une matière faiblement radioactive, ne présentant presque aucun danger pour les individus en cas d'exposition externe. Cependant, lorsque le tritium pénètre dans un organisme vivant, il devient un dangereux agent perturbateur de l'ADN des cellules comme le rappelle Pierre Péguin¹⁰. Toutefois des progrès, visant à contrôler le plasma et, par conséquent, qui permettraient d'éviter de brutales disruptions, ont été récemment réalisés. Les physiciens Dennis Whyte et Robert Granetz du MIT ont découvert la méthode suivante : « en injectant de l'argon et du néon au moment où une instabilité est détectée, l'énergie du plasma devrait être brutalement convertie en un flash de lumière qui, bien que très intense, ne produirait, lui, aucun dégât. Dans le cas d'ITER, le flash produit devrait atteindre mille milliards de watts, la puissance électrique des États-Unis ! »¹¹

2.2 *La fin du pétrole, du charbon et du gaz : vers un nouvel ordre économique mondial*

La généralisation de la fusion nucléaire dans le monde, mettant à la disposition de tous une source d'énergie inépuisable, serait susceptible de modifier les rapports de force actuels entre les États. Même si on peut imaginer que l'exploitation du gaz puisse perdurer encore un certain temps à la suite de la généralisation de la mise en œuvre de la fusion nucléaire, le recours aux autres énergies fossiles, le pétrole et le charbon, devrait disparaître rapidement, notamment dans le cadre de la lutte contre les rejets de gaz à effet de serre.

Les États, détenteurs, sur leur territoire de réserves de gaz et/ou de pétrole, perdraient sans doute une partie de leur influence dans le monde, qu'il s'agisse des États-Unis, premier exportateur mondial de

⁹ <https://apag2.wordpress.com/2018/08/02/iter-tritium-danger-%e2%80%a8larnaque-mortifere-du-lobby-du-nucleaire/>

¹⁰ On peut se reporter au Livre Blanc sur le Tritium, mis à jour en 2018, à propos des risques du Tritium.

¹¹ <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/physique-fusion-thermonucleaire-nouvelle-decouverte-controller-disruptions-iter-17551/>

pétrole depuis l'exploitation sur leur sol des schistes bitumineux, ou des pays traditionnellement producteurs et exportateurs de pétrole comme l'Arabie Saoudite ou les pays du Golfe¹².

La détention de lithium, ressource indispensable dans le processus de la fusion nucléaire et la fabrication de batteries, pourrait-elle donner aux pays producteurs le même pouvoir ou la même influence qu'à certains pays producteurs de pétrole ou de gaz actuellement ? Le lithium est une matière abondante sur Terre ; cependant, comme le précise Fournier (2017), du fait de ses qualités chimiques et physiques particulières, il n'est souvent pas présent sous des formes (économiquement) exploitables. Le lithium « exploitable » actuellement se trouve dans des roches, des argiles ou des saumures. Les réserves recensées les plus importantes sont au Chili (8 millions de tonnes, en Australie (2,7 millions de tonnes), Argentine (2 millions de tonnes), Chine (1 million de tonnes). Cependant, on peut s'attendre, compte tenu de la fréquence du lithium dans la croûte terrestre, à ce que les réserves connues augmentent constamment et surtout concernent un nombre croissant de pays dans le monde. Ainsi, en septembre 2019, a été découvert au Portugal « le plus important gisement de lithium d'Europe ». La société exploitante estime que les réserves en lithium seraient de 36 millions de tonnes. Le coût d'exploitation serait néanmoins 2,5 fois plus élevé que pour le lithium extrait des saumures chiliennes¹³.

On peut ainsi constater que le lithium serait assez largement disponible dans nombre de pays du monde ou d'unions régionales, notamment en Europe. Il est probable qu'à mesure que l'intérêt pour le lithium augmente, de nouveaux gisements exploitables soient découverts, empêchant ou, tout au moins, limitant fortement la formation de cartels mondiaux de lithium, comme cela a pu être le cas pour le gaz et le pétrole. Si l'électricité était, pour une grande part, produite par fusion nucléaire, le besoin en lithium serait moins important que si cette production reposait sur les énergies renouvelables. En effet, le recours à ces énergies renouvelables comme le solaire par exemple, oblige à « stocker », principalement dans des batteries¹⁴, l'électricité produite au cours de la journée par les cellules photovoltaïques. Le recours à un emploi, pouvant être important de batteries, est alors inéluctable. La création de nouvelles modalités de transports pourraient aussi réduire l'usage des batteries et par conséquent le besoin en lithium.

2.3 *Transformation du système productif*

Le lancement de la production d'énergie, sous forme d'électricité, grâce à la fusion nucléaire, pourrait constituer pour le système économique une véritable « bifurcation » ; cette dernière est définie comme un changement majeur dans l'organisation d'un système et de son mode fonctionnement à la suite de la modification, parfois mineure, d'un seul de ses éléments ; dans notre cas, il s'agit du mode de production de l'énergie : la production d'électricité par fusion nucléaire étant susceptible de se substituer progressivement aux autres modes de production d'énergie. Des secteurs d'activité peuvent être victimes de « disruption », qu'on peut définir comme le bouleversement d'un marché sur lequel les acteurs adoptent des stratégies nouvelles. On peut considérer aussi que l'introduction de la production d'électricité par fusion nucléaire serait à l'origine, sur de nombreux marchés, dans l'optique de Schumpeter, d'un processus de « destruction créatrice ».

Seraient sans doute très fortement transformés tout d'abord, dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, tous les systèmes de production et de consommation responsables des émissions de gaz à effet de serre ; quel serait, par ailleurs, la place qui serait susceptible d'être laissée aux énergies renouvelables ? Quels seraient, enfin, l'incidence, sur les autres secteurs d'activité, du développement d'une énergie relativement peu coûteuse, comme celle qui serait issue de la fusion nucléaire ?

2.3.1 *Transformation des principaux systèmes productifs de services, responsables des émissions de gaz à effet de serre et de produits polluants*

Dans le cadre de la lutte contre le changement climatique et contre les pollutions, les systèmes de transports et de chauffage connaîtraient, sans doute, de profondes transformations.

Dans le domaine des transports, les véhicules seront, sans doute, munis de moteurs électriques alimentés par des batteries¹⁵. Des infrastructures adéquates devraient sans doute être créées dans le cadre de ce

¹² Aux États-Unis, cependant, en 2019, les entreprises opérant dans l'exploitation des schistes bitumineux ont un taux d'endettement très élevé ou bien ont émis un nombre considérable d'actions pour financer leurs investissements très importants dans ce domaine.

¹³ <https://www.novethic.fr/actualite/energie/transition-energetique/isr-rse/l-europe-possede-aussi-de-grandes-reserves-de-lithium-et-c-est-le-portugal-qui-a-la-main-dessus-146320.html>

¹⁴ On peut aussi « remonter » l'eau des barrages hydrauliques en utilisant l'énergie produite au cours de la journée.

¹⁵ Un système de piles à combustibles à hydrogène n'est toutefois pas à exclure.

passage au tout électrique dans le domaine des transports. Devant faire face à la nécessité de recharger les batteries, il conviendrait d'installer, pour les recharger, de nouveaux emplacements suffisamment nombreux pour ne pas entraver les déplacements. On pourrait imaginer aussi des « stations-services » d'un nouveau type permettant aux usagers de procéder à un changement direct de leurs batteries ; ce qui impliquerait une « standardisation » des batteries et de leur installation dans les véhicules, permettant un changement rapide et si possible automatique... On pourrait aussi imaginer une alimentation directe en électricité des véhicules se déplaçant sur les autoroutes ou sur les voies rapides, le recours aux batteries ne serait nécessaire que sur les voies secondaires. Les pouvoirs publics auraient, sans aucun doute, un rôle essentiel à jouer dans cette nouvelle organisation des transports « électriques » en imposant des normes communes et en veillant au développement de nouvelles infrastructures.

Dans l'hypothèse d'une production d'électricité abondante et peu coûteuse, il est fort probable que les systèmes de chauffage des immeubles deviennent tous « électriques ». Le recours aux énergies fossiles, et même au bois, serait sans doute interdit. Ces combustibles rejettent du CO₂ ainsi que de nombreuses particules toxiques, comme c'est le cas, notamment, pour le chauffage au bois¹⁶ (en l'absence naturellement de filtres). Par ailleurs, on peut supposer que, dans le cas d'une production d'électricité abondante et peu coûteuse, tous les moteurs thermiques seraient abandonnés, qu'il s'agisse des engins de chantier ou des systèmes de production au sein des ateliers.

