

## Energies à Bukavu / RD Congo : Place de l'énergie solaire photovoltaïque et quel impact sur l'environnement ?

*Benjamin KAJIBWAMI CIZA*

L.A Physique et étudiant du troisième cycle en environnement, Option Gestion durable des sols, Université Evangélique en Afrique (UEA), Bukavu, RD Congo

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Le diagnostic fait sur les effets du changement climatique observés dans la ville de Bukavu, montre que la sécheresse, les pluies tardives et violentes parfois et même la disparition des certaines sources d'eau ou point d'eau sont les risques climatiques majeurs. Les effets profonds du changement climatique sont dus à l'utilisation des énergies fossiles à 97% pour la cuisson et à 32% pour la lumière et la déforestation due à la consommation des charbons de bois, etc. Il devient impérieux de mieux comprendre les efforts déployés par les importateurs des panneaux solaires dans la région pour faire face aux changements climatiques et qui aura une solution socio-économique. La présente étude s'intéresse à la compréhension qu'ont les populations de la ville de Bukavu des manifestations des changements climatiques, de ses effets perceptibles dans la ville et même dans les milieux périurbains et les mesures qu'elles développent pour y faire face. Elle est basée sur des études qui ont été menées sur 455 ménages enquêtés et interviewés sur la consommation des énergies en général et l'énergie solaire en particulier, choisis dans les trois communes de la ville de Bukavu d'une manière aléatoire. Les résultats de cette étude a montré que les populations de la ville de Bukavu est qui est le plus vulnérables a une lecture des phénomènes climatiques essentiellement fondée sur des savoirs localement construits. En effet, l'énergie solaire électrique photovoltaïque connaît dans ces dernières années, un développement timide qui ne laisse pas envisager à l'avenir une sérieuse concurrence avec l'électricité conventionnelle ; si des stratégies nationales et provinciales communes ne sont pas mises en œuvre pour un développement durable, l'atténuation du changement climatique par l'utilisation des énergies renouvelables sera sans succès dans la ville de Bukavu et en RD Congo en général. Si la production de l'électricité photovoltaïque est partout possible et réalisable, celle de la technologie constitue encore un frein car pratiquement limitée.

**KEYWORDS:** consommation, énergie solaire, environnement, photovoltaïque, impact environnemental.

### 1 INTRODUCTION

#### 1.1 PRÉSENTATION

L'énergie solaire produite par le soleil à la suite de réactions de fusion thermonucléaire, source de la plupart des énergies disponibles sur terre et exploitable pour la production d'électricité. L'énergie solaire se propage dans l'espace sous la forme de « grains », ou quanta d'énergie, les photons, elle est sans cesse renouvelée.

En 1837, le physicien français Claude Pouillet introduisit la notion de constante solaire. Il remarqua que la puissance du rayonnement solaire, mesurée sur le bord extérieur de l'atmosphère terrestre, est pratiquement invariable lorsque la Terre est à une distance moyenne du Soleil. Cette constante est égale à  $1\,350\text{ W/m}^2$  et fluctue d'environ 0,2% tous les trente ans. L'intensité de l'énergie solaire réellement disponible à la surface de la Terre est inférieure à la constante solaire en raison de l'absorption et de la dispersion de cette énergie, due à l'interaction des photons avec l'atmosphère, les nuages ou encore les fumées produites par la pollution. La puissance solaire disponible en tout point de la Terre dépend également du jour, de l'heure et de la latitude du point de réception. De plus, la quantité d'énergie solaire captée est fonction de l'orientation du récepteur.

A l'heure actuelle où les énergies d'origine fossile ne pourront assurer un développement durable de l'humanité et le recours à ces énergies fossiles constitue un risque absolu si des technologies appropriées de capture de CO<sub>2</sub> ne sont pas mises en œuvre, les énergies renouvelables s'imposent comme une alternative dans ce contexte consistant à inventer le mix énergétique des prochaines décennies, du fait qu'elles n'offrent pas les mêmes risques et que leurs avantages sont par contre largement complémentaires.

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique dans lequel se trouvent notamment le rayonnement des rayons cosmiques, gamma, X, la lumière visible, l'infrarouge, les micro-ondes et ondes radios en fonction des fréquences d'émission. Tous ces types de rayonnement électromagnétique véhiculent de l'énergie. Le niveau de flux énergétique mesuré à la surface de la terre dépend de la longueur d'onde du rayonnement solaire.

Deux grandes familles d'utilisation de l'énergie solaire à cycle court se distinguent :

L'énergie solaire thermique, utilisation de la chaleur transmise par rayonnement et l'énergie photovoltaïque, utilisation du rayonnement lui-même pour produire de l'électricité.

## 1.2 ENERGIE SOLAIRE EN MILIEU NATUREL

La surface de la terre reçoit chaque année  $16.10^{15}$  kWh (équivalent à une puissance continue de  $180 \cdot 10^6$  GW) dans toutes les longueurs d'onde du spectre de la lumière visible, 30% sont directement réfléchis dans l'espace, 45% sont absorbés, convertis en chaleur et rayonnés dans l'infrarouge. Les 25% restant alimentent les cycles hydrologiques (24%) et la photosynthèse (0,06%) soit l'équivalent d'une moyenne de  $45.10^6$  GW (Multon, 1998). L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil par son rayonnement, direct ou diffus. L'énergie lumineuse issue du Soleil est à la base de la majeure partie des formes d'énergie disponibles : énergies chimique, thermique, hydraulique, électrique. Par exemple, les combustibles fossiles, tels que le charbon, le gaz naturel et le pétrole, ont été formés à la suite d'un stockage d'énergie solaire par des organismes, sur une longue période. En fait, l'énergie nucléaire est la seule à ne pas provenir de l'énergie solaire.

Grâce à divers procédés elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité (V. Duluc, 2007).

Les énergies solaires et éoliennes ne représentent encore que 2% dans le bilan énergétique mondial, mais leur croissance est de 30% par an (Goldemberg, 2000). Cette croissance est le résultat de plusieurs facteurs : raréfaction prévisible des combustibles fossiles (notamment le pétrole) ; impact sur l'effet de serre et autres pollutions (correspondant à des externalités); augmentation des taxes (traduisant les externalités et visant à réduire la consommation) (Maldague, 2005).

