



POLYTECH[®]
TOURS

Département
Aménagement et Environnement

polytechnique
de l'université de Tours

CITERES
UMR 7324
Cités, Territoires,
Environnement et Sociétés

Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement, Paysage,
Environnement

Projet de Fin d'Etudes

**Le potentiel énergétique de la
région du Nordeste du Brésil en vue
d'initier une production d'énergies
renouvelables locale**

2017-2018

Directeur de recherche
VERDELLI Laura



Sevilla Manon
Simonin Mathilde

(L'énergie renouvelable dans la région du Nordeste au Brésil)

**Titre : Le potentiel énergétique de la
région du Nordeste du Brésil en vue
d'initier une production d'énergies
renouvelables locale**

**Directeur de recherche
Verdelli Laura
2017-2018**

**Sevilla Manon
Simonin Mathilde**

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

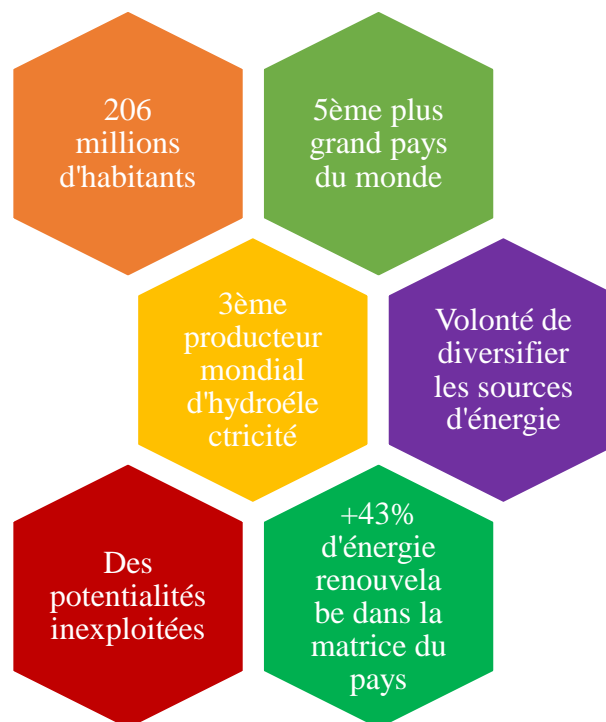
SOMMAIRE

Introduction	7
I- La production d'énergie renouvelable du Nordeste : riche mais des potentialités insuffisamment exploitées.....	9
A. La production de gaz et d'autres combustibles	9
B. Les énergies renouvelables	9
1. L'hydroélectricité : un bassin surexploité et une production vouée à diminuer.	9
2. La biomasse et le biogaz : des installations urbaines actuellement incompatibles.	11
3. L'éolien : un énorme potentiel à exploiter.	12
4. Le photovoltaïque : potentiel unique trop peu étudié.	15
II- Vers une maîtrise de la consommation énergétique.....	17
A. La consommation électrique : une énergie d'avenir.....	18
1. Une consommation électrique miroir de la situation économique du pays.	19
2. L'électricité : une énergie consommée sans limite.	20
B. Le gaz : une énergie encore beaucoup consommée par les ménages.	21
1. Le Gaz de Pétrole Liquéfié, un gaz utilisé pour cuisiner.	22
2. Vers un avenir incertain.....	23
C. Vers une disparition du bois de chauffage dans les ménages Brésiliens.....	23
D. Vers un avenir énergétique prometteur	25

Introduction

Le Brésil est le 5ème plus grand pays du monde à la fois en termes de superficie (12.6 fois celle de la France) et de démographie avec ses plus de 206 millions d'habitants. Economiquement, le pays est une grande puissance émergente, et est actuellement considéré comme la 7ème puissance mondiale.

De telles caractéristiques impliquent d'importants enjeux concernant la gestion énergétique et le coût d'approvisionnement. Aujourd'hui le Brésil est indépendant au niveau du pétrole, mais il est aussi le troisième pays mondial producteur d'énergies renouvelables. En effet, pionniers des agro-carburants avec le bioéthanol issu de la canne à sucre, l'hydroélectricité reste la principale source renouvelable : 63.2% de l'électricité du pays en 2014 (ce qui l'a classé deuxième producteur mondial). Toutefois l'exploitation des fleuves est déjà considérée comme maximale. Et comme le montre Lucena dans son mémoire "The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil.", le changement climatique va réduire la pluviométrie, provoquer des périodes de sécheresses plus fréquentes. Il est donc nécessaire de réfléchir à d'autres alternatives. L'augmentation du coût des énergies fossiles associées aux enjeux de la transition énergétique ont fait que le Brésil a lancé une politique de diversification de la matrice énergétique, en orientant ce développement autour de la production d'électricité renouvelable. C'est le programme PROINFA (2002), dont les objectifs sont les suivants : +3300MW d'énergie renouvelable d'ici 2007 puis +10% annuellement jusqu'en 2027. Le programme n'a cependant pas analysé les potentialités propres à chaque région. En parallèle, l'ANEEL a promulgué en 2012 une loi autorisant l'implantation de mini-structures de production d'énergie renouvelable directement chez le consommateur.



Le Nordeste possède un des plus gros potentiels éoliens et solaires (Atlas Eolica et Atlas Solar de Bahia 2013) du pays. Forte de ses 54 millions d'habitants, elle abrite $\frac{1}{4}$ de la population brésilienne, est constituée de 9 Etats, la principale ville étant Salvador (Etat de Bahia) avec ses 3 millions d'habitants. La région a prévu plusieurs implantations d'infrastructures énergétiques tels que des parcs éoliens et solaires dans les années à venir (ANEEL). Pour autant on ne voit pas l'application de la loi ANEEL 2012.

Etant donné les potentialités de la région, on peut se demander quels seraient les résultats si les habitants du Nordeste implantaient directement chez eux des sources de production d'énergie. Pour répondre à cette question, nous allons dans un premier temps faire un état de l'art de la production d'énergies renouvelables dans le Nordeste (potentialités, politiques) puis étudier la consommation énergétique du secteur résidentiel. Pour constituer cette partie, nous avons étudié les résultats et programmes des acteurs énergétiques du Brésil : l'ANEEL (Agence Nationale de l'Energie Electrique), l'ONS (Opérateur National du Système Electrique) et l'EPA (Entreprise de Recherche Energétique), ainsi que l'institut statistique national ; l'IBGE. Ensuite nous avons lu plusieurs mémoires et thèses qui traitent de la question énergétique dans le Nordeste.

Ces résultats nous aideront à mesurer nos leviers d'actions dans une seconde partie. Cette dernière sera constituée de propositions visant à produire l'énergie directement chez le consommateur, en tenant compte des spécificités de l'habitat. Etant donné la superficie de la région, nous nous concentrerons sur la ville de Salvador.

I- La production d'énergie renouvelable du Nordeste : riche mais des potentialités insuffisamment exploitées.

D'après les estimations de Marengo (2008b), c'est le Nordeste qui devrait subir les impacts les plus importants suites au réchauffement climatique.

Comme expliqué dans l'introduction nous nous concentrons sur le secteur résidentiel. Ce dernier utilise plusieurs types d'énergies dont majoritairement : du gaz et de l'électricité. Ainsi nous pouvons, dans un premier temps, nous interroger sur la production de ces énergies.

A. La production de gaz et d'autres combustibles

Le Brésil a la chance de posséder l'autonomie pour ce qui est du pétrole. En effet le pays possède plusieurs réserves, dont les dernières ont été découvertes en 2006. Ainsi la majorité du gaz produit est issu du pétrole : c'est le Gaz de Pétrole Liquéfié.

Il est aussi le premier producteur mondial de bioéthanol à partir de la canne à sucre. Ainsi, en moyenne 15% des carburants sont issus du bioéthanol d'après les résultats publiés d'Eletrobras (2015).

B. Les énergies renouvelables

1. L'hydroélectricité : un bassin surexploité et une production vouée à diminuer.

Cette production couvre plus de 60% des besoins électriques du pays. Avec ses 1273 exploitations, le pays cumule presque 102 GW de potentiel énergétique. Cela représente 64.16% de l'énergie totale produite par le pays.

Dans le Nordeste, la production hydroélectrique était de 23,75 TWh en 2016, d'après BEN¹. Le bassin principal exploité est celui de Sao Francisco. Long de 634 000km², soit 1/10 du territoire français, couvre 7.5% du territoire brésilien.

¹ Balance Energétique Brésilienne

Quand on regarde les données de l'ONS, le bassin Sao Francisco permettait de couvrir jusqu'à 70% des besoins en électricité, une longue sécheresse en 2012 a entraîné une baisse de la production au point de ne pouvoir couvrir que 42%, 39%, 31% puis 25% pour les années respectives 2012, 2013, 2014 et 2015. Ce manque a été compensé par l'importation d'électricité d'origine fossile.

