



**HAL**  
open science

# **Estimation de la demande énergétique de la commune de Lubumbashi en fonction de l'évolution démographique à l'horizon 2050 à l'aide d'un réseau de neurone artificiel (ANN-PSO)**

Idriss Kyoni Nkulu, Aaron Ntambwe, Emmanuel Kishiko

## **► To cite this version:**

Idriss Kyoni Nkulu, Aaron Ntambwe, Emmanuel Kishiko. Estimation de la demande énergétique de la commune de Lubumbashi en fonction de l'évolution démographique à l'horizon 2050 à l'aide d'un réseau de neurone artificiel (ANN-PSO). Congrès Lambda Mu 23 "Innovations et maîtrise des risques pour un avenir durable" - 23e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sécurité de Fonctionnement, Institut pour la Maîtrise des Risques, Oct 2022, Paris Saclay, France. <hal-03966502>

**HAL Id: hal-03966502**

**<https://hal.science/hal-03966502v1>**

Submitted on 31 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# Estimation de la demande énergétique de la commune de Lubumbashi en fonction de l'évolution démographique à l'horizon 2050 à l'aide d'un réseau de neurone artificiel (ANN-PSO)

## Estimation of the energy demand of the municipality of Lubumbashi according to the demographic evolution by 2050 using an artificial neuron network (ANN-PSO)

**KYONI NKULU Idriss**  
Université de Lubumbashi  
Route Kasapa  
1825 Lubumbashi  
[idrisskyoni@yahoo.fr](mailto:idrisskyoni@yahoo.fr)

**NTAMBWE SAPU Aaron**  
Université de Lubumbashi  
Route Kasapa  
1825 Lubumbashi  
[aronsapu@gmail.com](mailto:aronsapu@gmail.com)

**KISHIKO NGOY Emmanuel**  
Université de Lubumbashi  
Route Kasapa  
1825 Lubumbashi  
[emmanuelkishiko@gmail.com](mailto:emmanuelkishiko@gmail.com)

**Résumé** — La connaissance de la demande énergétique est primordiale pour une bonne gestion de l'énergie électrique.

Elle permet de fixer le producteur de l'énergie électrique sur quel champ se concentrer, en évitant les dépenses liées à la production au cas où la production serait supérieure à la demande ; ou à la non satisfaction de consommateurs finaux si la production ne couvre pas leur besoin énergétique.

La mission du présent projet est connue, faire une estimation du besoin énergétique de la commune de Lubumbashi et le comparer à l'énergie fournie par le principal producteur de l'énergie électrique de la ville. Sachant fondamentalement que la démographie a un impact direct sur la consommation en électricité ;

La mission finale sera de donner au producteur de l'énergie, la tendance de la consommation énergétique à l'horizon 2050.

L'échantillonnage des charges enregistrées par les analyseurs sur le départ HTA a permis de déterminer la quantité d'énergie fournie par la SNEL au cours d'un mois.

L'utilisation du modèle Bottom-up résidentiel, a conduit à l'estimation du besoin énergétique de la commune de Lubumbashi. Une projection exponentielle basée sur l'extrapolation de tendance nous a permis d'estimer le besoin futur de la commune ; pour valider nos résultats issus de cette projection, un réseau neuronal artificiel (ANN) est utilisé pour déterminer le niveau futur de la consommation électrique de la commune. L'optimisation par essais de particules (PSO) a été utilisée afin

d'entraîner les réseaux neuronaux artificiels. Le modèle est piloté par la taille de la population, le nombre de ménage, la consommation du secteur résidentiel, la consommation du secteur tertiaire et semi-industriel.

**Mots-clefs** — *réseau de neurone artificiel (ANN), l'optimisation par essais de particules (PSO), besoin énergétique, estimation énergétique, demande énergétique, consommation, déficit, projection, commune de Lubumbashi.*

**Summary** — The knowledge of the energy demand is essential for a good management of the electric energy.

It allows to determine the producer of electrical energy on which field to focus, avoiding expenses related to production in case the production is higher than the demand; or to the non satisfaction of final consumers if the production does not cover their energy needs.

The mission of the present project is to estimate the energy needs of the municipality of Lubumbashi and to compare it to the energy supplied by the main producer of electrical energy in the city. Knowing basically that the demography has a direct impact on the consumption of electricity;

The final mission will be to give the energy producer the trend of energy consumption by 2050.

The sampling of the loads recorded by the analyzers on the HTA feeder allowed to determine the amount of energy supplied by SNEL during a month.