Dans le cadre de ses recherches, la commission National de l'Énergie (CNE) a effectué des mesures d'ensoleillement en RDC. Le pays se trouve certes sur l'équateur, juste en dessous de la ceinture solaire (H. Esseqqat 2011). Le potentiel solaire de la RDC est considérable. Les mesures d'ensoleillement réalisées dans des différentes stations météorologiques du pays renseignent que la RDC se trouve dans une bande très élevée dont les valeurs sont comprises entre 3250 et 6750 Wh/m<sup>2</sup>/jr (Mponyo, 2012). Dès lors que la valeur minimale pour l'électrification par système photovoltaïque est de 1 kWh/m<sup>2</sup>, on peut déduire que l'énergie solaire offre un énorme potentiel inexploité. Le rayonnement et ensoleillement global journalier (moyenne annuelle) à Bukavu est 4,60 Kcal/m<sup>2</sup> et 5,34 kWh/m<sup>2</sup> (H. Esseqqat 2011).

## 1.3 PHOTOPILES

Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le soleil (rayonnement), mais aussi la lune (marée) et la Terre (énergie géothermique) (Techno-science glossaire, 2014). La cellule photovoltaïque solaire, un dispositif utilisant l'effet photovoltaïque, permet de convertir directement le rayonnement solaire en énergie électrique. Un système photovoltaïque consiste en un ensemble de cellules montées en panneaux qui sont reliés en série, en parallèle ou de façon combinée.

Les différentes méthodes de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire sont relativement peu répandues puisqu'elles ne représentent que 0,0018% de la production d'électricité mondiale. La ressource solaire est plus ou moins disponible dans la ville de Bukavu, car l'ensoleillement est variable et parfois difficile à prévoir selon l'heure du jour, les conditions climatiques et la saison. L'ensoleillement varie de façon importante en fonction du temps, de la couverture nuageuse, la présence de nuage diminue l'ensoleillement, ce qui réduit en conséquence la production d'énergie et des variations des deux saisons existantes à Bukavu ici l'intensité de l'ensoleillement journalier varie beaucoup selon les saisons sur toute la planète. Cela influe en proportion sur la production d'énergie photovoltaïque.

Mais retenons que le facteur qui contribue le plus au développement de l'exploitation de l'énergie solaire est la richesse du pays et non son ensoleillement. Car on remarque que les pays dont la part d'électricité produite par le solaire est la plus

forte ne sont pas les pays dont l'ensoleillement est le plus important : l'Allemagne et le Japon sont les pays qui produisent le plus d'électricité d'origine solaire. A cet effet, le potentiel des ressources en énergies renouvelables au Sud-Kivu (particulièrement pour les applications électriques) est loin d'être pleinement exploité, essentiellement en raison du faible intérêt politique qu'elles suscitent et des niveaux d'investissement exigés. Ces technologies renouvelables et d'autres pourraient apporter une contribution significative et joueraient un rôle d'importance capitale dans l'amélioration de la sécurité énergétique et de l'accès à des services énergétiques modernes tout en renforçant le développement du secteur de l'énergie au Sud-Kivu et à Bukavu en particulier.

Un recours plus important aux énergies renouvelables est une des conditions nécessaires pour accéder à un développement durable. Elles offrent, en effet, des avantages pour résoudre les problèmes d'énergie, d'environnement et de développement économique et social (M. Michel Maldague, 2001).

Le secteur de l'énergie en RDC est caractérisé par un paradoxe : le pays est doté d'abondantes ressources (avec notamment un potentiel hydroélectrique qui pourrait pourvoir aux besoins de l'ensemble du continent africain), mais la consommation est parmi les plus faibles du monde.

Le potentiel d'exploitation de cette richesse est cependant limité. Il est donc urgent de mener des recherches sur les solutions alternatives relatives à l'utilisation des énergies renouvelables qui semblent prometteuses en vue de diminuer la pression intolérable exercée actuellement sur les réserves de biomasse. La disparition des forêts provoque le rejet du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère ; le secteur de la foresterie, principalement à travers la déforestation est responsable d'environ 17% des émissions de GES (GIEC, 2007) ce qui en fait la 2<sup>e</sup> plus importante source de GES après le secteur de l'énergie.

En effet, le développement économique d'un pays ou d'une région se mesure, en partie, par la consommation d'énergie par habitant et par an. Ainsi le faible niveau de couverture en énergie électrique observé au Sud-Kivu en général et à Bukavu en particulier entraîne une forte poussée vers l'utilisation des combustibles fossiles, des bois et ses dérivées qui contribuent aux émissions de GES (seconde communication nationale à la convention cadre sur le changement climatique, 2009).

Les émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine provoquent l'augmentation de la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, et, par conséquence, le réchauffement de notre planète (GIEC, 2007). À l'heure où l'Homme prend conscience de la nécessité de préserver l'environnement, la compréhension des mécanismes qui influent sur le cycle du carbone apparaît comme prépondérante notamment pour moduler les émissions de GES comme le dioxyde de carbone et le méthane (Alexis de JUNET, 2008), l'énergie renouvelable est l'un de ces mécanismes.

La production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables, quant à elle, n'émet pas directement d'émissions de GES cela est son point fort. Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à ces technologies sont dues uniquement à la construction des infrastructures et à leur maintenance qui varient fortement d'un site à l'autre (C. Bordier, 2008). L'impact environnemental de fonctionnement de l'énergie solaire comme énergie renouvelable est très faible mais pas nulle contrairement à certaines idées courantes.

La progression des énergies renouvelables pourra permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre à Bukavu en particulier et au Sud-Kivu en général pour la production et la consommation électrique de plus ou moins 50%. Retenons que la sous Région de Grand lac a des potentialités d'équilibrage à base d'énergies renouvelables (ENR de stock : hydroélectricité, le solaire, l'éolien, la géothermie, le biogaz) qui ne sont pas exploités au maximum.

Contrairement à d'autres moyens de produire de l'électricité, le solaire n'a pas besoin d'eau pour fonctionner, ce qui représente un avantage énorme dans les endroits où cette ressource manque comme les déserts secs qui ont aussi l'avantage d'avoir de grandes surfaces utilisables et un ensoleillement très fort. De plus, l'utilisation de l'énergie solaire ne dégage aucun gaz à effet de serre et ne produit pas de déchets radioactifs. Le non rentabilité économique de l'énergie solaire est clairement compensé par ces bienfaits environnementaux.