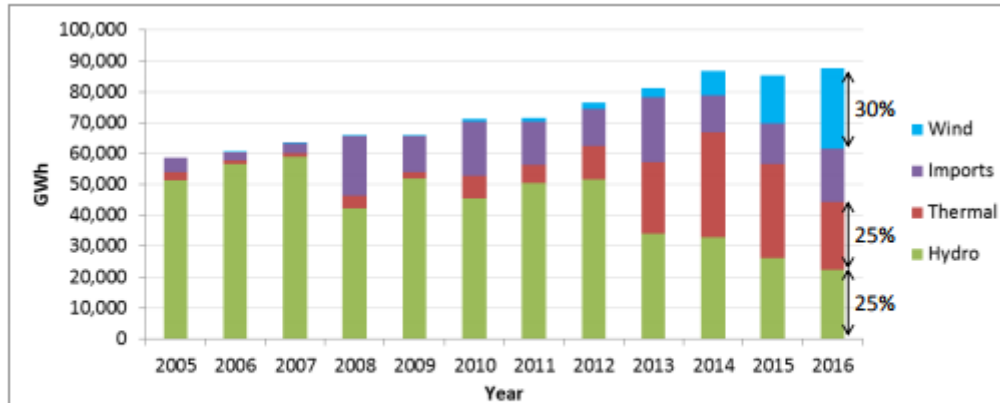


Figure 3: Sources of the Northeast's Electricity. "Thermal" electricity generation in the NE is from fossil fuels & biomass. "Imported" consists mostly of hydro from other Brazilian regions. From 2005-2007, hydro was responsible for more than 87% of the NE's electricity supply. Source: ONS (2017).

Figure 1: Répartition des sources d'électricité du Nord-Est Source: ONS, 2017

Comme l'explique Marengo dans son mémoire (2012), aujourd'hui il est exploité au maximum. 15 infrastructures sont installées le long de ce bassin, dont deux parmi les plus importantes du Brésil : le complexe Paulo Alfonso et l'usine Xingo. Ces exploitations totalisent une capacité de production de **11,966 GW**.

Selon Lucena (2009), les tendances observées par l'ONS (illustrées par le schéma ci-dessus) ne devraient pas changer puisque les prévisions météorologiques estiment une augmentation de 4 à 5°C d'ici 2070 et une réduction de la pluviométrie de 25 à 50%. Cela va provoquer d'importantes sécheresses et donc une réduction de la production d'hydroélectricité.

Pieter de Jong (2009) confirme avec des estimations affirmant que l'hydroélectricité ne pourra plus répondre qu'à 10-15% des besoins d'ici 2030. Pour que l'alimentation électrique du Nord-Est reste majoritairement d'origine renouvelable, il est nécessaire de diversifier les sources d'approvisionnement pour pallier la perte d'hydroélectricité.

L'hydroélectricité possède un rôle aujourd'hui essentiel à l'approvisionnement électrique du Nordeste. Toutefois le bassin principal est déjà exploité au maximum, et le changement climatique va indéniablement réduire la production.

L'enjeu pour la région est donc de mettre en place des sources complémentaires pour parer cette baisse de production et continuer à diversifier la matrice électrique.

2. La biomasse et le biogaz : des installations urbaines actuellement incompatibles.

D'après les définitions de actu-environnement, la biomasse est définie par l'ensemble de la matière organique végétale ou animale. Cette matière contient une forte proportion de méthane (50% en moyenne), et possède donc un fort potentiel calorifique et énergétique.

Le processus pour créer le biogaz copie la méthanisation qui est la dégradation naturelle de la matière organique en gaz dans des conditions quasi anaérobies (sans oxygène).

La biomasse est utilisée essentiellement pour produire de l'énergie thermique. Celle-ci peut être gazeuse ou transformée en électricité. En moyenne, chaque m³ de biogaz possède un pouvoir calorifique de 6kWh. La conversion en électricité ne produit que 2kWh et le reste est transformé en chaleur (pertes).

Il est donc intéressant de penser à la cogénération qui permet de récupérer la chaleur perdue pour l'utiliser en tant qu'énergie thermique tout en produisant de l'électricité.

D'après l'Agence Nationale de l'Energie ELectrique (ANEEL), le Brésil produit 42.8 GW d'énergie thermique, dont 8.82% sont issus de la biomasse.

Le Nordeste produit à lui tout seul 24% de l'énergie thermique issue du biogaz, soit 904MW.

La source de cette biomasse est principalement la canne à sucre. Malheureusement il nous a été impossible de trouver le pourcentage d'exploitations utilisé pour produire cette biomasse. Nous ne savons pas quel est le potentiel total de l'exploitation de la canne à sucre dans le Nordeste. Nous savons que l'électricité produite par les cannes à sucre s'élevait à 2 320 GWh en 2016, selon BEN.

Les potentialités :

Le biogaz peut être créé à partir de déchets végétaux, industriels, domestiques et urbains (égouts). Nous allons évoquer les potentialités de toutes ces sources, mais nous développerons plus en détails la source domestique c'est sur celle-ci que nous auront une marge de manoeuvre par la suite.

Nous avons utilisé la thèse de Zanette et al pour les sources domestiques, urbaines et industrielles, et celles de Lima Junior et al et Gárdos et al pour la source végétale.

- Biogaz issu de source végétale :

Lima Junior et al (<http://www.btdt.ufpe.br/handle/123456789/10160>) ont démontré que parmi les espèces végétales les plus présentes dans le Nordeste, la canne à sucre est celle qui possède le meilleur potentiel énergétique avec 710kWh/m² (contre 439kWh/m² pour le second meilleur potentiel).

Gárdos et al [34] ont démontré qu'il existait la même complémentarité entre la production d'énergie hydroélectrique et celle issue de la biomasse : la récolte des cannes à sucre se fait d'avril à octobre, ce qui correspond à la saison sèche.

- Biogaz issu des déchets industriels :

Les résultats ne sont pas des chiffres de production de biogaz mais un tableau des potentiels selon les types de déchets et les quantités correspondantes. Le papier, l'éthanol et le sucre sont en tête.

- Biogaz issu des déchets urbains :

Zanette et al (http://ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/zanette_luiz.pdf) a étudié le potentiel de production du biogaz issus des effluents urbains.

La situation actuelle fait que le Brésil possède un taux de collecte et traitement des égouts inférieurs à la moyenne des pays développés ou en développement. Ainsi dans le Nordeste, seuls 30% des égouts sont traités. C'est pourquoi il est difficile d'évaluer précisément le potentiel énergétique du biogaz.

- Biogaz issu des déchets domestiques :

Zanette et al ont réalisé des calculs, prenant en compte les paramètres suivants :

- Production de matière organique biodégradable par personne (entre 55 et 68g/jour (d'après HENZE et al., 1997)
- Les spécificités des processus anaérobies et aérobie avec digestion anaérobies (rendements des machines, efficacité d'extraction de la biomasse parmi les déchets collectés). La différence est la suivante :

Pour une population de 100000 personnes, les résultats suivants sont obtenus : pour un traitement anaérobie 9600kWh d'électricité, pour une digestion anaérobie après traitement aérobie : 460kWh. (* d'après http://www.electrigaz.com/faq_fr.htm) Sachant que le Nordeste possède une population de 57 millions d'habitants, cela correspond respectivement à 5.5GWh (plus de 3 fois la production actuelle) et 262MWh selon les modes de traitement.

Pour obtenir de tels résultats il faudrait changer le fonctionnement de collecte des déchets qui ne permet pas, ou très peu, le tri actuellement.

Cette étude s'est concentrée sur la production d'énergie électrique à partir de biogaz.

Le potentiel est là aussi intéressant, même s'il demande des changements conséquents dans le domaine de la collecte des déchets et effluents urbains.

La politique :

En 2008 le Ministère des Mines et de l'Énergie a lancé le premier plan d'action exclusivement consacré à la biomasse. Cela a résulté en 2010 de 31 installations et 321MW de biogaz. Ces infrastructures ont été implantées dans le Sud-Est et le Centre-Ouest.

3. L'éolien : un énorme potentiel à exploiter.

Les vents de la région Nordeste représente un gros potentiel quant au développement de l'éolien sur ce territoire. En 2016, la production d'électricité par cette source était de 28,35 TWh².

² Source : BEN 2016

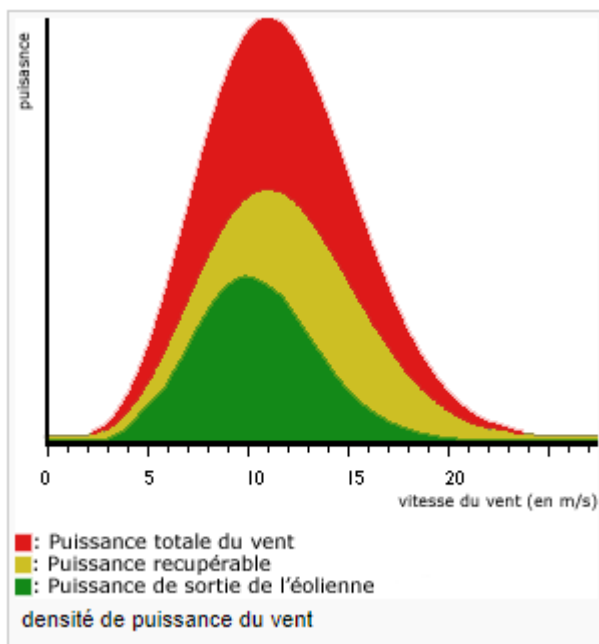
UNE POLITIQUE GOUVERNEMENTALE INCITATIVE

Comme vu dans l'introduction, le Brésil possède une politique de diversification de sa matrice énergétique, qui s'est traduit par le programme PROINFA en 2002. Suite à cela, le Ministère des Mines et de l'Energie a établi la Seconde Loi de l'Energie de Réserve. Cette loi promeut l'installation de l'équivalent de 1805MW dans tout le pays, **dont 390MW dans l'Etat de Bahia**. Ces réformes ont permis l'installation d'entreprises de fabrication d'éoliennes et de faire baisser le prix du marché éolien brésilien. Aujourd'hui, quand on regarde les données de l'ANEEL, on compte 731 sites d'implantations éoliennes dans le Brésil construits ou en constructions.