2.3.2 *L'avenir des énergies renouvelables*

Quel serait l'avenir des énergies renouvelables dans l'hypothèse d'un développement de la production d'électricité, abondante et relativement peu coûteuse grâce à la fusion nucléaire ? Les cinq familles d'énergie renouvelable sont susceptibles d'être directement affectées : l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique-hydroélectricité (grande hydraulique, petite hydraulique, énergies marines), la biomasse (bois énergie, le biogaz, les biocarburants) et la géothermie. Le développement de ces énergies renouvelables pourrait être compromis par le développement de la production d'énergie par fusion nucléaire, devenue moins coûteuse. Quelles seraient, au-delà de cette question de coût de production, les énergies renouvelables qui seraient directement menacées de disparition ? Quelles seraient au contraire les énergies qui seraient susceptibles d'accompagner une production massive d'électricité résultant de la fusion nucléaire ? Plusieurs critères sont à retenir pour chacune de ces énergies ; nous nous limiterons aux principaux critères « occupation de l'espace par les producteurs d'énergie renouvelable », « risque d'accident grave », « destruction de l'environnement » et « inconvénients pour les populations locales »

a) Les biocarburants

Les biocarburants seraient sans doute principalement menacés de disparition, dans de nombreux pays, comme toutes les énergies renouvelables qui viennent en concurrence avec d'autres usages de l'espace jugés essentiels. C'est le cas des biocarburants, qui n'auraient plus d'avenir, dans une large mesure ; le recours aux biocarburants (ou agrocarburants) entraîne, en effet une réduction des productions agricoles destinées à nourrir les populations, notamment les populations locales dans les pays en développement. De plus, ils favorisent souvent la déforestation dans les pays en développement.

b) L'énergie solaire

Concernant l'énergie solaire, seul l'usage du « thermique basse température » (production d'eau chaude dans les immeubles) présenterait un intérêt. L'énergie solaire photovoltaïque (ainsi que le « solaire thermique haute température » dans une moindre mesure) ne pourrait plus que satisfaire ponctuellement un besoin en énergie, pour certaines zones éloignées par exemple, mais ne saurait être utilisée pour une production massive d'électricité. Les surfaces au sol mobilisées par le recours à l'énergie solaire, souvent très importantes, ne peuvent plus être affectées pour d'autres usages notamment agricoles. Les toits des immeubles pourraient être utilisés toutefois, encore, pour une production d'électricité photovoltaïque.

c) L'énergie éolienne

L'utilisation de l'énergie éolienne, malgré son caractère écologique, présente de nombreux inconvénients ; en dehors de l'aspect esthétique parfois contesté, les riverains des éoliennes se sont plaints du bruit ; nombre d'oiseaux migrateurs, par ailleurs, ont été tués par les éoliennes, ce qui constitue une atteinte à l'environnement. On peut s'attendre à ce que ce secteur des énergies renouvelables ne soit pas capable de

¹⁶ Le bilan CO₂ du bois est considéré comme nul, mais à condition que le bois brûlé soit remplacé par la plantation de nouveaux arbres...

résister au développement d'une énergie de fusion nucléaire, qui deviendrait peu coûteuse et qui présenterait moins d'inconvénients.

d) L'énergie hydraulique

L'utilisation de la « grande hydraulique », qui implique la construction de grands barrages soulève de nombreux problèmes économiques, sociaux, environnementaux et même culturels. La construction de ces grands barrages entraîne, en effet, des déplacements massifs de populations, dont les villages et les champs seront inondés ; cette population perd non seulement son cadre de vie traditionnel mais encore ses moyens de subsistance. La faune et la flore sont souvent gravement affectés. Le barrage des Trois Gorges sur le Yangtsé en Chine aurait, ainsi, entraîné le déplacement de 6 millions de personnes. Plus de 100 villes ont été submergées. 60% des agriculteurs déplacés ont pu obtenir à nouveau des terres, mais 40% devront changer d'activité et/ou vivre des allocations assez limitées versées par le gouvernement. Le Haut barrage d'Assouan, en Égypte, qui a été construit dans les années 1960, a été la cause de dommages environnementaux considérables. Toute une région, la Nubie, a été engloutie sous les eaux, entraînant non seulement le déplacement des populations locales, mais encore la perte irréversible de toute une faune et flore ainsi que de très nombreux trésors archéologiques. Si le temple d'Abou Simbel et ses 4 colosses royaux ont pu être déplacés et « sauvés », il n'en est pas de même pour des centaines d'autres « trésors archéologiques », définitivement perdus, qu'il s'agisse de cimetières préhistoriques, de tombes de notables, de dessins rupestres, de temples, d'églises chrétiennes du Moyen-Âge¹⁷... Par ailleurs, le risque d'accident concernant les barrages de retenue ne doit pas être négligé. Le site de Wikipedia¹⁸ dresse la liste de 75 ruptures de barrage dans le monde, depuis 1802, dont la catastrophe de Malpasset en France en 1959, qui a fait 423 victimes, en inondant et en détruisant une partie de la ville de Fréjus. Le point d'appui de ce barrage-voute avait en effet brutalement cédé. Mais c'est la rupture du barrage de Banqiao, dans le Henan en Chine, survenu en 1975 qui aurait fait le plus grand nombre de victimes, parmi tous les accidents de barrage recensés, avec 26000 à 100000 morts à cause de la destruction en série de 62 barrages.

On peut supposer que dans l'hypothèse d'un développement d'une énergie nucléaire de fusion, les responsables renonceraient définitivement à créer de nouveaux barrages pour produire de l'électricité, même si les barrages de ce type peuvent se révéler utiles pour contrôler le niveau des eaux d'un fleuve ou pour irriguer les cultures.

La mise en œuvre de la « petite hydraulique » avec des barrages au fil de l'eau, sans lac de retenue, est moins nuisible à l'environnement que la « grande hydraulique », mais contribue à sa dégradation.

Quant au recours à des énergies marines, avec l'exploitation des mouvements des marées, il peut présenter un risque majeur pour l'environnement. L'usine marémotrice de la Rance, inaugurée en 1966 et qui a atteint, en 1967, son plein régime de fonctionnement, est considérée comme étant à l'origine d'une « véritable catastrophe écologique » avec la disparition de la faune et de la flore d'origine¹⁹. Cette usine devait être le « prototype » d'une seconde grande usine marémotrice au Mont Saint Michel. Cette centrale marémotrice, en baie du Mont Saint Michel, aurait permis, selon les prévisions de l'époque, de couvrir un tiers des besoins en électricité de la France en 1964. Le barrage aurait eu 40 km de long avec 800 turbines réversibles pour exploiter les marées de la Baie du Mont Saint Michel, qui sont parmi les plus fortes du monde. Ce projet a été abandonné au profit du développement de l'énergie nucléaire.

e) Géothermie

Exploiter l'énergie géothermique consiste à envoyer de l'eau en profondeur et à la faire remonter, plus chaude, pour exploiter ainsi directement la chaleur du centre de la Terre ou transformer cette dernière en électricité. Cette technique, qui semble très sûre, peut néanmoins être à l'origine de tremblements de terre, comme cela a été le cas, en novembre 2017, à Pohang, en Corée du Sud. Ce séisme, d'une magnitude de 5,4, a été ressenti à plus de 270 km. 150 personnes ont été blessées et 1500 ont perdu leur logement. En décembre 2020, à la suite de trois tremblements de terre au nord de Strasbourg (dont l'un d'une magnitude de 3,6 et ressenti à plusieurs kilomètres), le projet d'exploiter la géothermie profonde à Vendenheim, près de Strasbourg, a été définitivement abandonné, même si trois autres projets de géothermie profonde près de Strasbourg ont été maintenus.

¹⁷ Pour d'autres exemples concernant les nuisances apportées par les barrages, on pourra se reporter à « Impact environnemental des barrages » wikipedia

¹⁸ Se reporter pour les références à la bibliographie.

¹⁹ <http://www.geographie.ens.fr/-Les-consequences-environnementales-.html>

2.3.3 Incidences sur les autres secteurs d'une production abondante et peu coûteuse d'énergie

La diminution du prix relatif de l'énergie serait susceptible d'avoir de fortes conséquences sur certains secteurs de l'activité économique ; nous retiendrons, à titre d'exemple, le cas du secteur agricole et celui d'une robotisation accélérée dans les entreprises et sur les chantiers.

a) Secteur agricole

Le secteur agricole serait sans doute susceptible de bénéficier fortement de l'apparition d'une énergie abondante et bon marché. Le dessalement de l'eau de mer, coûteux en énergie, bénéficierait d'une baisse très sensible de ses coûts de production et contribuerait ainsi à résoudre le problème de l'accès à l'eau dans le monde. Ce dessalement pourrait permettre, en outre, de faire face aux conséquences du réchauffement climatique, qui paraît inéluctable. Actuellement le dessalement de l'eau de mer peut se faire par distillation ou « osmose inverse ». Si l'osmose inverse est une pratique plus récente et moins gourmande en énergie que le procédé de la distillation, toutefois, le coût de l'électricité avec ce procédé représenterait actuellement un peu plus de 40% du coût total du dessalement (Sia Partners 2017). Disposer d'une eau douce abondante permettrait sans aucun doute d'empêcher « la progression du désert » en permettant d'irriguer de nombreuses cultures et de développer la sylviculture. Le dessalement de l'eau de mer a connu, au cours des dernières années une forte progression dans le monde²⁰, qui ne peut être que favorisée par l'émergence d'une énergie abondante et bon marché, comme celle qui serait issue de la fusion nucléaire.

Une agriculture sous serre (Grisey, 2013) pourrait sans doute aussi se développer rapidement, grâce à une réduction du coût de l'énergie, forme d'agriculture qui sera peut-être indispensable pour assurer, en toute sécurité, l'approvisionnement de la population dans le cadre du changement climatique actuel.

Les serres, en France, jouent, par exemple, un rôle non négligeable : elles assurent la très grande majorité de la production en légumes frais (tomate, concombre, poivron, melon, courgette, aubergine). Pour répondre à une demande croissante, la culture en serre a permis d'étendre les périodes de production et d'obtenir de meilleurs rendements. Il a été nécessaire de mettre en place un système de chauffage pour garantir la régularité de la production et bénéficier de récoltes plus précoces. De ce fait, pour les producteurs, le poste énergie, représentant entre 20% et 40% des coûts de production, est en deuxième position derrière les coûts de main-d'œuvre. Une énergie abondante et peu coûteuse est sans doute un facteur essentiel du développement de la culture sous serre.