Les panneaux photovoltaïques produisent un courant électrique continu.

Le régulateur optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection, l'onduleur transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteurs AC. L'onduleur permet de convertir le courant continu produit par les panneaux photovoltaïques en courant alternatif identique à celui du réseau électrique.

Les batteries sont chargées de jour pour pouvoir alimenter la nuit ou les jours de mauvais temps.



Source : Microsoft encarta 2009

## 2 MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE ET MATÉRIEL

### 2.1 SECTEUR D'ÉTUDE

Cette étude a été menée dans la ville de Bukavu chef-lieu de la province du Sud-Kivu située à l'Est de la RDC. Le Sud – Kivu montagneux est la partie orientale de la province du Sud – Kivu (64849, 1 km<sup>2</sup>) qui dans l'ensemble est une région montagneuse.

La ville de Bukavu (64,310 km<sup>2</sup>) soit 11,8 % de la superficie totale de la province du Sud –Kivu est située à l'Est du pays, dans le rift africain occidental, entre 2°26' -2°33' de latitude sud et 28°49' – 28°51' de longitude Est.

L'accroissement démographique est très accéléré dans ce milieu où la densité moyenne de la population excède 200 habitants au Km<sup>2</sup>, densité qui figure parmi les densités les plus élevées de la République Démocratique du Congo (Ruvuna, 2014)

A une **altitude** moyenne de 1612 m, elle est ainsi la ville la plus élevée du pays. Sa superficie de 64,310 km<sup>2</sup> s'étend en grande partie sur la terre ferme (45 km<sup>2</sup>) et sur les eaux du Sud-Kivu (19 km<sup>2</sup>). Bâtie sur les bords du lac Kivu d'une altitude de 1463 m (Pasche, 1980).

La ville fut créée en 1925, à l'époque belge et s'appelait Constermansville. Elle est limitée : au nord par le lac Kivu, à l'est par la vallée de la Ruzizi, à l'ouest et au sud par le territoire de Kabare qui constitue sa base arrière la plus proche tant en matière première locale qu'en main d'œuvre.

Elle jouit d'un climat tropical de basse altitude, subéquatoriale ou tropical humide à saisons sèches (juillet à septembre) et la température moyenne est de 20°C.

La ville de Bukavu comptait 60850 habitants (1960), 848081 habitants (2010), 870954 habitants en 2012 (Mairie de Bukavu, 2014) et actuellement cette population tend vers plus d'un million repartie dans 3 communes urbaines : Bagira, Kadutu et Ibanda avec 13 quartiers (Kasali, Nyamugo, Cimpunda, Mosala, Nkafu, Nyakaliba, Kajangu, Ndendere, Panzi, Nyalukemba, Nyakavogo, Lumumba et Kasha) (hôtel de ville de Bukavu 2014).

## **2.2 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE ET ANALYSE DES DONNÉES**

Devant l'immensité de la zone d'étude, les données ont été récoltées prioritairement sous la forme d'enquêtes auprès d'un échantillonnage représentatif des populations de la ville de Bukavu. L'enquête a été de types hybride. De nature structurée, elle a concentré le questionnaire autour de trois points : l'état des panneaux photovoltaïques, la consommation et la perception sur l'impact de l'utilisation de l'énergie solaire sur l'environnement

L'Excel 2007 a permis de calculer  $X^2$  pour comparer les résultats aux résultats de nos recherches de 2012 et ceux de 2015

Des statistiques descriptives ont été utilisées pour représenter les graphiques. Les analyses statistiques utilisées pour comparer les différences entre les différentes consommations des énergies sont issues des tests du  $X^2$  d'indépendance, avec un seuil de signification de .05.

## **2.3 TECHNIQUE STATISTIQUE D'ANALYSE DES DONNÉES**

La consommation de l'énergie solaire dans différents secteurs et dans les ménages de la ville de Bukavu a été obtenue par l'enquête menée auprès des 455 ménages de la ville qui ont été sélectionnés d'une manière aléatoire au mois de Novembre 2015. Cette dimension de l'échantillon a été déterminée en utilisant la formule de Bryan (1992) dans l'hypothèse qu'au moins 95% de la population utilise une ou l'autre forme d'énergie comme l'électricité d'origine solaire, hydroélectrique ou énergies fossiles.

## **2.4 MÉTHODE DE COLLECTE**

La phase de collecte de données s'est déroulée en trois étapes : la phase de clarification conceptuelle, la phase d'exploration et la phase d'étude fine/approfondie faite de collecte de données quantitatives à base de questionnaire individuel.

## **2.5 LA PHASE DE CLARIFICATION CONCEPTUELLE**

C'est une phase qui a préparé la phase des entretiens de groupe. Les savoirs locaux sont capitalisés en des concepts à clarifier pour la collecte de données fiables. La clarification conceptuelle a été faite lors des séances d'entretien dans les ménages ayant l'habitude de la lecture des perturbations climatiques.

## **2.6 LES ENQUÊTES EXPLORATOIRES**

Les entretiens ont été conduits dans des focus groupes composés de producteurs ayant de l'expérience dans l'activité de la production de l'énergie solaire photovoltaïque. Pour avoir des informations de qualité, des groupes ont été constitués dans différentes communes enquêtées, dans leurs spécificités.