Depuis ces décisions, l'Etat de Bahia est devenu un pôle majeur pour le pays en gestion de l'énergie éolienne. Ainsi entre 2009 et 2013, des contrats de plus de 2GW ont été signés.

Pour permettre l'implantation de ces nouveaux projets, le gouvernement brésilien a réalisé plusieurs études. La plus récente et la plus complète est L'Atlas Eolien de Bahia de 2013. Ce document visait à remettre à jour une étude réalisée par la Compagnie Electrique de l'Etat de Bahia (COELBA) réalisée en 1994. Ainsi cette version étudie les vitesses jours/nuits des vents selon des hauteurs différentes, calcule les incertitudes, fait des simulations, diversifie plus ses données que l'ancienne version.

Ainsi ressort de cette étude que Bahia possède véritablement un potentiel éolien non négligeable : vents adéquats, zones prometteuses...



Ce schéma montre la puissance produite par une éolienne selon la vitesse du vent. Ainsi on voit que les éoliennes ne peuvent pas gérer les vitesses extrêmes (en-dessous de 5m/s et au-dessus de 16m/s).

Figure 2: Puissance produite par une éolienne selon la vitesse du vent. Source: WIKIEOLIENNE, Etude théorique d'une éolienne, 2017. https://eolienne.f4jr.org/eolienne_etude_theorique (Consulté en novembre 2017)

L'Atlas a analysé les vents de Bahia en tenant compte des paramètres suivants :

1. L'évolution des vitesses des vents selon les hauteurs,
2. L'évolution des vitesses des vents selon les saisons
3. La pluviométrie
4. Les températures
5. Les incertitudes

Il ressort que la hauteur optimale étant donné les sites concernés (de types accidentés ou plaines, dans des zones peu habitées), est de 100m.

Ainsi cette étude démontre que, en analysant les vents et les hauteurs, le potentiel éolien installé est de 70GW à 100m de hauteur pour des vitesses supérieures à 7m/s. Cela correspond à 273TWh/an. Alors qu'en 2012, le parc éolien brésilien cumulait 592.8TWh/an. **Cela suffirait à remplacer la part de l'énergie qui est actuellement importée dans la région, et celle issue de sources fossiles.**

COMPLEMENTARITE ENTRE LA PRODUCTION EOLIENNE ET HYDROELECTRIQUE

Des études ont montré une coïncidence entre les périodes où les débits des bassins hydrographiques sont les plus faibles et les périodes de meilleures intensités des vents. Le tableau suivant montre les débits d'un affluent du fleuve Sao Francisco avec la production éolienne estimée d'une centrale hypothétique de 8GW.

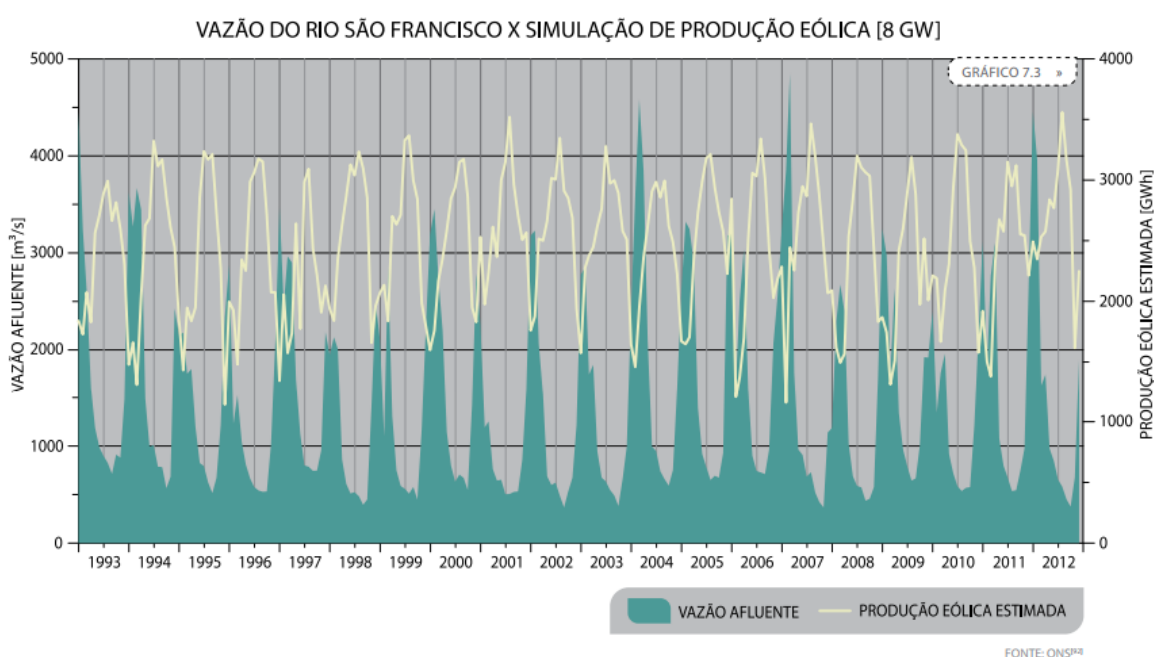


Figure 3: Débits d'un affluent du fleuve Sao Francisco. Source: Forecasting, integration, and storage of renewable energy generation in the Northeast of Brazil-Pieter de Jong-2017

La courbe en bleu représente le débit de l'affluent en m^3/s et la courbe blanche la production éolienne estimée en GWh. La complémentarité apparaît très nettement : lorsque la production éolienne est à son maximum, le débit de l'affluent est très faible (et réciproquement).

Ainsi on peut observer cette complémentarité. La crise électrique de juillet 2013, où les réservoirs hydroélectriques se sont retrouvés historiquement vides, a provoqué la mise en place d'un rationnement énergétique. Depuis une politique d'utilisation et d'implantation d'usines thermoélectriques, pour éviter de nouvelles crises.

Comme l'explique Pieter de Jong, l'énergie éolienne est sensiblement moins chère et possède un potentiel concentré dans Bahia qu'il serait plus économique et renouvelable d'en faire une alternative pour la sécurité énergétique du Nord-Est.

Etant donné l'important potentiel dans cette région, associé au fait que le coût est relativement faible et à la politique incitative de la région, on peut s'attendre à une augmentation de ce type d'implantations.

Toutefois il n'y a aucune étude qui concerne l'implantation d'éoliennes dans les villes. Or les toits sont des surfaces disponibles potentielles, et la loi de l'ANEEL 2012 autorise ce type d'installations. Cela économiserait des coûts d'infrastructures de stockage et de transport.

Toutefois, il ne faut pas oublier que le solaire et l'éolien sont des technologies variables. Ces ressources ne sont pas forcément adaptables à la demande. La difficulté principale est alors d'intégrer cette électricité verte dans le réseau électrique.

La solution pour intégrer ces ressources intermittentes est d'impliquer le développement de multiples techniques comme les réseaux intelligents, stockage etc.

4. Le photovoltaïque : potentiel unique trop peu étudié.

D'après l'Atlas Solar de Bahia 2013, le Nordeste possède les moyennes de radiations solaires les plus importantes du Pays : 5.9kWh/m² (en France, elle se situe autour de 3.5kWh/m²). Un réseau de panneaux solaires dans les zones urbaines pourrait répondre la demande électrique liée à la climatisation. Cela est dû à sa position géographique entre l'Equateur et le tropique du Capricorne et à la faible pluviométrie.