Disposer d'une énergie bon marché ne peut que favoriser l'agriculture qu'il s'agisse de dessalement de l'eau de mer ou du développement de certaines formes de culture comme la culture sous serre. Le développement de la fusion nucléaire devrait contribuer à résoudre les problèmes alimentaires dans le monde en favorisant de nouvelles formes d'agriculture, en facilitant un accroissement des rendements et en permettant le transport, à coût réduit, des produits alimentaires dans le monde.

b) Robotisation des activités économiques

Avec une énergie abondante à un coût réduit, le processus de substitution du travail par le capital ne pourra que s'amplifier ; des robots effectueront de plus en plus fréquemment des tâches confiées jusqu'alors à des « humains », dans la mesure, notamment, où le coût du fonctionnement du robot se réduirait, par rapport au coût du travail, grâce à une réduction du prix relatif de l'énergie. Ce processus pourrait se développer aussi bien au sein des usines, que sur les chantiers et même dans les bureaux. Ce mouvement pourrait même s'accroître dans certains métiers, comme chez les manutentionnaires, déjà menacés, en 2020, de disparition. En effet, ce métier, combinant celui des ouvriers qualifiés et non qualifiés de la manutention, classé parmi les plus pénibles et les moins sécurisants par la DARES, apparaît déjà actuellement comme un métier en voie de disparition. En trente ans, les effectifs, en France, ont diminué de plus de 17%. (Tison 2019). Une baisse relative du prix de l'énergie par rapport au coût du travail ne pourrait qu'accélérer ce processus. Une transformation analogue du travail serait susceptible d'affecter aussi certains chantiers.

²⁰ En 2016, après l'implantation d'une nouvelle usine de dessalement de l'eau de mer à Sörek, la moitié de l'approvisionnement en eau, en Israël, est fait à partir d'eau de mer ayant subi un dessalement. Jusqu'en 2004, l'approvisionnement en eau reposait uniquement sur les eaux souterraines et les eaux de pluie

CONCLUSION

Nul ne peut affirmer qu'une énergie résultant de la fusion nucléaire n'est pas techniquement possible dans un avenir proche ou lointain. Si on se réfère aux dates avancées pour le projet ITER, les années 2040 ou 2050, il faut reconnaître que la production d'une électricité de fusion nucléaire, c'est véritablement pour demain, à l'échelle de l'Humanité. Cette innovation entraînera inéluctablement une rupture concernant aussi bien les modes de production, sans doute de consommation, et même les « rapports de force » entre États dans le monde. Il faudra s'attendre à une disparition progressive de certaines « énergies renouvelables traditionnelles ». Les plus menacées sont, sans doute, dans un avenir proche, les agrocarburants et l'hydroélectricité sous toutes ses formes ainsi que la géothermie et, dans une phase ultérieure, l'énergie éolienne et solaire... On peut penser que ces énergies renouvelables seront maintenues un peu plus longtemps dans certains pays, notamment des pays qui seraient toujours en développement. Par ailleurs, une énergie abondante et bon marché devrait favoriser l'actuelle robotisation et « digitalisation » des économies, accompagnées de la disparition de certains métiers, ainsi que d'un allègement des tâches dans nombre d'activités. Le débat reste ouvert sur la capacité des économies à assurer le plein emploi dans cette nouvelle économie. Il n'y a certainement pas lieu de s'inquiéter, car le moment sera venu d'envisager l'établissement d'un revenu universel, au niveau des différents États, sinon au niveau mondial. L'obligation d'avoir un emploi rémunéré, pour vivre, aura alors disparu...

BIBLIOGRAPHIE

- AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE (2018) *Livre Blanc du Tritium*, Groupes de réflexion menés de mai 2008 à avril 2010 sous l'égide de l'ASN et Bilan annuel des rejets de tritium pour les installations nucléaires de base.
- BERNARDEAU J.-B. (2019) Le Venezuela ou la « malédiction du pétrole », <http://www.lefigaro.fr/conjoncture/2019/02/02/20002-20190202ARTFIG00024-le-venezuela-ou-la-malediction-du-petrole.php>
- DUPIN L. (2016) La course à la fusion nucléaire, *Usine Nouvelle*. <https://www.usinenouvelle.com/article/la-course-a-la-fusion-nucleaire.N378725>
- DUPIN L. (2017) Le Canada pourrait offrir la fusion nucléaire au monde en 2030, *Usine Nouvelle*. www.usinenouvelle.com/article/le-canada-pourrait-offrir-la-fusion-nucleaire-au-monde-en-2030.N498049
- FOURNIER C. (2017) Plan Climat et transition énergétique : y aura-t-il assez de lithium ? <https://e-rse.net/transition-energetique-plan-climat-lithium-reserves-26282/#gs.15x55f>
- GRISEY G. (2013) Production sous serre : problématiques actuelles et dernières innovations http://www.sitmafr.com/crconferences/sitevi2013/Optimisation%20energetique%20des%20serres%20AGrise_y_Sitevi.pdf
- HACHE E. et al., (2018) Les matériaux de la transition énergétique : le lithium theconversation.com/les-materiaux-de-la-transition-energetique-le-lithium-105429
- ITER (2019) Wikipedia, <https://fr.wikipedia.org/wiki/ITER>
- JULIAN S. (2018) Le grand défi de la fusion nucléaire www.lexpress.fr/actualite/sciences/le-grand-defi-de-la-fusion-nucleaire_2022048.html
- MACKAY D. J. C. (2011) L'énergie durable, pas que du vent ! http://www.inference.org.uk/sustainable/book/translate/french/sewtha_20111001_lowres.pdf
- SACCO L. (2018) Fusion nucléaire : le CEA et le Japon prépare l'après-Iter, *Futura science*. www.futura-sciences.com/sciences/actualites/physique-fusion-nucleaire-cea-japon-preparent-apres-iter-10020/
- SIA PARTNERS (2017) Dessalement de l'eau de mer : des évolutions nécessaires pour accompagner l'essor du secteur. <http://www.energie.sia-partners.com/20170112/dessalement-de-leau-de-mer-des-evolutions-necessaires-pour-accompagner-lessor-du-secteur>
- TISON Z. (2019) *L'impact de la révolution digitale sur l'emploi, Top 5 des métiers en voie de disparition*, Institut Sapiens
- WIKIPEDIA Impact environnemental des barrages https://fr.wikipedia.org/wiki/Impact_environnemental_des_barrages
- WIKIPEDIA Les énergies renouvelables. https://fr.wikipedia.org/wiki/Énergie_renouvelable
- WIKIPEDIA Rupture de barrage. https://fr.wikipedia.org/wiki/Rupture_de_barrage

Sites des entreprises et institutions dans le domaine de la fusion nucléaire :

GENERAL FUSION : <https://generalfusion.com/>

ITER : <https://www.iter.org/fr/sci/fusionfuels>

Les enjeux de développement d'une métropole polluée. Cas de la ville de Sfax

Hafedh ELLOUZE¹

La ville est un espace dynamique où interagissent différents acteurs et éléments : les infrastructures, la population avec son identité et ses besoins et l'environnement avec son évolution induite par activités humaines. Tous ces éléments forment une dynamique urbaine, sociale et environnementale. Cette dynamique varie d'une ville à une autre, selon la façon de résoudre les problèmes urbains et environnementaux. Ce phénomène de dynamisme est fortement lié à l'énergie et ses origines : le pétrole, le gasoil et l'électricité sont des sources énergétiques qui facilitent les pratiques de la population. La manière et l'intensité de l'utilisation des éléments énergétiques et les conséquences, positives ou négatives de leurs implications, ont des effets majeurs sur la situation urbaine et environnementale d'une cité.

Les activités industrielles, commerciales et agricoles influencent l'intensité de l'utilisation des éléments énergétiques. En effet, plus les activités augmentent, plus il y aura des effets et des réactions directes sur la ville, son tissu urbain et sa situation environnementale.

Dans ce contexte, on s'intéresse à la caractérisation des métropoles et aux défis urbains et environnementaux encourus suite aux pressions anthropiques en cherchant les réactions et les solutions proposées par les aménagistes face à ces défis et leur conception d'une ville saine et durable. Nous avons choisi Sfax comme un exemple de ville au sein de laquelle le dynamisme urbain a eu un impact sur l'environnement induisant plusieurs problèmes, dont la pollution du littoral occupé par l'industrie. La plupart des établissements industriels se trouvent à une distance comprise entre 2 et 4 km du centre-ville. En effet, le nombre d'établissements atteint un maximum moyen de l'ordre de 60, et décroît jusqu'à 2 à 3 établissements à une distance de 16 km du centre-ville (Gasmi, 2001 et 2006). Par ailleurs, la ville souffre de l'absence de zones touristiques et balnéaires, du fait de la présence d'une montagne de phosphogypse (un kilomètre de largeur et 63 mètres de hauteur), et du manque d'espaces verts. En revanche, elle subit de forts rejets de CO₂. Le résultat du bilan carbone est de 5.2 Mteq CO₂, soit 9teqCO₂/hab./an (TOPGEO, 2013 ; Municipalité de Sfax 2016). On remarque aussi des changements sur le tissu urbain de la ville, le centre-ville, basé sur un modèle architectural vertical, comporte beaucoup de façades vitrées, lesquelles accentuent l'intensité de chaleur dans les zones arides et augmentent la consommation de l'énergie pour la climatisation (Dahech et Daoud, 2012). Une armature urbaine et un réseau routier simple participent à l'encombrement des routes aux heures de pointe et accroissent la consommation d'énergie et les temps de déplacements. Le pôle urbain (projet Taparoura) en cours d'aménagement reste stagnant dans sa première phase (TOPGEO, 2013, Google Mapp, 2018) et les zones industrielles implantées sur la côte génèrent une forte consommation d'énergie et d'importantes émissions de CO₂. Le plus grand pourcentage des émissions est engendré par le transport de marchandise (42%) et les procédés industriels (15%), (CES-MED, 2010). En essayant d'analyser spatialement ces changements et d'identifier les problèmes, on s'investit en tant que paysagiste dans la

¹ Ingénieur paysagiste, doctorant à l'université de Tours et à l'école Nationale des ingénieurs de Sfax. sanohaffa@gmail.com

recherche scientifique d'un autre mode d'aménagement pour répondre aux enjeux de développement de la ville de Sfax.