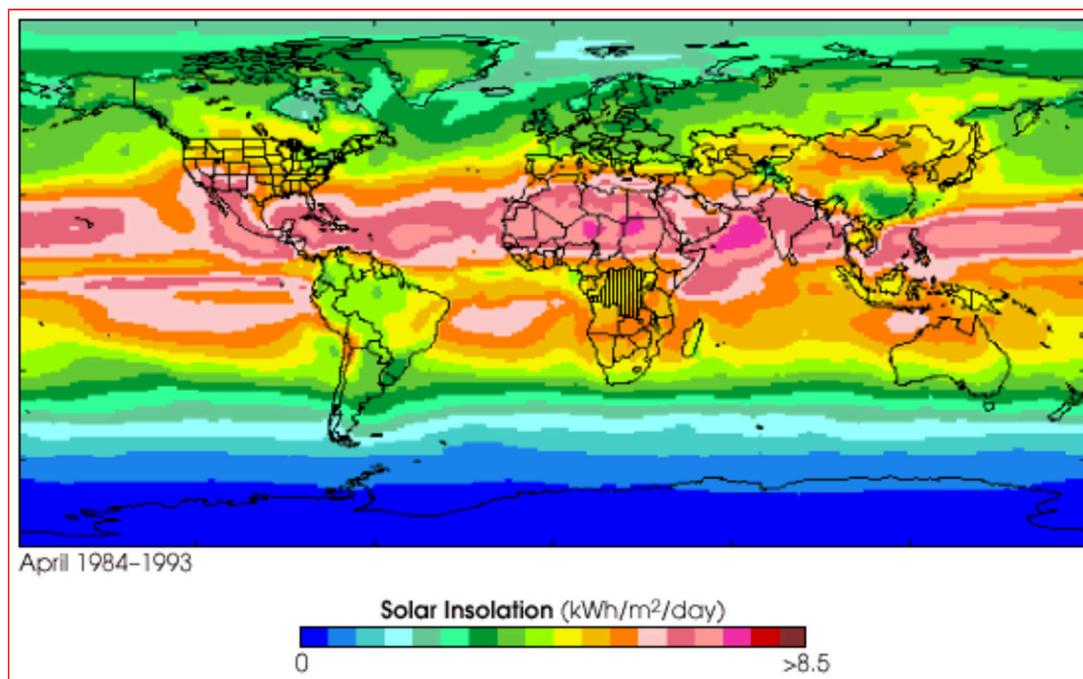
Le guide d'entretien élaboré a abordé les aspects des changements climatiques dus à l'utilisation des énergies fossiles, dans leurs manifestations, les conséquences sur le milieu, les hommes (les moyens d'existence) et les différentes stratégies développées pour y faire face en vue de dégager les impacts sur l'environnement.

# **3 RÉSULTATS**

## **3.1 POTENTIEL**

La carte ci-dessous et le tableau 1 montre le rayonnement et l'ensoleillement de la République Démocratique du Congo, comme le pays se trouve sur l'Equateur, juste en dessous de la ceinture solaire (pays en rayure sur la carte ci-dessous) mais il n'en était pas moins important de confirmer ces faits par des mesures scientifiques et quantifiables (Henri Esseqqat, 2011).

## 3.2 CEINTURE SOLAIRE DU GLOBE TERRESTRE



Source : Earth Observatory de la NASA36

Les mesures d'ensoleillements obtenues par la CNE sont des valeurs moyennes sur l'année comprises entre 3,34 et 6,73 KWh/m<sup>2</sup>. La valeur minimale pour l'électrification par le système photovoltaïque est de 1 KWh/m<sup>2</sup> en RDC, la ville de Bukavu se classe à la 4<sup>e</sup> place.

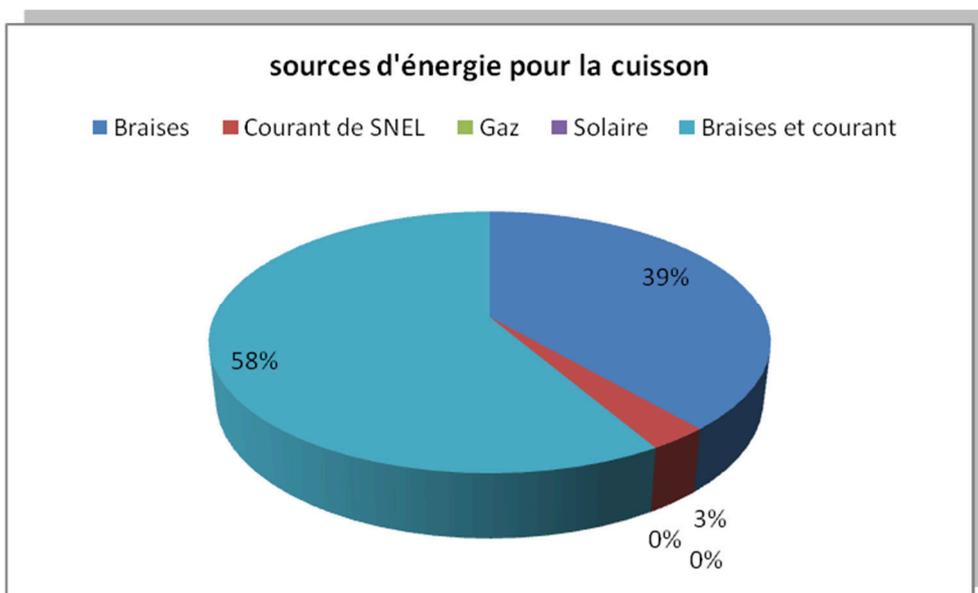
**Tableau 1. Rayonnement et ensoleillement global journalier (moyenne annuelle) en RDC**

	STATION	RAYONNEMENT (Kcal/m <sup>2</sup> )	ENSOLEILLEMENT (KWh/m <sup>2</sup> )
1	Kongolo	5,80	6,73
2	Manono	4,70	5,45
3	Kolwezi	4,70	5,45
4	Bukavu	4,60	5,34
5	Bunia	4,20	4,87
6	Kalemie	4,10	4,76
7	Bandundu	4,00	4,64
8	Inongo	4,00	4,64
9	Kisangani	4,00	4,64
10	Goma	4,00	4,64
11	Mbandaka	3,90	4,52
12	Tshikapa	3,80	4,41
13	Mbuji-Mayi	3,80	4,41
14	Lubumbashi	3,80	4,41
15	Kindu	3,80	4,41
16	Kananga	3,70	4,29
17	Lodja	3,70	4,29
18	Kikwit	3,80	4,25
19	Kinshasa	3,30	3,34
20	Moanda	3,30	3,83
21	Boma	3,25	5,45
22	Matadi	2,80	5,45

Source : Rapport Metelsat, 1994 cités par l'état des lieux du secteur énergie 2005 CNE

### 3.3 CONSOMMATION DE L'ÉNERGIE À BUKAVU POUR LA CUISSON

Au graphique 1, nous présentons le résultat de consommation de l'énergie pour la cuisson, qui montre la dominance très forte de l'utilisation de l'énergie fossile dans la cuisson soit 97% de l'utilisation de braises contre 61% du courant de la SNEL et 3% des ménages qui utilisent le courant électrique seulement pour la cuisson. Il ressort de ces résultats que l'énergie solaire reste absente dans l'utilisation pour la cuisson.