The use of the residential bottom-up model led to the estimation of the energy needs of the municipality of Lubumbashi. An exponential projection based on trend

extrapolation allowed us to estimate the future need of the commune; to validate our results from this projection, an artificial neural network (ANN) is used to determine the future level of electricity consumption of the commune. Particle swarm optimization (PSO) was used to train the artificial neural networks. Our model is driven by population size, number of households, residential sector consumption, tertiary and semi-industrial sector consumption.

**Keyword** — *artificial neural network (ANN), particle swarm optimization (PSO), energy need, energy estimation, energy demand, consumption, deficit, projection, Lubumbashi municipality.*

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 CONTEXTE

L'énergie électrique est l'un de facteur déterminant pour le développement d'une nation ou d'une ville, étant donné que tout excédent d'énergie généré n'est pas facile à stocker, il est donc nécessaire d'avoir une production en continue.

Cependant cette production doit couvrir une demande, il arrive parfois que les producteurs produisent plus que la demande ce qui conduit à des dépenses et l'usure des équipements inutilement. Il peut aussi arriver que la production soit inférieure à la demande, cela préjudicie les consommateurs finaux et peut avoir un effet sur la croissance économique et la productivité.

Le défi associé à la prévision énergétique comprend une série d'incertitudes, à savoir la croissance démographique, le développement technologique, la performance économique, les conditions météorologiques et les habitudes de consommation [1]. Dans le pays en développement ce défi s'aggrave en raison du manque de données fiables, des influences politiques et de la volatilité de la demande historique d'électricité due à l'instabilité macroéconomique ou politique [2].

### 1.2 OBJECTIFS

La démarche entreprise dans cette communication est d'estimer les besoins énergétiques de la commune de Lubumbashi, et comparer cela à ce que la Société Nationale d'Electricité (SNEL) fournit, afin de déterminer si la SNEL produit plus ou moins selon la demande et dans quelle mesure.

Nous développerons également un modèle de prévision de la consommation d'énergie pour la période 2019 à 2050 en utilisant un réseau neuronal artificiel (ANN).

## 2. PRÉSENTATION DU SITE

### 2.1 CONSTITUTION DE LA COMMUNE

La commune de Lubumbashi est une commune du centre de la ville de Lubumbashi, 13 quartiers la compose, tous ces quartiers s'étendent sur près de 38 km<sup>2</sup> [5].

### 2.2 POPULATION

La commune de Lubumbashi comme toutes les communes de la ville de Lubumbashi, recense sa population chaque année par entité ou subdivision administrative.

Le tableau 2.1 montre le nombre de la population sur les dix dernières années selon les rapports annuels que donne la commune [6], [5], [9], [8], [12], [13], [16], [14], [15], [7] de 2010 à 2019.

Tableau 2.1. Données démographiques de la commune de Lubumbashi

N°	ANNEE	POPULATION
1	2010	284373
2	2011	291263
3	2012	297007
4	2013	302140
5	2014	308930
6	2015	314771
7	2016	318732
8	2017	323062
9	2018	327476
10	2019	331533

La population de la commune de Lubumbashi a augmenté d'environ 16% sur les dix dernières années, et pour l'année 2018 la population de la commune représentait environ 14% de la population de la ville. La Figure 2.1 illustre l'évolution démographique de la commune de Lubumbashi depuis 2010 jusqu'en 2019.

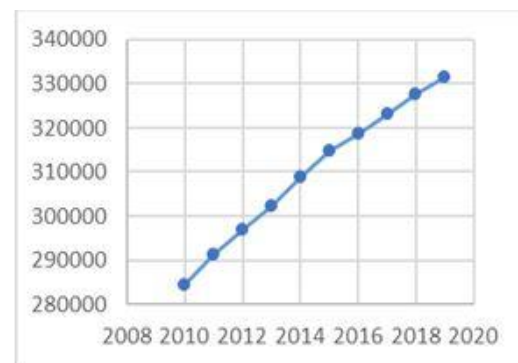


Figure 2.1 : évolution démographique de la commune de Lubumbashi sur dix ans

## 2.3 CATÉGORIE DES CONSOMMATEURS D'ÉLECTRICITÉ

La littérature [17], nous donne la classification des consommateurs faite par la SNEL ; à savoir :

- Les consommateurs industriels ;
- Les consommateurs semi-industriels ;
- Les consommateurs tertiaires ;
- Les consommateurs résidentiels.

### a) Les consommateurs industriels

Les industriels sont alimentés en haute tension catégorie B (HTB), et prennent environ 75% de toute la production sud [20]. Cette communication s'intéressera plus aux consommateurs HTA.