Sfax, ville tunisienne côtière, possède une position géographique privilégiée : sa large ouverture sur la mer (avec un littoral de près de 235 kilomètres) et son port (le plus grand de Tunisie) lui donnent un rôle important dans les échanges commerciaux au niveau national et international. De nombreux acteurs commerciaux, industriels ou agricoles cohabitent dans un tissu urbain dense et hétérogène. Ces caractéristiques s'intègrent mal dans les principes de l'aménagement durable. Par conséquent, il est nécessaire de remédier à cette situation en formulant des propositions solides basées sur une lecture sensible de son espace permettant de la mettre sur le chemin du développement durable, tout en proposant d'autres sources d'énergies renouvelables dans son tissu urbain pour l'amélioration de sa situation environnementale. Les résultats présentés s'intègrent dans une réflexion sur le territoire sfaxien et ses enjeux de développement, dans l'optique d'intégrer les changements environnementaux en respectant les caractéristiques spécifiques du territoire, que ce soit son identité ou les héritages historiques de valeur.

1. DÉMARCHE DE TRAVAIL

La première étape consiste à définir le territoire, la logique urbaine et la durabilité afin de pouvoir les intégrer dans l'étude des enjeux environnementaux. Le mot territoire est un mot français qui vient du latin, *territorium*, « étendue sur laquelle vit un groupe humain ». Un territoire donné est un espace dynamique où plusieurs éléments cohabitent suivant une logique bien déterminée, de ce fait chaque discipline possède sa propre définition du terme territoire.

La méthodologie générale adoptée s'intéresse à la compréhension de cette logique urbaine à travers une analyse intégrant des critères ciblés. Ceci afin de mettre en évidence les types de changements, les formes d'évolutions et leurs conséquences sur les différents éléments qui composent un territoire donné. Bernadette Merenne-Schoumaker (1983) a défini la ville comme une organisation destinée à maximiser l'interaction spatiale. Ce principe avait été proposé par Claval (1977). Ce dernier présentait la ville comme une clé d'interprétation de l'urbanisation permettant de comprendre à la fois l'unité du phénomène urbain, sa permanence à travers l'histoire et la multiplicité des formes et des civilisations urbaines. Cette interaction spatiale intervient dans les modifications et les changements d'un tissu urbain donné : l'étalement urbain est le fruit des différents actes d'une société correspondant à ses besoins et imprimant diverses formes d'interactions dans un espace.

Cette étude a été basée sur le choix des deux approches suivantes : l'ouverture sur le temps et l'ouverture sur l'espace. La figure (1) explique le système de la méthodologie de travail qui montre les différents types de changement possible pour un territoire donné (aménagement, changement d'activités, choix de stratégie déterminée par l'État...) et les différents types de résultats susceptibles d'être engendrés dans un territoire (disparition d'une composante urbaine, naissance d'autres composantes, mutation de vocation ou de volume et de forme...) suites aux changements vécus par un territoire donné et par une population.

L'étude de la logique urbaine d'un territoire suivant le temps et l'espace nous amène à comprendre son évolution, à détecter ses problèmes urbains et environnementaux et à estimer les besoins futurs de sa population. Elle est également un détecteur de processus d'aménagement pour la conservation de son histoire et la préservation de son identité territoriale. Cette méthodologie est appliquée à Sfax afin de comprendre la logique urbaine contemporaine et son évolution. Ce qui permettra de faire le bilan des problèmes environnementaux et urbains puis de formuler des propositions et des solutions appropriées.

Pour certains chercheurs, la ville durable doit reposer sur la nature². En effet, on ne cherche pas l'esthétique des espaces de la ville même si ces derniers doivent être végétalisés et comportés de véritables équipements urbains fonctionnels. D'autres considèrent la ville durable comme une réorganisation du territoire pour y limiter les déplacements. Cette approche est basée sur la résilience de la ville et la mobilité douce (même source du colloque). Personnellement je définis la ville durable comme : un objet dynamique bénéficiaire à la fois de temps, de distance, d'énergies et de qualité. En effet l'objectif essentiel de la création d'une ville durable est le gain et la rentabilité suivant plusieurs plans : (i) gain de temps pour les déplacements à travers un modèle de transport doux et fluide, (ii) gain de distances et d'espaces à travers une organisation harmonieuse et fonctionnelle des différentes composantes urbaines de la ville, (iii) gain d'énergies à travers

² Synthèse du colloque "Faire la ville durable, inventer une nouvelle urbanité" 20/01/2011 à Marne la Vallée : Colloque international de dialogue et de confrontation entre praticiens de la ville, experts et chercheurs, organisé en partenariat entre le commissariat général au développement durable, l'établissement public d'aménagement de Marne-la-Vallée et le PRES Université Paris-Est.

la minimisation du gaspillage et l'insertion d'une autonomie énergétique et enfin (iv) gain de qualité à travers un environnement urbain sain et enviable plus que vivable.

Figure 1 : La logique urbaine des différentes composantes d'un territoire entre le temps et l'espace

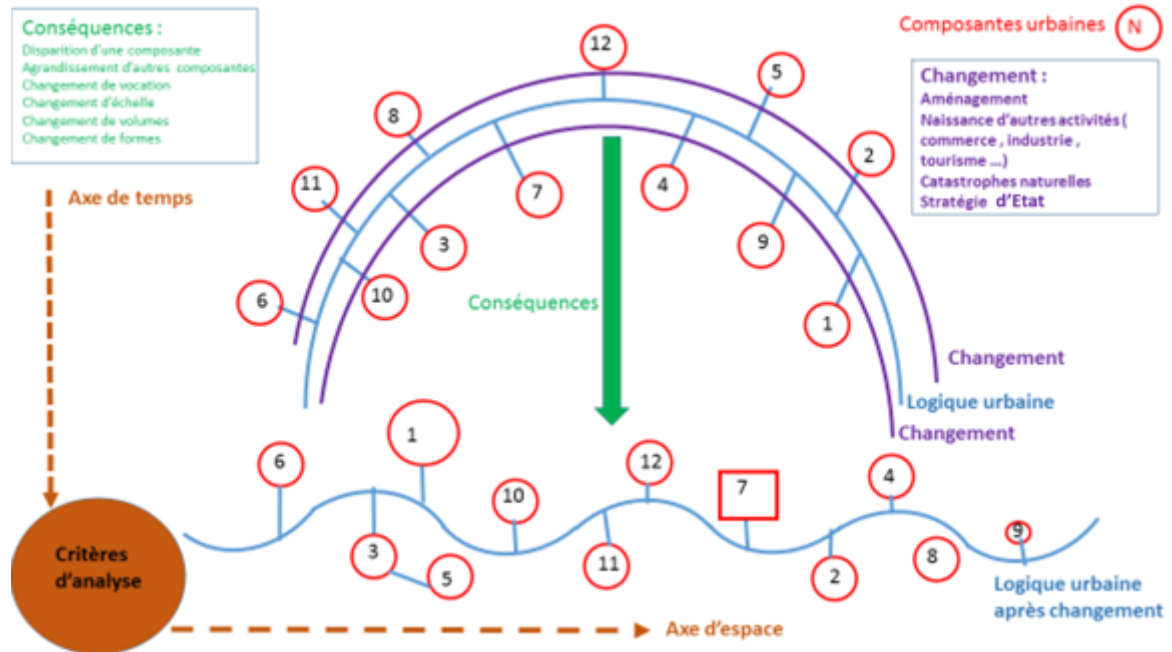
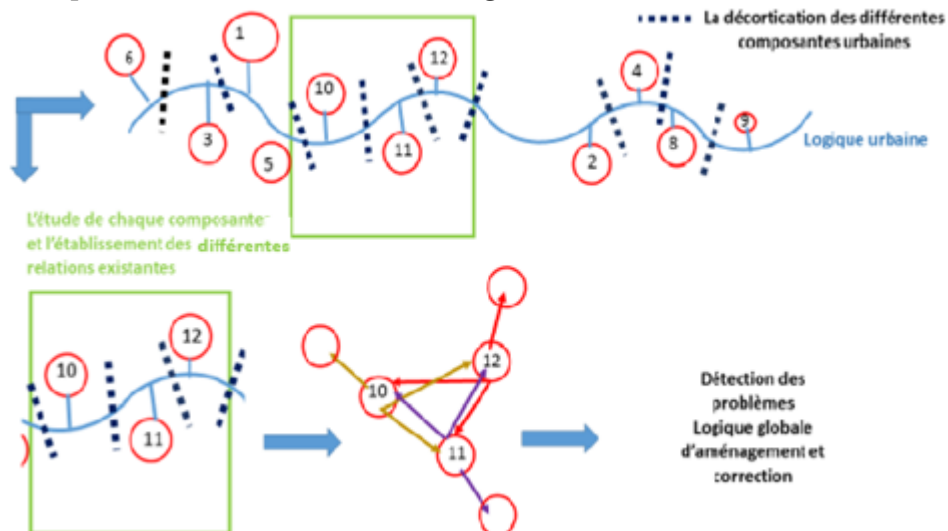


Figure 2 : La compréhension des relations urbaines engendre la détection des solutions



Cette approche nécessite l'analyse de chacune des composantes urbaines afin de comprendre son évolution et d'établir les relations qui existent entre elles pour identifier et caractériser le système.