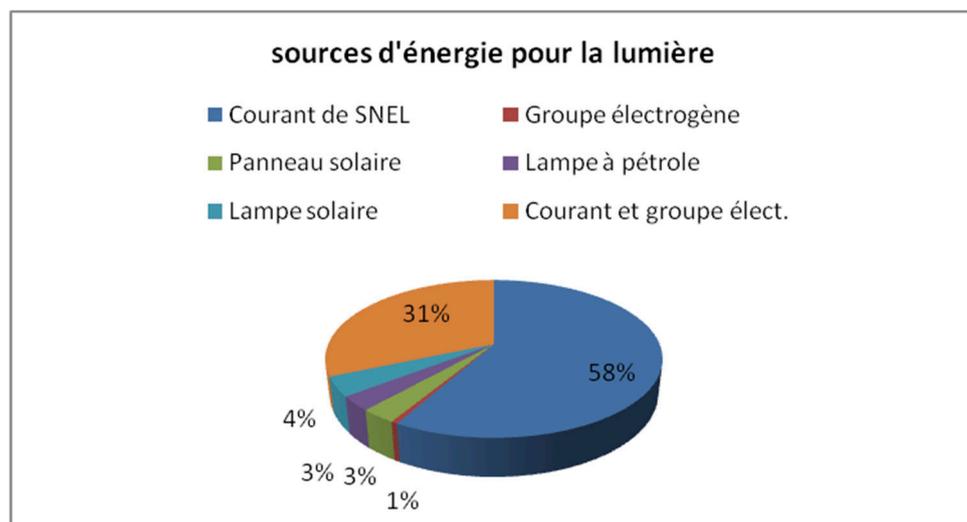
Graphique 1 : sources d'énergie pour la cuisson pour la ville de Bukavu

### 3.4 CONSOMMATION DE L'ÉNERGIE À BUKAVU POUR LA LUMIÈRE DANS LES MÉNAGES

Aujourd'hui, le taux d'électrification dans la ville de Bukavu est évalué à 4,59% selon les enquêtes effectuées en 2012, la durée moyenne d'utilisation du courant électrique de la SNEL par les consommateurs est estimée à 2 heures et l'hydroélectricité est la seule source renouvelable qui semble être exploitée. L'énergie solaire était encore à la phase embryonnaire (B. Kajibwami, 2015).

Le graphique 2 montre la consommation de l'énergie pour la lumière dans les ménages dans la ville de Bukavu, 89% des ménages utilise le courant électrique pour la lumière, un courant qui reste rare suite au délestage intempestive, la durée moyenne est estimée à 2 heures par jour ce qui pousse les ménages le recourt aux différentes sources d'énergie fossiles comme le groupe électrogène qui est utilisé à 32% aujourd'hui ou aux énergies solaires.

D'autres ménages sont abonnés à la SNEL mais ils consomment l'énergie électrique une ou deux fois par semaine ce qui les poussent à l'utilisation des énergies fossiles. L'énergie solaire est entrain de prendre un essor malgré que jusque-là ce soit encore pour la lumière seulement, les panneaux solaires et les lampes solaire 7% et le groupe électrogène à 32%.



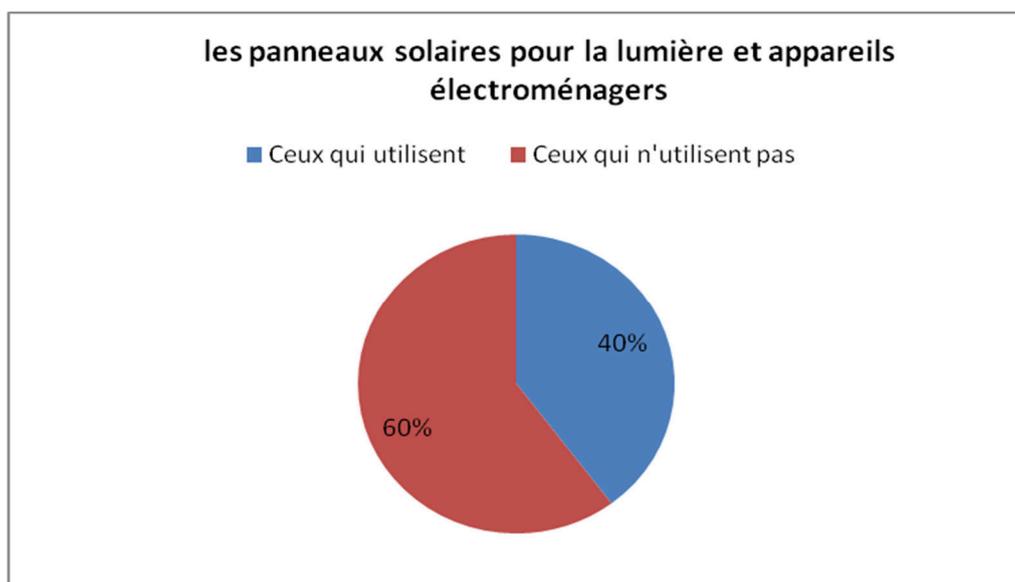
**Graphique 2 : sources d'énergie pour la lumière pour la ville de Bukavu**

### 3.5 LES PANNEAUX SOLAIRES POUR LA LUMIÈRE ET APPAREILS ÉLECTROMÉNAGERS

Du graphique 3, selon nos enquêtes l'énergie photovoltaïque a cessé d'être une curiosité pour les habitants de la ville de Bukavu pour devenir une réalité suite aux avantages techniques et l'accessibilité à tous aisément, déplaçable et transportable, embarquée et intégrée sur l'utilisation pour faire un seul élément modulable et extensible

Au mois de juin 2016 le PNUD venait de se doter des panneaux solaires pouvant produire 32 kW, un projet qui a coûté au PNUD un montant de cent mille dollars.