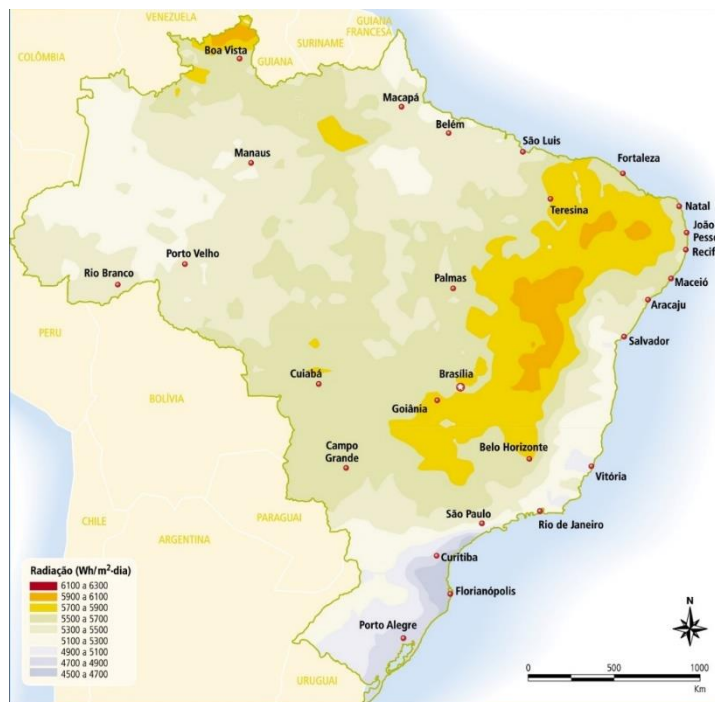


Figure 4 : Répartition des radiations en Wh/m²-jour. Source: Atlas Energia Solar –ANEEL-2003

D'après l'ANEEL, seuls 15MW d'électricité photovoltaïque étaient connectés au réseau national avant 2013, mais que des contrats de 2180MW ont été signés durant les deux années suivantes.

Il est aussi intéressant de relever que le Nord-Est possède d'importantes ressources en silice, qui est un matériau utilisé pour la création de panneaux photovoltaïque.

Ainsi le Nordeste possède un important potentiel photovoltaïque. Mais ce potentiel pour la production d'électricité reste majoritairement inexploré, à l'exception de quelques petits systèmes dans les zones reculées. La production d'énergie photovoltaïque n'est pas autant étudiée que pour l'éolien, ainsi les données sont plus rares et difficiles à trouver. On sait qu'il y a au Brésil 150 sites d'implantations photovoltaïques en construction ou déjà construits et que le Nordeste a produit la moitié de l'énergie photovoltaïque du Brésil en 2016 soit 40GWh³.

. La capacité associée varie selon les sources. Nous estimons que l'incertitude des données est en partie due à l'existence de nombreuses installations photovoltaïques ponctuelles dans les régions rurales/isolées. Selon les études certaines apparaissent, d'autres non.

Ainsi, en plus de pouvoir être un leader en termes d'énergie éolienne, le Nordeste a largement les possibilités de devenir un leader de la production d'électricité photovoltaïque.

Malheureusement on observe encore un coût élevé pour les importations de matériel nécessaire ainsi qu'un manque d'initiatives gouvernementales. En effet, il existe quelques subventions, incitations fiscales, mais cela reste faible, et il n'existe pas de prix définis pour le développement d'énergies solaire ou éolienne.

Mais en 2012, l'ANEEL a approuvé une loi qui autorise le consommateur à avoir des micro/mini sources d'énergies renouvelables connectées au réseau national, et à échanger cette énergie contre des crédits avec le distributeur local.

En définitive, nous pouvons résumer les chiffres clés concernant la production d'électricité dans le Nordeste dans le tableau ci-dessous. Ces données vont ensuite être insérées dans notre toaster.

Source de production électrique	Hydroélectrique	Eolienne	Solaire	Thermo	Canne à sucre
Production en TWh (2016)	23,75	28,35	0,04	40,93	2,32

Finalement, nous l'avons compris, le Brésil a beaucoup de potentiel et peut produire énormément d'énergie à partir de sources renouvelables. Repenser la production n'est pas la seule solution pour optimiser l'énergie. En effet, il est important de comprendre comment l'énergie résidentielle est consommée, utilisée, pour pouvoir ensuite proposer des solutions adaptées.

³ Source : BEN 2016

II- Vers une maîtrise de la consommation énergétique.

Fort de ces 205 millions d'habitants, le Brésil est aujourd'hui le huitième consommateur d'énergie au monde. Comme nous l'illustre la figure 6, il utilise principalement du pétrole, de l'électricité, et de l'énergie provenant des cannes à sucre tous secteurs confondus.

Consumo final de energia por fonte (Total: 195.909x10³ tep - BEN/2006)

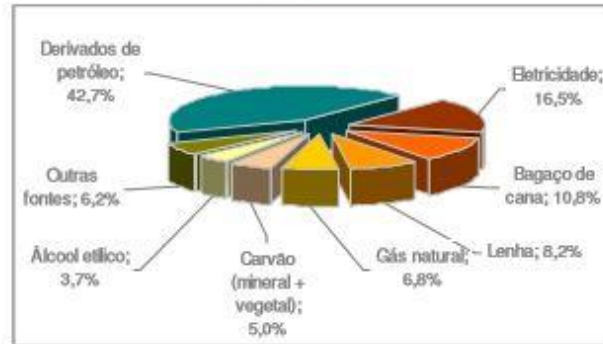


Figure 5 : Consommation finale d'énergie par source. Source: BEN, 2006

A noter que "Bagasse de sucre de canne" est le résidu solide obtenue après le passage des cannes à sucre dans un moulin.

Comme expliqué dans l'introduction, nous allons ici nous concentrer sur le secteur résidentiel, qui comme nous pouvons le voir sur le graphique ci-dessous, représente 11% de la consommation finale du Brésil en 2016, avec près de 290 TWh d'énergie consommée.

Consumo final de energia por setor (Total: 195.909x10³ tep - BEN/2006)

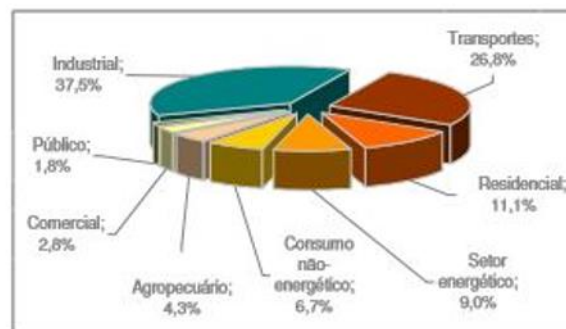


Figure 6 : Consommation d'énergie par secteur. Source : BEN, 2006

La consommation d'énergie dans ce secteur a beaucoup évolué au cours du temps. En effet, elle est en lien direct avec notre manière de vivre. Elle peut refléter la situation économique du pays. Elle est sensible aux crises, aux changements de la société.

Le graphique ci-dessous, montrant l'évolution des consommations finales dans le secteur résidentiel, utilise l'unité « tep » qui signifie « Tonne d'équivalent pétrole ». Il s'agit du pouvoir calorifique d'une tonne de pétrole, soit environ 42 GJ. Dans ce rapport, il est plus adapté de parler en kWh. On estime alors que 1 tep correspond à 11 630 kWh⁴

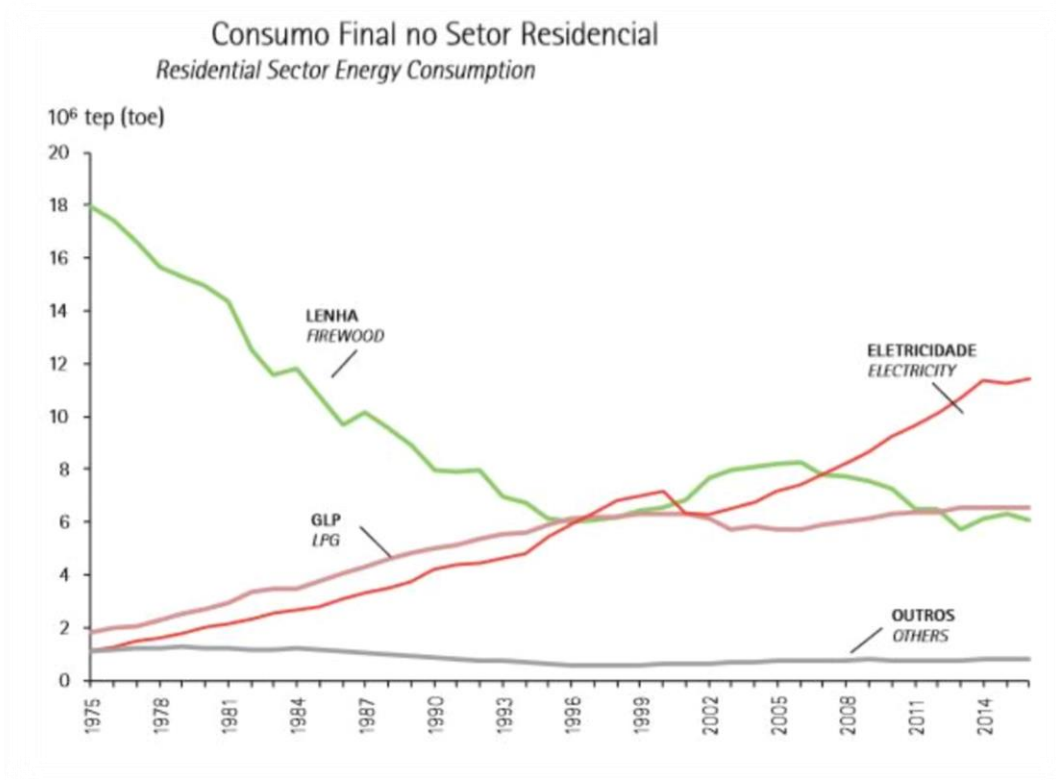


Figure 7 : Consommation résidentielle finale par source d'énergie. Source: BEN, 2016

Ici, nous pouvons clairement observer l'évolution des différentes sources d'énergie utilisées par le secteur résidentiel entre 1975 et 2014. *Ce que l'on entend sous « les autres » sont principalement de l'énergie végétale et le gaz naturel.* Alors que le bois de chauffage était très populaire dans les années 80, aujourd'hui les brésiliens consomment principalement de l'électricité.