Si un ou plusieurs des mécanismes de développement assurent pour une ville ces quatre types de gains en même temps, on est dans un modèle d'aménagement urbain durable. Un développement urbain n'est durable que s'il est accompagné d'un projet social et d'un progrès environnemental. Un projet social, où les différents acteurs de la société doivent être solidaires autour d'un projet politique bien visible, a pour objectif l'amélioration de la qualité de vie. Quant au progrès environnemental, il réduit la pollution et offre un environnement de qualité. Selon Catherine Charlot-Valdieu et Philippe Outrequin (2010), pour atteindre cet objectif, la création d'une ville durable est basée sur :

- * la réduction des émissions de CO₂,
- * préserver et gérer durablement les ressources de la planète (énergie, air, eau, sol, climat, matériaux, biodiversité),
- * améliorer la qualité de l'environnement local (qualité sanitaire, réduction des nuisances et des risques),

- * améliorer l'équité sociale en renforçant l'accessibilité pour tous à l'emploi, aux logements, à l'éducation, à la santé, aux services et équipements collectifs et en luttant contre les inégalités sociales et écologiques,
- * améliorer l'équité et la cohésion entre les territoires (à l'échelle infra-communale, celle des quartiers, mais aussi à l'échelle intercommunale et dans le cadre de la coopération décentralisée),
- * améliorer l'efficacité et l'attractivité du tissu économique.

Photo 1 : La ville durable est un mécanisme (processus) fructueux et bénéficiaire de temps, de distance, d'énergies et de qualité (<http://www.electriccity.fr>)



Parmi les villes les plus écologiques et durables dans le monde, figurent les dix villes suivantes classées par Clément Fournier (2017) sur la plateforme de l'engagement RSE et du développement durable : Zurich, Stockholm, Genève, Vienne, Francfort, Wellington, Rome, Sydney, Londres et Hambourg.

La démarche choisie pour l'étude de la ville de Sfax est basée sur les données et les résultats suivants.

1.1 Les données sur l'ouverture temporelle de la ville

La ville de Sfax comporte des édifices, des endroits et des sites historiques. Afin de les spatialiser, une analyse a été réalisée à partir de Google Mapp (2018) et de photos anciennes durant la période de Protectorat français (entre 1935 et 1951). En complément, une lecture et une interprétation de photos prises par Christian Attard (né à Sfax, en 1956) sont exploitées pour une visualisation réelle de la ville au 19^{ème} siècle et une compréhension de sa logique urbaine. Des photos aériennes, réalisées entre 2003 et 2010, ont été utilisées pour révéler l'évolution du tissu urbain consécutive à l'émergence d'autres composantes (projet Taparoura) et identifier leurs impacts par rapport à leurs emplacements dans la ville.

Trois composantes urbaines historiques qui jouent des rôles différents et représentent des éléments majeurs dans l'histoire de la ville, ont été pris en compte lors de l'analyse : le centre historique, le port et les salines (ou les salins).

1.2 Les données sur l'ouverture spatiale de la ville

Sfax est une ville dont la vocation des espaces diffère d'un endroit à un autre suivant la nature de leurs utilisations, leurs emplacements par rapport à la mer, leurs rôles économiques joués dans la ville, leurs occupations de sols, leurs échelles, leurs volumes et la nature de leurs paysages. De ce fait, la démarche adoptée s'appuie sur des cartes d'occupations des sols (par exemple la carte d'occupation de sol Atlas Sfax 2013) et des tableaux comparatifs de données chiffrées. Concernant la répartition des terres exploitées en 2011, le Commissariat régional de développement agricole (CRDA) affirme qu'il y a absence de terres cultivées au centre-ville de Sfax par rapport à ses périphéries. Les travaux de CRDA confirment que Sfax ville (par rapport à Sfax ouest, Sfax sud, Tina, Sakiet Ezzit et Sakit Eddaier) est un espace à vocation urbaine artificielle. Les photos de vues panoramiques prises du centre-ville montrent un urbanisme vertical accentué. Gasmi (2001) et Dahech et *al.* (2011) traitent de la répartition des composantes urbaines industrielles et de leurs superficies. Quelques photos et schémas de principe ont été utilisés pour comprendre la situation de la ville et les différents matériaux de construction utilisés. Des études faites par la municipalité de Sfax par Dr. Riadh Haj Taieb (2016), Directeur Général des Services Techniques, renseignent sur les taux de pollution engendrés par les activités industrielles et par des schémas de répartition des émissions de CO₂ selon leur localisation.

L'étude analytique va être orientée vers les composantes urbaines les plus étalées en superficie et caractérisées par leurs hétérogénéités (échelle, forme, volume, matériaux de construction) et leurs retombées sur la ville (économique, industrielle, agricole, environnementale...). L'analyse spatiale a été axée sur les cinq

composantes suivantes : le projet Taparoura, les zones vertes et agricoles, la montagne de phosphogypse, les zones industrielles et le tissu urbain dense.

Dans les deux schémas de principe ci-dessous (Figures 3 et 4), on résume cette démarche et on présente une idée sur la forme future de la ville et les précautions à prendre pour éviter un processus de développement urbain irréversible.

Figure 3 : Schéma de principe des différentes composantes urbaines de la ville de Sfax

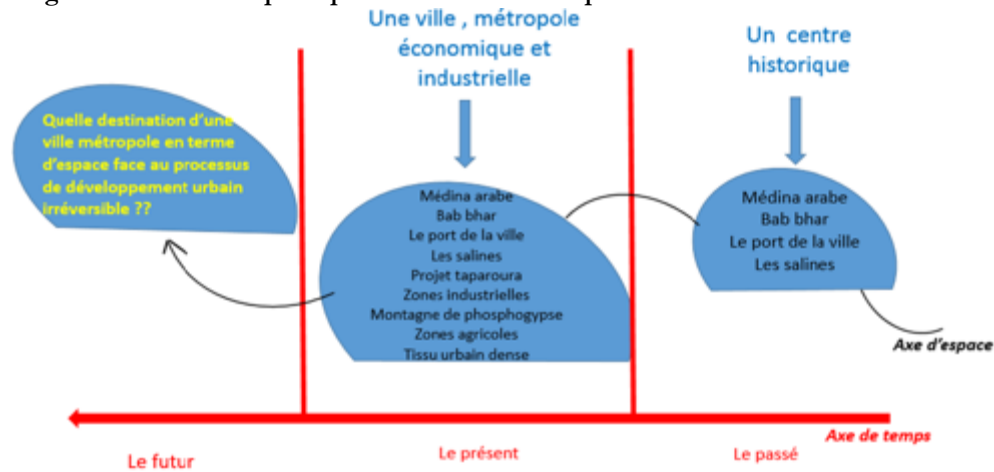
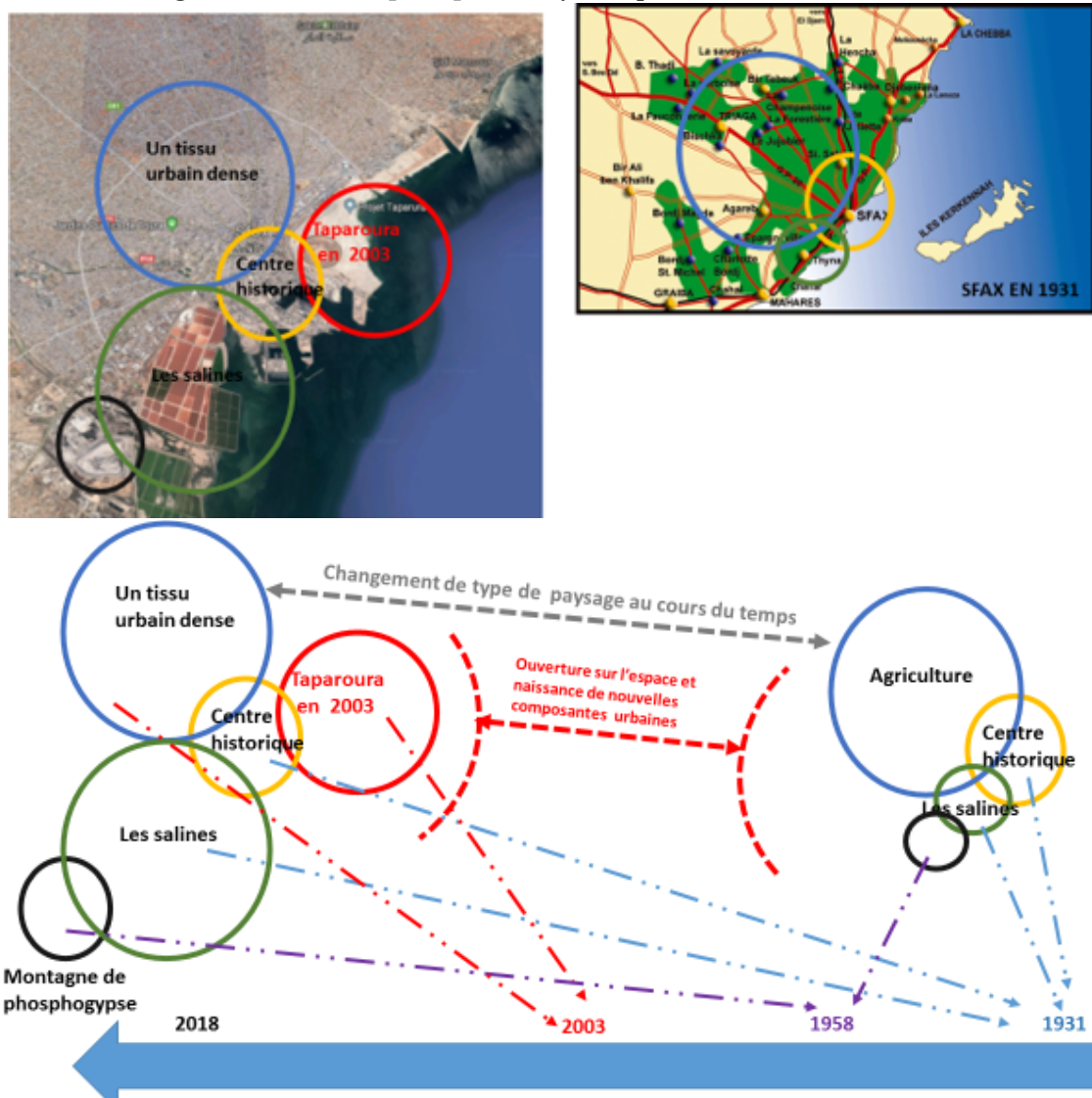