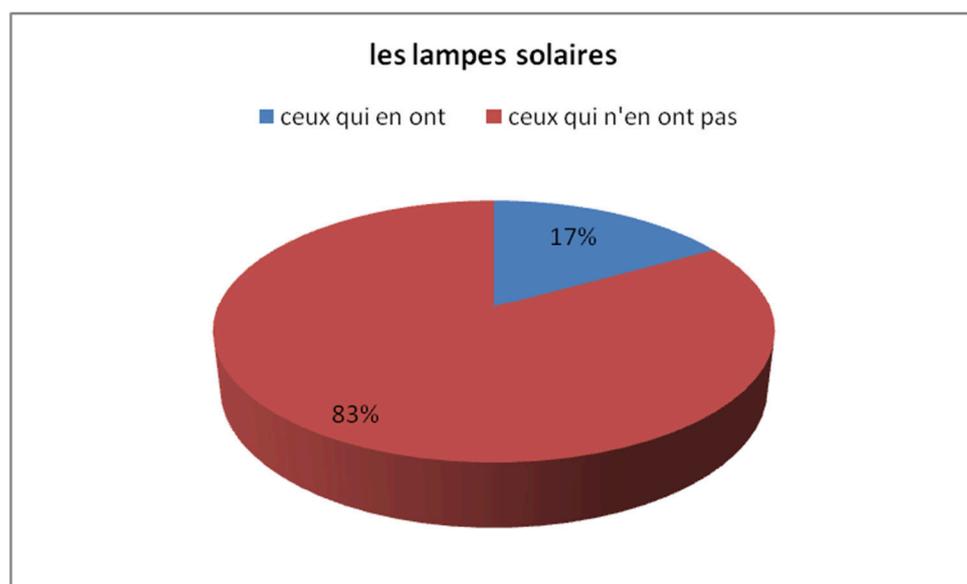
Le graphique 3, montre la fréquence d'utilisation des panneaux solaires dans la ville de Bukavu dans les ménages.



**Graphique 3 : Fréquence d'utilisation des panneaux photovoltaïques**

### 3.6 LES LAMPES SOLAIRES DANS LES MÉNAGES

Les résultats en rapport avec la consommation de l'énergie solaire en utilisant les lampes solaires sont donnés dans le graphique 4. La population de la ville de Bukavu montre sa détermination d'abandonner l'utilisation des lampes à pétrole et utiliser les lampes solaire suite à ses avantages socio-économiques et son impact sur l'environnement.



Graphique 4 : Utilisation des lampes solaires dans les ménages

### 3.7 QUEL IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT ET LA PERSPECTIVE POUR 2050

Selon nos études menées, les cinq dernières années ont fait prendre conscience à l'humanité Bukavienne, l'importance de l'énergie solaire dans tous ses aspects. Désormais chacun sait que l'utilisation des énergies fossiles est surtout plus coûteuse et que les effets secondaires de l'énergie produite à partir de ces sources sont néfastes et que l'énergie solaire électrique est une alternative incontournable et surtout avantageuse sur le plan économique et environnemental. Mais alors le gouvernement congolais et les investisseurs n'ont pas encore compris qu'il est grand temps d'abandonner les énergies fossiles qui sont issues des sources épuisables et avec toutes les conséquences néfastes sur l'environnement. Au Sud-Kivu et à Bukavu en particulier aucune centrale solaire n'est installée jusque-là, sauf des panneaux solaires installés par les habitants de la ville de Bukavu.

Il y a quelques années le marché photovoltaïque n'était presque pas connu et pas même fréquenté, il est aujourd'hui en plein essor, sa consommation dépasse de plus en plus celle des moteurs

Le problème de continuité de fonctionnement et de stockage semble être résolu mais la capacité des convertisseurs reste insuffisante pour l'alimentation des appareils électroménagers comme le fer à repasser, le réchaud électrique, etc. d'où il faut alors les appareils électroménagers adaptés aux énergies solaires. Des projets à plusieurs centaines de MW sont possibles étant donnée le bon ensoleillement de la ville de Bukavu et le Sud-Kivu en particulier. La région dispose de grandes capacités solaires, de plus grandes superficies.

La situation énergétique ainsi décrite pour la ville de Bukavu, a de sérieux impacts sur les plans sociaux, économiques et environnementaux. Parlant de l'impact sur le plan économique, notons le faible développement du tissu économique ainsi que de la décroissance économique à cause du manque d'énergie nécessaire au déploiement du secteur. Faible niveau d'implantation des petites et moyennes entreprises de production et de transformation des produits de base, qui entraîne une paupérisation de sa population<sup>4</sup>. L'impact sur l'environnement s'accroît avec le développement des énergies fossiles, responsables de l'émission des gaz à effet de serre qui polluent l'environnement et sont à l'origine des changements climatiques.

## 4 DISCUSSION

### 4.1 POTENTIEL DE L'ÉNERGIE SOLAIRE

Comme nous l'avons signalé dans l'introduction, la surface de la terre reçoit chaque année  $16.10^{15}$  kWh (équivalent à une puissance continue de  $180.10^6$  GW) dans toutes les longueurs d'onde du spectre de la lumière visible, 30% sont directement réfléchis dans l'espace, 45% sont absorbés, convertis en chaleur et rayonnés dans l'infrarouge. Les 25% restant alimentent les cycles hydrologiques (24%) et la photosynthèse (0,06%) soit l'équivalent d'une moyenne de  $45.10^6$  GW (Multon, 1998). En RDC, le pays se trouve certes sur l'équateur, juste en dessous de la ceinture solaire, ce qui justifie que le potentiel solaire est considérable, le rayonnement et ensoleillement global journalier (moyenne annuelle) à Bukavu sont respectivement de 4,60

kcal/m<sup>2</sup> et 5,34 kWh/m<sup>2</sup> (Rapport de Metelsat, 1994). Selon Mponyo (2012), les mesures d'ensoleillement réalisées dans des différentes stations météorologiques du pays renseignent que la RDC se trouve dans une bande très élevée dont les valeurs minimales pour l'électrification par système photovoltaïque est de 1 kWh/m<sup>2</sup>, on en déduit que l'énergie solaire offre un énorme potentiel inexploité.