A. La consommation électrique : une énergie d'avenir.

En 2016, d'après « le bilan énergétique nationale », la consommation électrique brésilienne s'élève à environ 133 TWh, soit 46% de la consommation totale d'énergie dans le secteur résidentiel.

La région Nordeste est la deuxième région plus consommatrice d'énergie électrique du Brésil, représentant 20.2% de la consommation totale. En 2016, environ 27 TWh ont été consommé au sein du secteur résidentiel, dont près de 7 TWh par l'Etat de Bahia.

⁴ D'après l'agence internationale de l'énergie.

1. Une consommation électrique miroir de la situation économique du pays.

Le secteur résidentiel représente près de 22% de la consommation finale d'énergie électrique au Brésil, après l'industrie (46.7%). D'après la figure 8, la consommation finale d'énergie électrique est en constante augmentation jusqu'en 2013. Cependant aujourd'hui elle tend à diminuer. Pour comprendre cela, il est bon de lier l'évolution de la consommation d'électricité à celle de la société.

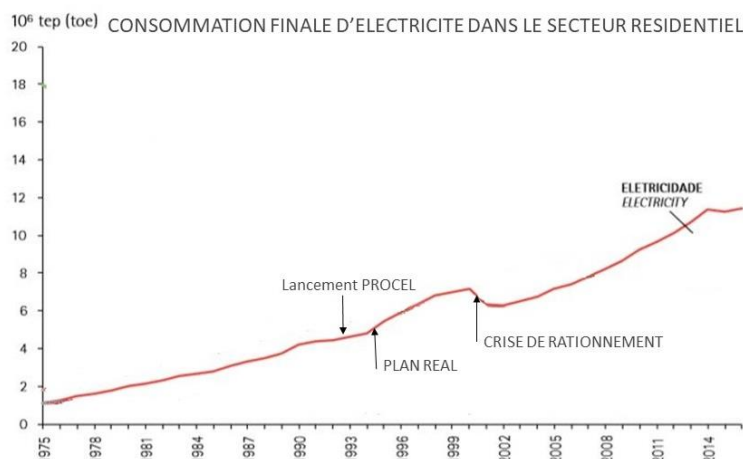


Figure 8: Consommation finale d'électricité dans le secteur résidentielle Source: BEN personnalisé, 2016

Entre le milieu des années 1980 et 1994 le Brésil a connu une faible croissance : il a subi de grandes hyperinflation où le pays enregistrait un taux d'inflation moyen d'environ 1 % par an. Les salaires n'ayant pas été réajustés, les familles ont perdu leur pouvoir d'achat, ce qui a limité leur consommation.

Dès 1993, PROCEL⁵ a développé un programme national visant à « guider le consommateur dans l'acte d'achat, en lui indiquant des produits qui présentent les meilleurs niveaux d'efficacité énergétique dans chaque catégorie, permettant ainsi de réaliser des économies sur leur facture d'électricité. » Les équipements considérés efficaces, sont classés et labellisés avec l'étiquette « A ». Cependant, une grande partie de la population ne connaît pas ce processus. Dans un sondage mené par PROCEL en 2005, interrogeant plus de 10 000 consommateurs, plus de la moitié (53,2%) ont répondu ne pas connaître le label PROCEL. Dans le même sens, l'année suivante, en 1994, un plan économique est lancé : le Plan Real. Il favorise le crédit et la réduction de l'inflation. Il crée une augmentation des ventes d'appareils électroménagers. L'effet est immédiat : la consommation électrique dans les ménages augmente directement. A partir de ce moment, typique pour un pays émergent, le Brésil s'est développé très vite. Avec plus de pouvoir d'achat, les brésiliens peuvent se permettre plus de confort. Les nouvelles manières de vivre et de travailler font que, de plus en plus, ils font l'acquisition d'un ordinateur, d'équipements électriques... D'où l'impact direct sur la consommation électrique.

La chute de la consommation en 2001, s'explique par la grande crise de rationnement de l'électricité. Provoquée par une importante sécheresse, la production d'électricité par les centrales hydroélectrique a été bloquée. Ainsi, entre le milieu de l'année et le début de 2002, le gouvernement fédéral a posé l'objectif de réduire la demande d'électricité de 20%.

⁵ Programme National de Conservation de l'Énergie Électrique

D'après la société de recherche sur l'énergie (EPE), la demande moyenne d'électricité résidentielle, était de 123 kWh/mois/domicile soit 14% de moins que l'année précédente. L'année suivante, il y a eu une réduction supplémentaire de 4%, au niveau minimum de 126 kWh/mois/domicile. C'est aussi en 2001, qu'une loi a mis en place des indices minimum d'efficacité énergétique pour les nouveaux appareils électroniques, afin de compléter le programme PROCEL. Ainsi, au cours des années, des produits moins énergivores, plus modernes, ont été vendus, et ont progressivement remplacé les équipements non efficaces dans les maisons. Cette loi a participé à réduire la demande.

Aujourd'hui la population brésilienne commence seulement à prendre conscience de l'enjeu du développement durable, mais elle n'en fait pas une priorité, loin de là.

Il est donc nécessaire de comprendre comment l'électricité est consommée par les ménages, afin que les solutions proposées dans notre deuxième partie soient adaptées à ce public.

2. L'électricité : une énergie consommée sans limite.

Pour nous, certaines habitudes, manière de vivre sont acquises depuis longtemps en faveur du respect de l'environnement. Ici, les brésiliens ne se soucient guère de cette problématique. Nous pouvons le voir par ce graphique qui nous expose la répartition générale des appareils électroménagers consommant de l'électricité.

- Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial na região

Nordeste

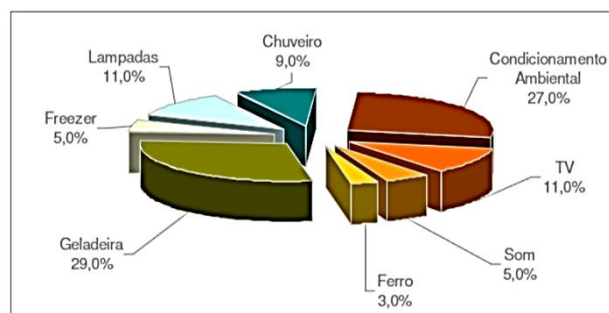


Figure 9: Répartitions des installations électriques dans la consommation résidentielle dans la région du Nord-Est. Source: . PROCEL, (Eletrobras). Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: classe residencial relatório Brasil- 2007

Dans la région de Bahia, le climat est semi-aride et les températures varient entre 22°C et 30°C toute l'année. De plus, par expérience, les brésiliens sont assez adeptes de la climatisation, et n'hésitent pas à la régler sur 16°C. Nous pouvons aussi les voir sortir leur frigo dehors, sur la terrasse, pour pouvoir avoir des bières, et tout ce qu'il faut pour un bon barbecue à portée de main.

Le programme Procel et Eletrobras ont publié en 2007 un rapport sur la possession d'équipements et les habitudes d'utilisation au sein du secteur résidentiel au Brésil⁶. Ainsi les informations suivantes résultent d'une collecte de données nationale auprès des habitants par le biais de 9 847 questionnaires très complet répartie dans 16 états et le district fédéral.

Nous pouvons donc observer que plus de 93.4% des ménages du Nord-Est possèdent au moins un réfrigérateur. Cependant, nous avons pu constater que les familles ne sont pas vraiment préoccupées par la consommation électrique de leurs appareils.

⁶ PROCEL, (Eletrobras). Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: classe residencial relatório Brasil- 2007

La plupart des réfrigérateurs ont plus de 10 ans, et elles n'imaginent pas encore l'intérêt d'acheter un nouveau, plus efficace énergétiquement, ou ne connaissent le système des étiquettes d'efficacité énergétique.

Un autre point important dans cette consommation électrique est la douche. En effet, il s'agit donc de douches électriques. (Lorsque vous touchez le robinet de douche, il n'est pas rare de prendre une petite décharge). Aujourd'hui, 73% des ménages brésiliens disposent d'une douche électrique, ce qui représente 24% de l'électricité. Nous verrons avec la consommation du gaz que ces douches électriques ne sont vraiment pas la meilleure solution. D'autant plus qu'elles demandent une grande quantité d'énergie aux heures de pointes. Cela pose alors des problèmes au niveau de la production, du transport, et de la distribution d'énergie.

En vue de la date de ce rapport, il est bon de préciser que ces chiffres illustrent une tendance et non la situation actuelle.

L'utilisation de l'électricité a tendance à augmenter avec l'électrification des maisons. En effet, en 2010, l'utilisation de l'électricité captive représentait 30% de la demande totale d'énergie d'un ménage, soit 6% de plus que la part en 2005.