Figure 4 : Schéma de principe de la dynamique urbaine de la ville de Sfax



1.3 Comparaison de Sfax avec d'autres villes durables références dans le monde

Les chercheurs travaillant sur le concept de la ville durable ont proposé une échelle d'évaluation de la durabilité pour une ville. Bennisr (2006), dans son projet de recherche intitulé « Sfax : de la ville régionale au projet métropolitain », a présenté cette échelle en se basant sur la grille d'évaluation et de lecture de durabilité proposée par Jacques Levy (1999) appliquée sur deux modèles opposés d'urbanité : Amsterdam et Johannesburg. Bennisr a comparé les valeurs trouvées à celle de la ville de Sfax sous forme d'une grille. Cette dernière est basée sur la proposition d'une valeur négative (-1) pour une variable nulle ou très faible, une valeur (0) pour une variable moyenne et (+1) pour un critère fort. L'écart entre l'ensemble des valeurs positives et négatives détermine la position de la ville sur l'échelle de la durabilité qui s'étend de (+13) pour une ville durable à (-13) pour une ville non durable.

Tableau 1 : Critères d'évaluation selon Levy (1999) et application sur la ville de Sfax (Bennisr, 2006)

	Amsterdam	Johannesburg	Sfax
Densité	+	-	-1
Compacité	+	-	-1
Inter-accessibilité des lieux urbains	+	-	0
Présence d'espaces publics	+	-	-1
Importance des métriques pédestres	+	-	0
Coprésence habitat/emploi	+	-	0
Diversité des activités	+	-	0
Mixité sociologique	+	-	0
Fortes polarités intra-urbaines	+	-	+1
Productivité marchande/habitat	+	-	0
Auto-évaluation positive des lieux urbains	+	-	0
Auto-identification de la société urbaine	+	-	+1
Société politique à l'échelle urbaine	+	-	-1
Total	+13	-13	-2

Aurélien Boutaud et Christian Brodhag (2006) ont parlé de OQADD : « Outils de Questionnement et d'Analyse des politiques et projets en matière de Développement Durable ». La méthode d'évaluation a été appliquée en France et en Suisse en 2004. Les auteurs ont établi un classement de ces questions d'évaluation en six catégories suivant les thématiques :

- * Catégorie 1 : environnement (ressources, milieu et cadre de vie...)
- * Catégorie 2 : social – culture – santé (solidarité, équité, santé, culture...)
- * Catégorie 3 : économie (rentabilité, emplois, tissu économique...)
- * Catégorie 4 : thèmes transverses, champs croisés (transversalité, internalisation...)
- * Catégorie 5 : gouvernance (information, concertation, participation)
- * Catégorie 6 : principes du développement durable (précaution, long terme, global/local...).

L'application de ces six catégories d'évaluation pour la ville de Sfax, nous a permis d'obtenir les résultats d'évaluation de la durabilité présentés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Application des critères d'évaluation de la durabilité à la ville de Sfax.

Catégorie d'évaluation	La ville de Sfax	La ville de Zurich	La ville de Stockholm
Environnement (ressources, milieu et cadre de vie...)			
Social – culture – santé (solidarité, équité, santé, culture...)			
Economie (rentabilité, emplois, tissu économique...)			
Gouvernance (information, concertation, participation)			
Principes du développement durable (précaution, long terme, global/local...).			
Thèmes transverses, champs croisés (transversalité, internalisation...)			

 Faible  Moyenne  Forte

Les résultats obtenus (Tableau 2), permettent d'établir un classement des six critères d'évaluation de la durabilité, en quatre sous-ensembles : le culturel, l'économie, l'environnement et le social. On constate aussi que Sfax, malgré sa position géographique (ville côtière), son rayonnement économique par rapport à d'autres cités tunisiennes et ses caractéristiques paysagères et urbaines (agriculture, patrimoine architectural...), reste loin de la durabilité. Sfax, malgré la richesse de son tissu urbain et sa place comme pôle économique, souffre de plusieurs problèmes environnementaux qui l'empêchent de suivre le chemin du développement durable. Ce recul est justifié par l'absence d'une stratégie claire de l'État tunisien d'aménagement et de réorganisation de l'espace sfaxien.

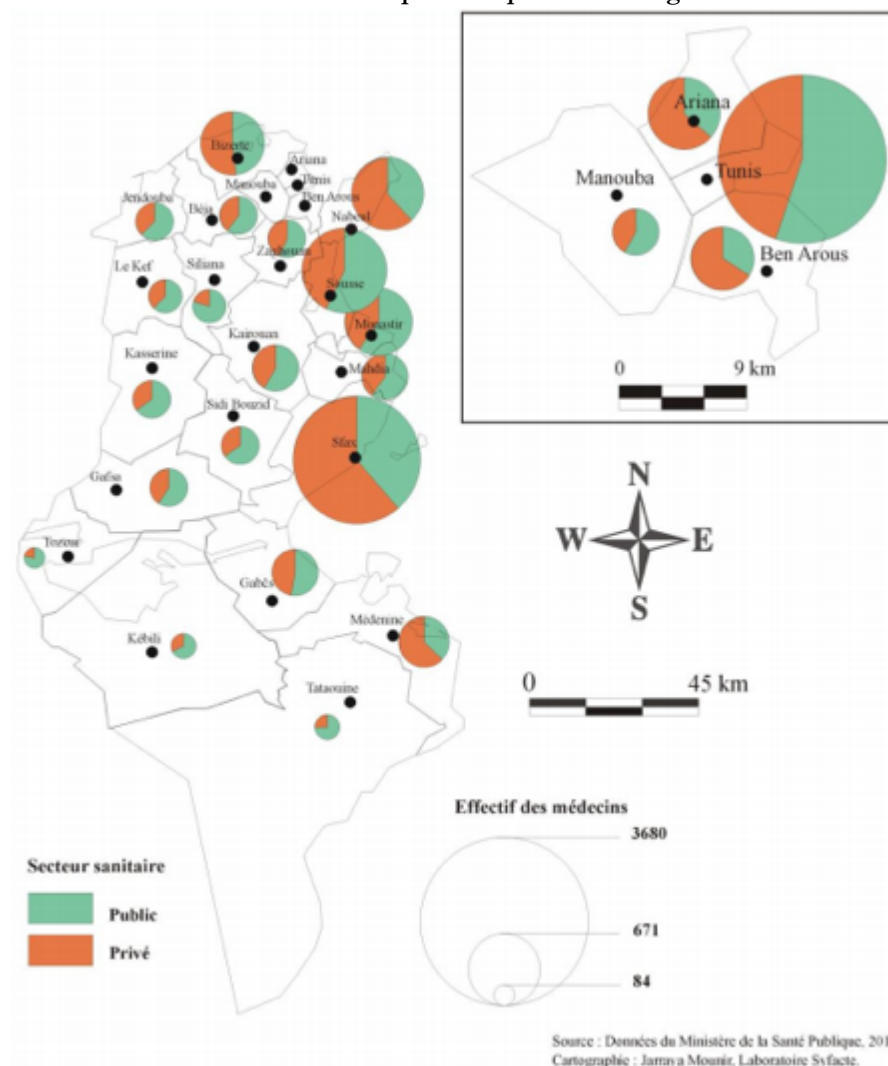
2. LES ENJEUX DE DÉVELOPPEMENT DURABLE DE LA VILLE DE SFAX

Actuellement la ville de Sfax est caractérisée par la présence d'éléments qui peuvent modifier sa situation et qui constituent une source d'espoir sur le long terme.