#### 4.2 CONSOMMATION DE L'ÉNERGIE SOLAIRE

L'énergie solaire (énergie photovoltaïque) est parmi les familles d'énergies renouvelables exploitée d'une manière domestique et non industrielle à Bukavu et même dans les milieux périurbains. Selon nos enquêtes, l'énergie photovoltaïque reste utilisée par les églises, les hôpitaux, les écoles, les institutions universitaires, les organisations et les quelques ménages pour l'éclairage, les ordinateurs, les télévisions et la charge des batteries de téléphoné.

Les accumulateurs sont utilisés pour stocker l'énergie électrique produite par les systèmes photoélectriques, c'est-à-dire transformer l'énergie solaire en énergie chimique et puis de l'énergie chimique en énergie électrique. Un concept plus vaste consisterait à fournir l'excédent d'électricité aux réseaux existants et à utiliser ces réseaux comme des sources complémentaires lorsque l'énergie solaire est insuffisante. Toutefois, le coût et la fiabilité d'un tel projet limitent cette possibilité.

Les panneaux solaires sont importés par les hommes d'affaire et jusque là aucune centrale solaire n'est installée dans la province en général et à Bukavu en particulier.

Comparant nos résultats à ceux trouvés par la Commission Nationale de l'Énergie sur la consommation de l'énergie dans la cuisson en 2010 en RDC, il s'avère que 95% de l'approvisionnement énergétique de la RDC est fournie par la biomasse contre 3% par l'électricité et 2% via les produits pétroliers, la différence n'est pas significative avec les résultats trouvés dans la ville de Bukavu 97% fournie par les charbons des braises et les bois de chauffe et 3% fournie par l'électricité.

Du graphique 2, nous trouvons que l'énergie solaire est de plus en plus adoptée et utilisée dans la ville de Bukavu 7% de sa consommation dans les ménages en 2016 contre 2% en 2012. Cependant, le taux actuel de croissance de la part de solaire dans la consommation est énorme, mais n'oublions pas son principal problème : elle est disponible uniquement le jour, ce qui justifie l'utilisation des plusieurs énergies dans le ménage (trois à quatre énergies), vu qu'aucune de ces énergies ne satisfait pleinement aux besoins du ménage. Même si certains systèmes permettent de produire quelques heures après le coucher du soleil, le stockage électrique est encore trop peu efficace pour que le soleil puisse être utilisé comme unique source d'électricité, de ce qui ressort du graphique 1, montre que jusque-là pour la cuisson l'énergie solaire est à 0%. Nos résultats montrent que le bois énergies reste la principale source d'énergie pour la cuisson, 97% des combustibles solides (braises) contre 93% en 2012 trouvé par B. Kajibwami (2013). De plus, l'énergie solaire ne pourra jamais réellement servir aux transports (du moins dans un futur proche), qui sont la principale cause de pollution atmosphérique.

Néanmoins, du graphique 3, selon nos enquêtes l'énergie photovoltaïque a cessé d'être une curiosité pour les habitants de la ville de Bukavu pour devenir une réalité, 40% des ménages à Bukavu utilise soit le panneau solaire, soit la lampe solaire pour l'un ou l'autre besoin. Plus de 50 ans après la première cellule solaire, il n'existe pas un seul pays au monde où on ne trouverait pas d'installations photovoltaïques suite à ses grands avantages techniques, en faisant abstraction donc des aspects écologique et économique, nous pouvons citer ses propriétés de pouvoir être installée partout (sur terre, sur la toiture, dans l'air, ...) accessible à tous aisément déplaçable et transportable, embarquée et intégrée sur l'utilisation pour faire un seul élément modulable et extensible (M. Arkoub\* et R. Alkama, 2009).

#### 4.3 IMPACTS DE L'ÉNERGIE SOLAIRE

Comme nous l'avons suggéré dans l'introduction, la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables, n'émet pas directement d'émissions de GES cela est son point fort, c'est-à-dire que l'exploitation de l'énergie solaire ne dégage presque aucune pollution, son impact environnemental en utilisation est donc très faible. Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à ces technologies sont dues uniquement à la construction des infrastructures et à leur maintenance qui varient fortement d'un site à l'autre (C. Bordier, 2008). L'impact environnemental de fonctionnement de l'énergie solaire comme énergie renouvelable est très faible mais pas nulle contrairement à certaines idées courantes.

L'analyse de résultats révèle que la consommation d'énergie primaire pour la production de la lumière dans la ville de Bukavu reste dominée par les combustibles fossiles 32% contre 46%, l'hydroélectricité à 58% contre 43%, l'énergie solaire à 17% contre 7% pour les lampes solaires en 2012 résultats trouvés par Kajibwami (2013) et 40% des ménages utilise aujourd'hui soit la lampe soit le panneau solaire pour l'un ou l'autre besoin dans les ménages. Considérant ces résultats, l'utilisation des moteurs diesels pour la production du courant électrique est abandonnée progressivement et l'adoption de l'énergie solaire est progressive.

Selon les résultats trouvés par Maldague (2011), la RDC a actuellement un des plus bas indicateurs de consommation de l'énergie du monde, faute d'investissement dans cette nouvelle technologie et du fait de la croissance démographique humaine rapide ce qui conduit à une utilisation forte des combustibles fossiles (32%), ces résultats comparés à ceux trouvés par Karume (2009) au niveau de la province, il y a une différence significative, 1,5% d'utilisation du pétrole, cela s'explique par le fait qu'en ville les gens ont beaucoup d'activité qui demande de l'électricité.

## **5 CONCLUSION**

La ville de Bukavu en particulier et la RD Congo en général a d'énorme potentiel en énergies renouvelables, notamment le solaire, l'hydroélectricité, la biomasse et les biocarburants.

Pour l'instant, nous constatons qu'il y a une très grande confusion dans le domaine de l'énergie. Pendant que la demande en énergie électrique non satisfaisante augmente suite à la croissance démographique très rapide dans la ville de Bukavu accompagné de l'exode rurale suite à l'insécurité généralisée à l'intérieur de la province du Sud-Kivu. Suite à tous ces défis, aucune centrale solaire n'est construite dans la province.