Cependant, on observe une stagnation de la consommation d'énergie pour des fins thermique, comme pour la cuisson où le chauffage de l'eau. En effet, cet usage utilise principalement du gaz.

B. Le gaz : une énergie encore beaucoup consommée par les ménages.

Il existe aujourd'hui de nombreuses formes de gaz. Le secteur résidentiel utilise majoritairement du Gaz de pétrole liquéfié (GPL), comme nous le prouve le graphique ci-dessous. La région du Nord-Est est la deuxième plus grosse consommatrice de GPL, représentant 27% de la consommation finale de gaz du Brésil, derrière le Sud (42%).

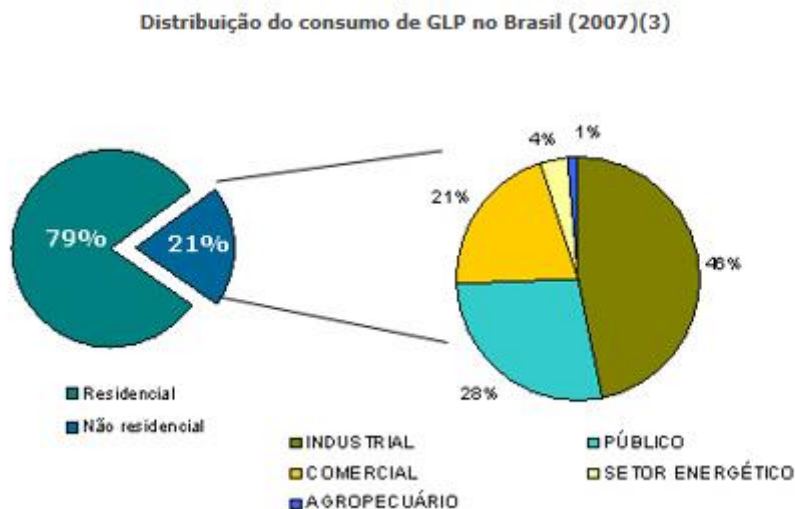


Figure 10: Distribution de la consommation de GPL au Brésil. Source: www.liquigas.com.br -2007

En 2016, le Brésil a consommé plus de 76 TWh⁷ de GPL, soit 26,5 % de la consommation totale d'énergie dans le secteur résidentiel. Le GPL, est un mélange d'hydrocarbures, principalement de propane et de butane. Il est stocké à l'état liquide et est issu du raffinage du pétrole pour 40% et du traitement du gaz naturel pour 60%. Il est connu sous le nom de gaz de cuisine et présente de nombreux avantages :



Figure 11: Avantages du Gaz de pétrole liquéfié (GPL). Source: Personnel

En plus de ne pas se détériorer pendant le stockage, son principal avantage est qu'il est facilement transportable, il peut donc être distribué dans les régions les plus reculées, rurales ou urbaines. Au Brésil, il couvre 100% du territoire et garantit l'approvisionnement de 95% des ménages.

1. Le Gaz de Pétrole Liquéfié, un gaz utilisé pour cuisiner.

En 2016, le Nord-Est représente 27% de la consommation résidentiel du Brésil. Comme son surnom l'indique, le GPL est un gaz énormément utilisé dans la cuisine, pour la cuisson des aliments. En effet, en plus des avantages cités ci-dessus, il produit une flamme propre, et contrôlable et devient ainsi un gaz idéal pour cuisiner. Il permet aussi de chauffer l'eau. Il est même plus économique que l'électricité, et jusqu'à 25% moins cher.

Sans oublier bien sûr les barbecues. Comme nous avons pu le constater, le barbecue fait partie de la culture brésilienne. Nombreux sont les ménages qui en possèdent. Ainsi, ils utilisent les conteneurs à gaz, qui est bien mieux pour la santé que le charbon puisqu'il ne libère pas de particules nocives. De la même manière, il est courant de pouvoir manger des « Acarajes » dans la rue. Ce plat typique nécessite de faire frire une pâte. Ainsi, les bahianaises transportent des bouteilles de gaz, et installent leur stand.

⁷ BEN, 2006

2. Vers un avenir incertain...

Aujourd'hui, l'arrivée des équipements de cuissons électriques entraîne évidemment une baisse de la consommation de GPL. Aussi, nous avons pu remarquer que les appartements consomment moins de GPL que les maisons. Ce fait est à prendre en compte surtout pour les années à venir. L'expansion des villes va augmenter la proportion de ménages logés dans des appartements, et ainsi réduire la consommation de gaz. De plus, le prix d'une bouteille de gaz pèse trop dans le budget des familles plus pauvres. Une bouteille classique de 13kg coûte en moyenne au Brésil 32Rls, soit 9.14% de salaire minimum ! Il serait alors judicieux d'ajuster ce prix au niveau de vie de la population surtout que la région du Nordeste concentre environ la moitié des familles pauvres du pays...

Le GPL est aujourd'hui sous-estimé. Il est vu comme une énergie «ancienne», alors qu'il peut s'avérer très utile pour la cogénération. (cf deuxième partie). Cependant, aujourd'hui il existe d'autres gaz plus en accord avec le développement durable et c'est pourquoi le gouvernement encourage davantage l'utilisation du gaz naturel.

Le gaz naturel

Le gaz naturel est un combustible fossile, constitué d'un mélange d'hydrocarbure gazeux, dont 90 % de méthane. Il est considéré comme une source d'énergie plus propre que le charbon ou les produits pétroliers par exemple. En tant que nouvelle source d'énergie, le gaz naturel a ses inconvénients, en particulier la difficulté de transport du fait qu'il occupe plus de volume, même sous pression. Il n'est également pas facile à liquéfier. Il faut atteindre des températures de l'ordre de -160°C.

D'après l'agence de gaz, Bahiagas, leur nombre de clients résidentiels consommant du gaz naturel a augmenté de façon exponentielle. La société est passée de 1 934 clients en 2007 à plus de 60 000 clients sous contrat, dont plus de 50 000 consomment déjà de l'énergie. Cette évolution est le résultat d'une concentration des investissements dans le développement de ce secteur. Cependant, il a encore du mal à se développer, car il est difficile pour l'instant de fournir ce gaz dans les quartiers plus reculés. De plus, il est presque impossible pour l'instant d'assurer une alimentation ininterrompue et de stocker le gaz naturel.

A l'heure actuelle, il ne représente que 1,4% des énergies utilisées dans le secteur résidentiel. Son prix diminue avec la quantité consommée. Ainsi le consommateur est invité à calculer sa consommation de gaz pour comprendre dans quelle gamme il se situe, et ainsi définir quel est le plus rentable pour lui.

Bien que le gaz naturel soit présent au Nordeste, il est bien plus abondant dans d'autres régions du pays et ainsi plus développé. C'est pourquoi, dans ce rapport, nous n'allons pas nous attarder sur cette source d'énergie.

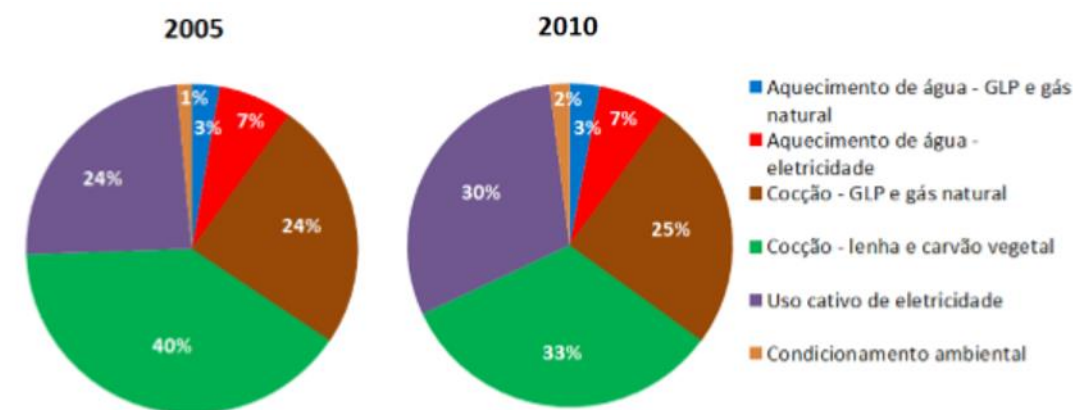
C. Vers une disparition du bois de chauffage dans les ménages Brésiliens.

Le bois de chauffage vient compléter d'autres sources d'énergie. Avec 70 TWh consommés en 2016, le bois de chauffage représente 24.4% de la consommation totale d'énergie dans le secteur résidentiel. En effet, si l'on reprend la courbe de l'évolution des sources d'énergie pour le secteur résidentiel, le bois avait beaucoup de succès. Surtout en 2002, suite aux changements du système de subvention pour l'énergie, le prix du GPL a augmenté de 20% ! C'est pourquoi une partie de la population a opté pour le bois de chauffage au détriment du GPL.

Cette source d'énergie a longtemps été utilisée par les ménages pour la cuisine. Cependant, aujourd'hui, la consommation de GPL et de gaz naturel est plus importante que le bois. En effet, les poêles au bois de chauffage se font de plus en plus rares, laissant place à des plus modernes, nécessitant du GPL ou du gaz naturel, comme nous avons pu le constater dans ce chapitre. Le bois est encore utilisé dans les zones rurales, mais sa combustion est bien moins efficace.