• Les enjeux économiques

Économiquement Sfax est considérée comme la roue dentée de l'économie tunisienne grâce à sa position géographique, à son port, à ses trames d'oliviers, à sa production d'huile d'olive, à ses entreprises industrielles... Ses atouts ont été renforcés ces dernières années car Sfax est devenue une destination médicale. La ville est dotée d'un nombre important de cliniques privées concentrées dans l'agglomération et comprenant des cabinets médicaux de « libre-pratique » (998 médecins de libre pratique dont 563 spécialistes en 2012), des centres d'explorations radiographiques et biologiques (32 centres de radiologie et 45 laboratoires d'analyses biologiques), des polycliniques (14 polycliniques dont deux en construction), etc. (Ministère de la Santé Publique, 2012).

Figure 5 : Nombre de médecins des secteurs public et privé dans les gouvernorats tunisiens en 2011



- Les enjeux culturels

La cohabitation d'une architecture coloniale, arabo islamique et moderne comme la présence d'édifices monumentaux (la médina, la grande mosquée, l'église, la synagogue, les colonnes, les marabos, les arcades, les statues, les souks, les traditions, les jenens et les borjs...) offrent au visiteur de Sfax un musée ouvert et une expérience de découverte extraordinaire. En 2016, Sfax étant la capitale arabe de la culture a présenté sa richesse culturelle à l'échelle arabe et mondiale. Ce volet culturel doit être bien exploité en se basant à la fois sur sa sauvegarde et sur le marketing : le manque de circuits culturels visibles avec des panneaux signalétiques orientant le visiteur, empêchent de connaître et d'exploiter au mieux cette richesse culturelle.

Photo 2 : Sfax n'est pas une simple ville ... mais une identité qui s'exprime



- Les enjeux sociaux

Les différents acteurs sociaux de la ville de Sfax actifs et motivés (associations, fédérations ou organisations dans divers domaines d'actions) forment une source de contre-pouvoir et de décision. Ils constituent des miroirs qui reflètent les problèmes de la ville. Plusieurs exemples récents l'illustrent.

- L'organisation tunisienne des architectes se mobilise pour arrêter le délabrement qui est en train de ronger un des bâtiments symboles du patrimoine sfaxien (source : Par LM | 09 novembre 2018 à 18:51).
- Le 14 janvier 2016 est une journée historique à Sfax, ses habitants de différentes franges sociales, de différentes couleurs ont proclamé leur droit à la vie en demandant la fermeture dans les plus brefs délais et sans condition de l'usine de la SIAPE. Un collectif de quarante associations et organisations professionnelles : collectif environnement et développement (CSS, conseils de l'ordre des médecins, des avocats, des dentistes, UTICA, CONECT, UPMI, IACE, des associations de développement, d'environnement et citoyennes...) s'est mobilisé, un courrier exigeant la fermeture de l'usine polluante en application d'une décision de l'État datant de 2008 a été adressé aux 3 présidents, aux différents ministres et aux élus de l'ARP... sans aucune réponse (source : NEWS - 15.01.2016 , <http://www.leaders.com.tn>).

- Les enjeux environnementaux

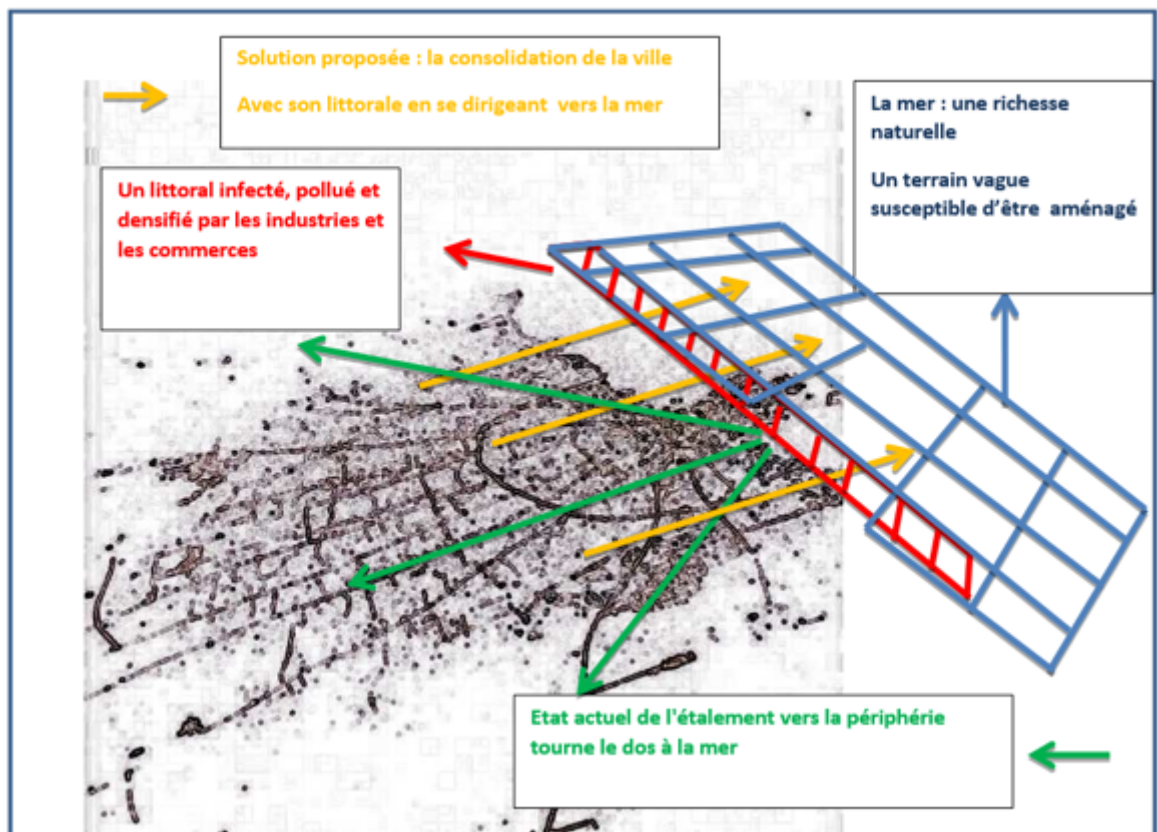
Sfax se caractérise par la présence de composantes urbaines qui lui donnent une valeur ajoutée écologique par rapport à d'autres villes. Parmi elles, on peut citer : les salines, le site archéologique de Thyna et la forêt ou Hinchir Chaal. Par leur superficie, la nature de leur paysage, la vocation de l'espace et les activités qui s'y déploient, ces composantes confèrent à la ville une autre dimension au niveau écologique et environnemental.

- Les salines constituent une destination pour la migration de plusieurs espèces d'oiseaux.
- Le site archéologique de Thyna témoin de l'histoire, peut être revalorisé et réaménagé comme un parc urbain archéologique.

- La forêt Chaal où les trames d'oliviers marquent le paysage, créée à l'époque coloniale, reste exploitée.

La perception et l'étude présentées par ce travail concernent spécifiquement l'aspect environnemental en proposant un modèle d'aménagement différent. La recherche de solutions souples et innovantes visent à proposer un tissu urbanisable donnant des logements pour les prochaines générations, participant à la protection de l'environnement, minimisant la consommation de l'énergie, réconciliant la ville avec son littoral en se basant sur la définition du modèle durable.

Comme la matérialisation d'une telle proposition d'aménagement nécessite de l'espace, on est orienté vers la mer, vers l'eau et l'exploitation de cette richesse naturelle. La mer, ce tissu susceptible d'être urbanisé, aménagé, forme le support de base pour une telle proposition et répond à la commande cherchée.



Pour matérialiser cette idée d'exploitation de la mer et de la consolidation de la ville avec son littoral, le projet consiste à proposer une extension éco-urbaine flottante : des maisons flottantes autonomes groupées et liées par des quais. Cette autonomie énergétique est matérialisée par l'installation d'éoliennes flottantes et de panneaux photovoltaïques sur les toits des maisons.

La liaison de cette extension éco-urbaine autonome flottante à la ville est faite ou matérialisée par un nouveau moyen de transport : les barques. Cette nouvelle extension va participer à l'absorption du processus de développement urbain irréversible en offrant un modèle de logements éco-urbains et un mode de vie différent dans un cadre maritime naturel dépourvu de réseau routier, sans pollution ni rejet de CO₂ (dioxyde de carbone).