A la lumière des résultats et de la discussion de résultats de cet article nous concluons que :

La consommation des énergies pour les besoins domestiques, essentiellement pour la cuisson des aliments dans les ménages de la ville de Bukavu reste dominée par l'utilisation des braises évaluée à 97%, la consommation de l'électricité 3% restant faible et celle de l'énergie solaire reste absente 0%. Cependant, le taux actuel de croissance de l'énergie solaire pour la lumière est énorme, mais n'oublions pas son principal problème qui est sa disponibilité uniquement le jour, le stockage électrique est encore trop peu efficace pour que le soleil soit utilisé comme unique source de l'électricité. L'énergie solaire a encore ses limites, cette forme d'énergie ne sert réellement pas aux transports qui sont la principale cause de pollution atmosphérique (du moins dans un futur proche).

L'étude menée montre que les surfaces des milieux périurbains serviraient pour la construction des centrales solaires et peuvent générer suffisamment d'électricité pour satisfaire les demandes courantes et le cout de l'électricité pourrait chuter ce qui diminuerait la pression sur les ressources naturelles comme les forêts et aurait un impact sur la vie sociale et économique.

La production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables, n'émet pas directement d'émissions de GES cela est son point fort, c'est-à-dire que l'exploitation de l'énergie solaire ne dégage presque aucune pollution, son impact environnemental en utilisation est donc très faible. Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à ces technologies sont dues uniquement à la construction des infrastructures et à leur maintenance qui varient fortement d'un site à l'autre. L'impact environnemental de fonctionnement de l'énergie solaire comme énergie renouvelable est très faible mais pas nulle contrairement à certaines idées courantes.

Sans investissement supplémentaires et adaptés aux besoins et capacité énergétique du pays en générales et dans la ville de Bukavu en particulier, la ville n'atteindra jamais la croissance économique à l'horizon 2050, une réponse durable à la crise énergétique de la RDC en général et la ville de Bukavu est nécessaire.

L'utilisation des énergies renouvelables soit encouragée et promue sur toute l'étendue de la RDC, de la province en générale et la ville de Bukavu en particulier. La province devra s'embarquer dans un programme d'électrification à grande échelle dans la construction des centrales solaires, en utilisant au maximum des potentielles qu'elle regorge.

Dès lors, il est impératif de diversifier le parc énergétique à travers les énergies renouvelables pour l'atteindre le plus de bénéficiaires qu'il serait trop onéreux de connecter au réseau électrique, réduire la dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles et des combustibles ligneux, limiter le stress sur les ressources environnementales, améliorer la qualité de vie et la santé dans les zones rurales.

## **REFERENCES**

- [1] Benjamin Kajibwami, 2015, perception du changement climatique à Bukavu et dans les milieux périurbains et mesure d'adaptation, IJSR, ISSN2351-8014 vol, 18 N° 2 Oct 2015, pp, 216-223 ;
- [2] E. B. RUVUNA et B. A. MAMBEU, 2014, Explosion démographique dans la région du Sud-Kivu montagneux et son impact sur l'environnement ; Revue Université sans Frontières pour une société ouverte de l'Université distant production House, Parution bimensuelle numéro 002, ISSN 2313-285X; Uvira, Juillet 2014 ;
- [3] Henri Esseqqat ; 2011 ; les énergies renouvelables en République Démocratique du Congo ;
- [4] Katcho KARUME, 2009, Secteur énergie, province du Sud-Kivu : Etat de lieu, une honte ; OGP Bukavu, Sud-Kivu, RDC ; 67 p. ; Edition CERUKI ;

- 
- [5] Cécile Bordier, 2008, Développement des énergies renouvelables : Quelle contribution du marché du carbone ? ; 278 Boulevard Saint Germain 75356 Paris 07 SP-France ;
- [6] M. Arkoub\* and R. Alkama ; 2009 ; L'énergie solaire électrique : grands projets et perspectives, Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°4 641 – 648 ; Faculté de la Technologie, Université Abderrahmane Mira. Route de Targa Ouzemour, Bejaia, Algérie ;
- [7] DALLAIRE Patrice ; DESSUS Benjamin ; 2007 ; Solaire photovoltaïque ; pp, 102-103 [2 pages] ; Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français ;
- [8] DALLAIRE Patrice ; DESSUS Benjamin ; 2007 ; Solaire thermodynamique ou Solaire thermique à concentration ; [p, 104] [bibl, : dissem,] ; Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français ;
- [9] Virginie DULUC ; 2007 ; Potentiel de développement des énergies renouvelables en France pour le remplacement du nucléaire, Stage GENI ;
- [10] M. Michel Maldague ; 2005 ; Politique énergétique intégrée en République Démocratique du Congo. Leçon publique donnée le 6 octobre 2001 à l'occasion de l'inauguration solennelle de l'Académie ; Un article publié dans le Bulletin de l'ANSD, volume 2, décembre 2001, pp. 27-67. Kinshasa : Académie nationale des sciences du développement ;
- [11] Bernard MULTON ; 1999 ; L'Énergie électrique : Analyse des ressources et de la production ; Antenne de Bretagne de l'école Normale Supérieure de Cachan-LESIR, Campus de Ker Lann-35170 Bruz ;
- [12] Bernard MULTON ; 1998 ; L'énergie sur la terre : analyse des ressources et de la consommation, La place de l'énergie électrique, Antenne de Bretagne de l'École Normale Supérieure de Cachan, 35170 BRUZ (version révisée en 2012) ;
- [13] Bernard MULTON ; 1998 ; L'énergie sur la terre : analyse des ressources et de la consommation, La place de l'énergie électrique, Antenne de Bretagne de l'École Normale Supérieure de Cachan, 35170 BRUZ ;
- [14] Adell A.; O Fagel L; 1996; Gisements solaire et éolien en Mauritanie : présentation d'un système photovoltaïque et d'un système éolien destinés au pompage de l'eau ; n° 475, [74, 93-99 [8 p,]] [bibl, : 9 ref,] ; Editions techniques et économiques ; Revue de l'énergie A. ;
- [15] Dessus B. ; Devin B. et Pharabod F. ; 1992 ; Le potentiel mondial des énergies renouvelables, Raisonnablement accessible dans les années 90 et son impact sur l'environnement ; vol, 47, n°1, pp, 21-70 (6 ref,); Société hydrotechnique de France, Paris, FRANCE (1902) (Revue) ;
- [16] Microsoft ® Encarta ® 2009. © 1993-2008 Microsoft Corporation.