En plus d'être un problème pour l'environnement en vue du nombre important d'arbres à couper, le bois de chauffage a un autre inconvénient. En effet, brûler du bois dans une maison ou un espace fermé provoque l'émission de CO2 et de particules nocives. L'inhalation de ces substances provoque des maladies pulmonaires comme la bronchite et la pneumonie.

Pour résumer :



Demanda de Energia Residencial por Uso Final
Fonte: EPE (2013b, estimativa).

Figure 12: Demande d'énergie résidentielle par usage final. Source: EPE- 2013

En clair, chaque source d'énergie est associée à un ou plusieurs usages. La cuisine prend une grande part dans la consommation d'énergie. Elle utilise le bois mais aussi le gaz (GPL ou naturel). Le chauffage de l'eau est assuré en grande partie par l'électricité. Enfin, l'énergie électrique est dépensée dans les appareils électroménagers ainsi que dans les climatisations.

On peut aussi résumer les chiffres clés dans le tableau ci-dessous. Ce sont les données du Nordeste qui seront insérées dans notre toaster.

Consommation en 2016	Electrique	GPL	Bois de chauffage
Au Brésil	133 TWh	76 TWh	71 TWh
A NordEst	27 TWh	3 TWh	Abs de données

D. Vers un avenir énergétique prometteur

Nous l'avons compris, le Brésil est une terre d'avenir pour la production d'énergie. Ces projets, et ceux que nous allons proposer par la suite doivent répondre aux nouveaux enjeux énergétiques mondiaux et surtout être efficaces sur le moyen et long terme. Pour cela il est bon de s'interroger sur les tendances futures de la population et la société brésilienne, afin d'être le plus cohérent possible.

Pour cela, l'EPE a publié un rapport proposant une projection de la demande électrique au Brésil sur une période de 10 ans (2016-2026). Le premier but étant de stimuler des subventions pour des études. Ils ont réalisé des analyses prospectives des facteurs socio-économiques et démographiques sur cette période. Même si leur méthode de travail est fiable, il ne s'agit que de tendance, et de prospections. EPE de décharge de toutes responsabilités en cas de projets basés sur leurs résultats. [Pour de plus d'informations sur la méthode cf *Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026) – EPE*]

Ainsi, d'après ce rapport, dans le secteur résidentiel, le nombre de raccordements au réseau électrique dépend de variables démographiques, telles que la population, le nombre de ménages et le nombre d'habitants par ménage. C'est pourquoi, afin d'anticiper les tendances de la consommation d'énergie, il est nécessaire d'étudier les différents aspects de l'évolution démographique et leurs effets sociaux et économiques.

Dans les dix prochaines années, les prévisions estiment une augmentation de la population totale du Nordeste de 0.5% atteignant ainsi 59 millions d'habitants en 2026.

Le nombre de ménages est estimé à travers la relation habitant / domicile, dont l'évolution est obtenue dans les recensements de la population par l'IBGE. Il est alors prévu que le nombre de ménage augmente de 1,3% au Nordeste, en 2026. La consommation d'énergie va ainsi, elle aussi prendre de l'ampleur. La consommation électrique résidentielle au Brésil prévoit de s'accroître avec une expansion annuelle moyenne de 3,9% sur la période 2017-2026. Cela peut être considéré comme l'effet combiné d'une croissance moyenne de 2,5% par an du nombre de consommateurs et la croissance moyenne de 1,4% par an de la consommation par consommateur résidentiel.

A l'échelle du Nordeste, la consommation électrique devrait augmenter d'environ 4,5% c'est-à-dire atteindre environ 37 TWh en 2026.

Cependant, la situation économique brésilienne est difficile, le chômage va continuer d'augmenter. Il va donc falloir une plus grande stabilité politique et économique afin de permettre l'augmentation des investissements et de la consommation. S'il en est ainsi, le PIB devrait augmenter en moyenne de 2% au cours des cinq prochaines années.

Conclusion :

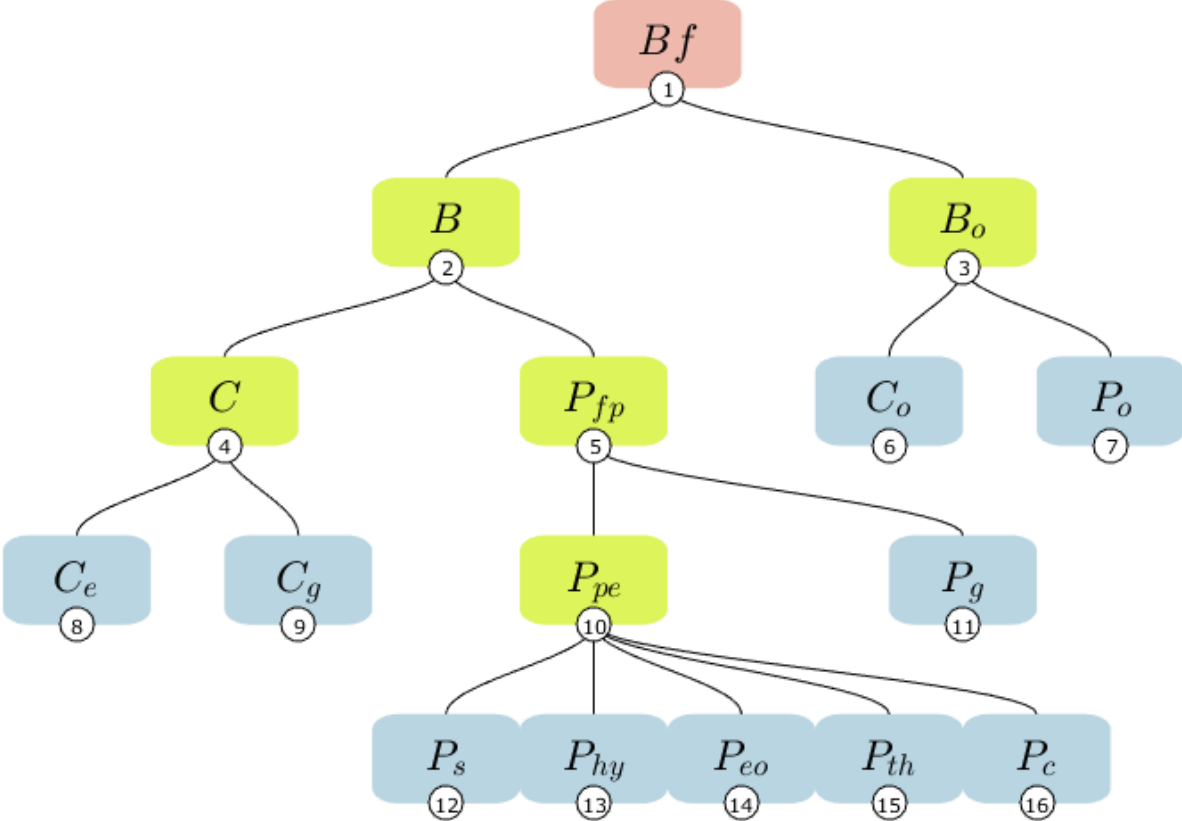
Maintenant que nous avons vu les grandes tendances de production et de consommation résidentielle énergétiques au Brésil, il est temps de se concentrer sur comment améliorer la situation. Les enjeux du changement climatique implique de réfléchir à des modes de production d'énergies durables, mais aussi à des modes de consommations plus raisonnés. Le Brésil a déjà l'avantage de posséder une matrice énergétique relativement variée. Mais ce quasi-monopole de l'hydroélectricité ne sera bientôt plus viable, il est donc urgent de trouver des modes alternatifs. Nous avons vu qu'en ce qui concerne le Nordeste, il y a énormément de potentiel solaire et éolien.

Nous avons aussi vu dans la première partie qu'il existe une loi autorisant l'installation de mini (jusqu'à 1MW) ou micro (jusqu'à 100kW), installations de production d'énergie renouvelable. Cette loi a été mise en place par l'ANEEL (Agence Nationale de l'Energie Electrique) en 2012. Elle s'applique à tout habitant possédant un foyer de résidence. L'énergie produite utilisée directement par le consommateur. S'il y a un reste, il sera introduit dans le système de distribution et le consommateur recevra en échange des « crédits » permettant de réduire la consommation de l'énergie issue du système de production les mois suivants.

Cette loi va nous aider à proposer des solutions pour que l'énergie résidentielle soit plus durable et plus diversifiée.

Nous allons alors imaginer la mise en place d'équipements de production d'énergie au sein même des habitations et ainsi le potentiel que cela pourrait représenter. Nous obtiendrons une production d'énergie optimisée sur laquelle nous aurons fait des simulations en faisant varier plusieurs leviers.