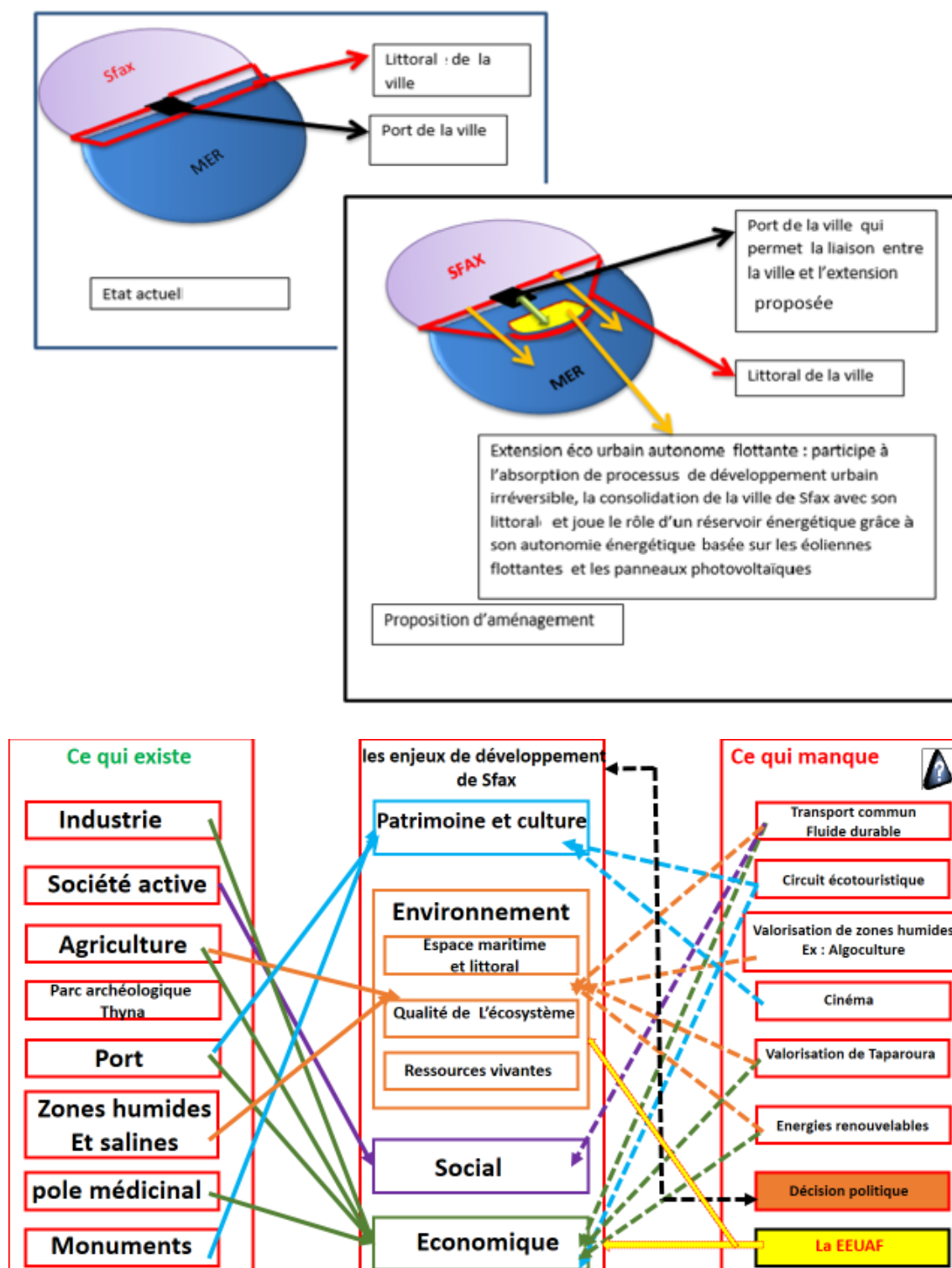
Cette nouvelle extension participera aussi à la consolidation de Sfax avec son littoral et offrira à la ville et sa population la possibilité de profiter de la mer et de s'ouvrir sur elle à travers des façades éco urbaine animées et actives avec la création de cellules éco-touristiques, de cafés, de fast-food, d'espaces verts ou de loisirs et des zones de baignades...

L'extension éco-urbaine flottante va jouer le rôle d'un réservoir énergétique pour elle-même et pour la ville grâce à son autonomie basée sur les éoliennes et les panneaux photovoltaïques.

Ce schéma de principe (figure 6) résume mieux la situation de la ville : Sfax, malgré son rayonnement économique (industrie, usines, salines...), culturel (médiina arabe, synagogue, remparts, statue...), sa richesse paysagère (trames d'oliviers, jensens, zones humides...), urbaine (architecture moderne et héritage colonial...), reste une ville avec une structure désorganisée spatialement à cause de ses problèmes

environnementaux et l'absence d'une décision politique lui offrant la possibilité de se développer sur le chemin de la durabilité.

Figure 6 : Schéma de principe, les ingrédients de développement de Sfax



Les enjeux de développement durable d'une ville polluée comme Sfax sont basés essentiellement et obligatoirement sur le changement des sources énergétiques utilisables : la consommation des énergies renouvelables est un pilier majeur pour minimiser le dégagement des gaz à effet de serre. La mise en place d'un modèle de transport public fluide et durable (tramway, métro...) reliant toutes les composantes de la

ville, participe, en absence d'armature urbaine (pont, échangeur...), à la modération des problèmes environnementaux.

La valorisation des richesses paysagères, comme les zones humides, par la création d'un autre type d'activité telle l'algoculture, va participer à l'insertion d'une dimension économique pour cette composante urbaine.

La création d'une extension éco urbaine autonome flottante va offrir, dans ce contexte de développement durable, un autre modèle d'aménagement articulé sur le principe de base de la durabilité et une autre image du littoral de Sfax. L'idée proposée va permettre à la ville et sa population d'être ouvertes sur son littoral et va constituer une solution paysagère de nature à minimiser les problèmes environnementaux. En effet, la mer est un terrain vague naturel ouvert susceptible d'être aménagé sans réseau routier ni véhicules, sans gaspillage d'énergie.

Les barques, témoins de l'histoire du lieu, peuvent être considérées comme un moyen de transport entre la ville de Sfax et cette extension. La création d'une nouvelle stratégie urbaine basée sur l'installation d'une extension éco-urbaine autonome flottante doit respecter l'écosystème notamment la faune et la flore. De ce fait, les maisons qui forment la ville flottante doivent être équipées par un centre d'épuration des eaux grises³ pour garantir la conservation de la faune et la flore afin d'éviter les risques sur l'écosystème et respecter la nature du milieu maritime.

CONCLUSION

Sfax comme métropole possède des atouts ou des avantages qui peuvent en faire un exemple de durabilité. Elle doit garder son identité et rayonner économiquement et industriellement en se basant sur des sources d'énergies renouvelables. La création d'une extension éco-urbaine autonome flottante entre dans ce contexte et garantit le volet environnemental.

D'un coût élevé, la réalisation d'un tel projet pourra être remboursé grâce à l'autonomie énergétique renouvelable produite par cette extension. Non seulement les coûts de consommation d'énergie vont être diminués pour les individus mais le surcroît d'énergie produite sera vendu par l'État à d'autres usagers. De ce fait, l'État doit accompagner ce projet en encourageant les gens à s'installer dans cette extension éco urbaine autonome flottante par des aides incitatives, compte tenu de l'importance de ce modèle d'aménagement qui participe à la protection de l'environnement.

BIBLIOGRAPHIE

- BACQUET G., ATTARD C. (1980) Une pensée de Sfax de 1881 à 1956, www.ladiasporasfaxienne.com
- BENNASR A. (2006) Sfax : de la ville régionale au projet métropolitain, Centre de publication universitaire. Mondialisation et changement urbain, 79-95.
- BOUTAUD A., BRODHAG C. (2006) Le développement durable, du global au local. Une analyse des outils d'évaluation des acteurs publics locaux, *Natures Sciences Sociétés*, 2006/2, vol. 14, 154-162.
- CES-MED (2010) Plan d'action en faveur de l'énergie durable (PAED), rapport de synthèse des activités du projet CES-MED (EuropAid/132630/C/SER/MULTI), Commune de Sfax.
- CHARLOT-VALDIEU C., OUTREQUIN P. (2010) Qu'est-ce qu'une ville durable ? 04/01/2010
- CLAVAL P. (1977) *La nouvelle géographie*, Paris, PUF, coll. Que sais-je ?, n° 1693.
- DAHECH S., DAOUD A. (2012) Résilience de l'agglomération de Sfax (Tunisie méridionale) face au changement climatique : essai d'évaluation, *Climatologie*, n° spécial climat et changement climatique dans les villes, 109p.
- DAHECH S., DAOUD A., BELTRANDO G. (2011) Les inégalités spatiales de la qualité de l'air dans l'agglomération de Sfax et ses environs. Le cas des températures, de la brise, du CO et SO₂, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00467006> : contributeur : Publications Umr Prodig <jmenu@univ-paris1.fr> Soumis le : jeudi 25 mars 2010 – 15:25:28 dernière modification le : vendredi 27 mars 2010 - 03:50:18
- FOURNIER C. (2017) Texte de synthèse publié dans la plateforme de l'engagement RSE et développement durable, 6 juin.
- GASMI M. (2006) La répartition des établissements industriels à Sfax : un schéma radioconcentrique, *Revue des mondes musulmans et de la Méditerranée*, Les partis politiques dans les pays arabes, Tome 2. Le Maghreb, 245-278.
- GASMI M. (2001) La répartition des établissements industriels à Sfax en 2001, document de travail.

³ Un centre d'épuration des eaux grises est une installation destinée à épurer les eaux usées domestiques ou industrielles et les eaux pluviales avant le rejet dans le milieu naturel. Le but du traitement est de séparer l'eau des substances indésirables pour le milieu récepteur.

- GOOGLE MAPP (2018) image Google Mapp.
- Haj TAIEB R. (2016) Sfax : d'une ville polluée vers une ville durable et sobre en carbone, colloque organisé par la municipalité de Sfax et le Ministère des affaires, 1 juin.
- LEVY J. (1999) *Le tournant géographique : penser l'espace pour lire le monde*, Paris, Belin.
- MERENNE-SCHOUMAKER B. (1983) La logique des villes, *Espace géographique*, tome 12, n° 4.
- MINISTÈRE DE LA SANTÉ PUBLIQUE (2012) Images issues de la plateforme du ministère de la Santé Publique, Tunis.
- MUNICIPALITÉ DE SFAX (2016) Colloque « Sfax : d'une ville polluée vers une ville durable et sobre en carbone » colloque municipalité de Sfax, Ministère des affaires, 1 juin.
- TOPGEO, Bureau d'études (2013) L'Atlas du gouvernorat de Sfax, Direction Générale de l'Aménagement du Territoire au sein du Ministère de l'équipement et de l'environnement, 105p.