Toaster global :



Bf : Bilan finale en unité	C_e : Consommation électrique en TWh
1 $B_f = B - B_o$	8 $C_e = 27$
B : Bilan d'énergie entre consommation actuelle et potentielle en unité	C_g : Consommation de Gaz en TWh
2 $B = P_{fp} - C$	9 $C_g = 3$
B_o : Bilan optimisé en unité	P_{pe} : Production Potentielle électrique en GW
3 $B_o = P_o - C_o$	10 $P_{pe} = P_s + P_{eo} + P_{hy} + P_{th} + P_c$
C : Consommation actuelle en GWh	P_g : Production de gaz en TWh
4 $C = C_e + C_g$	11 $P_g = 3$
P_{fp} : Production finale potentielle en unité	P_s : Production solaire en TWh
5 $P_{fp} = P_{pe} + P_g$	12 $P_s = 0.04$
C_o : Consommation optimisée en GWh	P_{hy} : Production hydroélectrique en TWh
6 $0 \leq C_o \leq +\infty$	13 $P_{hy} = 23.75$
P_o : Production optimisée en unité	P_{eo} : Production éolienne en TWh
7 $-\infty \leq P_o \leq +\infty$	14 $P_{eo} = 28.35$
	P_{th} : Production thermo en TWh
	15 $P_{th} = 40.93$
	P_c : Production à partir des cannes à sucre en TWh
	16 $P_c = 2.32$

Nous retrouvons dans ce toaster les deux grandes parties étudiées ci-dessus.

D'une part nous avons une consommation actuelle [C], qui dépend de la consommation électrique et de gaz. D'autre part nous avons une production globale [P_{fp}] de ces mêmes énergies. Un bilan [B] est alors fait pour comparer l'écart entre la production et la consommation actuelle.

Dans un deuxième temps, et cela sera l'objet de notre seconde partie, une nouvelle consommation et production optimisées sont analysées, un « bilan optimisé » [B_o] en résulte. Nous pourrions alors faire le lien, avec la situation actuelle.

Méthodologie

Nos différentes recherches nous ont permis d'approfondir nos connaissances dans les énergies renouvelables et surtout sur la situation énergétique du Brésil.

Nos recherches personnelles nous ont amené au Laboratoire d'Energie et de Gaz de l'école Polytechnique à l'Université Fédérale de Bahia. Très bien accueillies, nous avons alors rencontré Pieter de Jong réalisant sa thèse sur «*Prévision, intégration et stockage de la production d'énergie renouvelable dans le Nord-Est du Brésil*». En plus de nombreuses données, il nous a apporté son esprit scientifique dans le cadre d'un exercice comme celui-ci. Après plusieurs rendez-vous, il nous a aussi mises en relation avec d'autres scientifiques et thésistes du laboratoire.

Nous avons ensuite complété ces données par l'analyse de plusieurs dossiers et d'études disponibles en ligne et dans les bibliothèques de l'université.

Nous avons lu tous les documents, pris des notes, traduits les articles de l'anglais ou du portugais. Le croisement et la synthèse de ces informations nous ont permis de cibler, de préciser notre sujet. Nous avons ainsi dégagé le « point manquant de la littérature » : ici, l'absence d'équipement individuel producteur d'énergies renouvelables.

C'est pourquoi, à partir de ce constat, nous avons retracé les types de production d'énergies renouvelables et l'analyse de la consommation résidentielle.

A partir de nos résultats il en a découlé de délimiter notre terrain d'étude à la région du Nordeste. En effet, travailler à l'échelle du Brésil représentait un espace trop grand, et se restreindre à l'étude de la ville de Salvador n'était pas possible par manque de données.

Notre travail a surtout consisté à récolter un maximum de données, en particulier numériques. Ce qui n'a pas été facile en vue du manque de fiabilité de certains résultats. En effet, des chiffres pouvaient varier d'une source à l'autre. Nous avons donc opté pour faire un ensemble théorique de références, et de trouver certains résultats par nos propres calculs.

Aujourd'hui nous avons assez de données pour continuer, et répondre à notre hypothèse qui est d'identifier le potentiel énergétique du Nordeste si l'on insère des productions d'énergies renouvelables directement à la source, c'est-à-dire au niveau des logements.

Bibliographie :

Ouvrages électroniques :

- Ministério de Minas e Energia. Consumo Residencial de Energia Elétrica na Região Nordeste. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2008.[Outubro-Décebre 2017]
- Ministério de Minas e Energia. Anuario Estatístico de Energia eléctrica 2016. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia,2016.[Outubro-Décebre 2017]
- Roberto Lamberts, EneDir Ghisi, Claudia Donald Pereira, Julianan Oliverira Batista. Casa eficiente: Consumo e geração de Energia.Florianopolis UFSC 2010. [Outubro-Décebre 2017]
- PROCEL, (Eletrobras). Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: classe residencial relatório Brasil. Rio de Janeiro: Grafica da ELETROBRAS, 2007 [Outubro-Decebre 2017]
- Adriano Loureiro (Sindicato), Aurélio Ferreira (Sindicato) Edmilson Moutinho dos Santos(IEE-USP) Felipe de A.Sgarbi(IEE-USP). Determinantes do Consumo Residencial de Gas LP: Análises Regionais. 2015 [Outubro-Decebre 2017]
- Ministério de Minas e Energia: Balanço Energético Nacional. Brasília : EPE : Empresa de Pesquisa Energética 2017.
- Ministério de Minas e Energia Consumo de Energia no Brasil: Análises Setoriais. Rio de Janeiro, 2014 [Outubro-Decebre 2017].
- Camargo-Schubert Engenheiros Eólica. Atlas eólico: Bahia. Brasil: Editora Grafica Burti, 2013.
http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlaseolicobahia2013.pdf
- EPE: Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026). Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia,2017 [Janvier 2018]

Thèse :

- Alexandre UHLIG. Lenha e carvão vegetal no Brasil: balanço oferta-demanda e métodos para a estimação do consumo. Thèse : Universidade de Sao Paulo, 2008.
<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-14052008-113901/pt-br.php>
- Pieter de Jong. Forecasting, integration, and storage of renewable energy generation in the Northeast of Brazil. Forecasting, integration, and storage of renewable energy generation in the Northeast of Brazil. Thèse : Universidade Federal da Bahia-UFBA Escola Politecnica 2017
www.pei.ufba.br/site/upload/Tese/DE%20JONG%2C%20Pieter%20-%20Forecasting%2C%20integration%2C%20and%20storage%20of%20renewable%20energy%20generation%20in%20the%20Northeast%20of%20Brazil.pdf
- Lucena A F P, Szklo A S, Schaeffer R, Dutra R M. The vulnerability of wind power to climate change in Brazil. Renewable Energy 2010; 35: 904-12. Marengo, J A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das

alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI / José A. Marengo – Brasília: MMA - Ministério do Meio Ambiente 2007. 2a edição. Available at: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod_probio/Livro2_completo.pdf

Sites web

- Epe.gov.br [Octobre – Décembre 2017] <http://www.epe.gov.br/pt>
- researchgate.net [Octobre – Décembre 2017] https://www.researchgate.net/publication/257548394_Solar_and_wind_energy_production_in_relation_to_the_electricity_load_curve_and_hydroelectricity_in_the_northeast_region_of_Brazil
- aneel.gov.br [Octobre-Décembre 2017] <http://www.aneel.gov.br/>
- actu-environnement.com [Janvier 2018] <https://www.actu-environnement.com>

Table des illustrations

Figure 1: Répartition des sources d'électricité du Nord-Est Source: ONS, 2017.....	10
Figure 2: Puissance produite par une éolienne selon la vitesse du vent. Source: WIKIEOLIENNE, Etude théorique d'une éolienne, 2017. https://eolienne.f4jr.org/eolienne_etude_theorique (Consulté en novembre 2017).....	13
Figure 3: Débits d'un affluent du fleuve Sao Francisco. Source: Forecasting, integration, and storage of renewable energy generation in the Northeast of Brazil-Pieter de Jong-2017.....	14
Figure 4 : Répartition des radiations en Wh/m ² -jour. Source: Atlas Energia Solar –ANEEL-2003.....	15
Figure 5 : Consommation finale d'énergie par source. Source: BEN, 2006	17
Figure 6 : Consommation d'énergie par secteur. Source : BEN, 2006.....	17
Figure 7 : Consommation résidentielle finale par source d'énergie. Source: BEN, 2016.....	18
Figure 8: Consommation finale d'électricité dans le secteur résidentielle Source: BEN personnalisé, 2016.....	19
Figure 9: Répartitions des installations électriques dans la consommation résidentielle dans la région du Nord-Est. Source: . PROCEL, (Eletrobras). Avaliação do mercado de eficiencia energética no Brasil: classe residencial relatório Brasil- 2007	20
Figure 10: Distribution de la consommation de GPL au Brésil. Source: www.liquigas.com.br - 2007.....	21
Figure 11: Avantages du Gaz de pétrole liquéfié (GPL). Source: Personnel.....	22
Figure 12: Demande d'énergie résidentielle par usage final. Source: EPE- 2013.....	24

(4 ème de Couverture)

CITERES

*UMR 7324
Cités, Territoires,
Environnement et
Sociétés*

*Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement,
Paysage,
Environnement*



35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

Directeur de recherche :

**Nom Prénom
d'Etudes**

Nom Prénom

Projet de Fin

**DA5
2016-2017**

Titre (en minuscule) : sous titre (minuscule)

Résumé : (250 mots environ)

Mots Clés :