### b) Les consommateurs semi-industriels

Les consommateurs semi-industriels sont alimentés en HTA, et influencent la consommation de la commune. Comme consommateur semi-industriel, nous avons :

Soudeur ; Pressing ; Menuiserie ; Les écoles techniques avec atelier et labo ; Moulin ; etc.

Le rapport de la commune [18], donne la situation des consommateurs semi-industriels pour l'année 2019, le tableau 2.2 Retracer quelques-uns à titre d'exemple.

Tableau 2.2 : Exemple des consommateurs semi-industriels recensés par la commune.

N°	CONSOMMATEURS SEMI-INDUSTRIELS	NOMBRE FOURNI
2	Soudeur	45
3	Menuiserie	20
4	Pressing	23

### c) Les consommateurs tertiaires

Les consommateurs tertiaires sont alimentés en HTA et ont un impact sur la charge de la commune.

Le rapport cité en [18] donne la situation des consommateurs tertiaires de la commune de Lubumbashi pour l'année 2019, repris dans le tableau 2.3.

Tableau 2.3 : Consommateurs tertiaires recensés par la commune.

N°	CONSOMMATEURS TERTIAIRES	NOMBRE FOURNI
1	Commerces	3521
2	Etablissement de santé	34
3	Ecoles	359
4	Universités et institut supérieur	7
5	Hôtel avec Restaurant	85
	Restaurant	75
6	Centre social	27
7	Marché	7
8	Stade	1
9	Eglise	350

### d) Les consommateurs résidentiels

Le nombre des ménages (clients), et le type des maisons ne sont pas sans effet sur la consommation de l'électricité, tout comme la taille moyenne de ménage, le nombre des pièces et le type de construction.

Etant donné que le nombre de ménages est directement proportionnel à la démographie [21], les activités menées par le service de recensement pour la lutte contre le paludisme en 2019 et le questionnaire d'enquête mis en ligne nous indique une moyenne de sept personnes par ménage dans la commune.

En se rapportant à la littérature [7], le nombre de ménages (clients) dans la commune de Lubumbashi au cours de l'exercice 2019 a été estimé à **47 362**.

Les appareils utilisés par les clients caractérisent généralement la consommation électrique.

## 2.4 DÉMARCHE GÉNÉRALE

### 2.4.1 CONSOMMATION ENERGETIQUE DE LA COMMUNE

Pour connaître la quantité d'énergie consommée par la commune de Lubumbashi, nous prendrons la charge sur chaque départ HTA ou feeder. Cependant les feeders de la SNEL n'alimentent pas seulement une commune, quelques-uns traversent les communes ; et le rapport du centre de distribution de Lubumbashi [17], renseigne que la commune de Lubumbashi est alimentée par dix-huit Feeders dont sept d'entre eux lui sont propres.

Pour pallier à cette difficulté, nous avons procédé à une identification ayant consisté à définir un taux de répartition de puissance installée de chaque feeder dans la commune, en fonction de la puissance installée des transformateurs supposés parfaits, alimentés par le même départ HTA.

Ainsi, nous établissons des relations suivantes pour les puissances :

$$P_f = \sum_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

Avec

- $P_f$  : la puissance installée par Feeder ;
- $P_i$  : la puissance nominale du transformateur supposé parfait, porté par le feeder.

La puissance installée dans la commune sera donnée par :

$$P_t = \sum_{k=1}^m P_k \quad (2)$$

Avec

$P_t$  : la puissance installée dans la commune ;

$P_k$  : la puissance nominale du transformateur supposé parfait installé dans la commune.

Le pourcentage que consomme la commune par feeder est donné par la relation (3) :

$$\Delta = \frac{P_t}{P_f} = \frac{\sum_{k=1}^m P_k}{\sum_{i=1}^n P_i} \times 100 \quad (3)$$

Le tableau 2.4 donne la puissance par feeder ainsi que la puissance consommée par la commune.

Tableau 2.4: La puissance installée par Feeder, par commune et le taux

COMMUNE DE LUBUMBASHI				
POSTE	FEEDER	Pf	Pc	$\Delta$ (%)
NR15	Kilwa	10995	9595	87,2
	Munua 15	6915	4440	64,2
	Est	1630	1630	100
	Industriel	3000	1760	58,6
	Munua 6,6	4120	1990	48,3
AR66	Cascade	4992	4995	100
	Kamanyola	3040	2410	79,2
	Dell	4195	4195	100
	Van-mortel	2920	2920	100
	Chute	5265	5265	100
	Cuivre	11725	2320	19,7
	Park	5095	5095	100
UNILU	M'siri	3660	1630	44,5
	Monastère	7410	100	1,34
	Metalec/ Unilu restau	9940	8060	81
KARA	Karavia	1600	1600	100
VIA	Rubi	7555	4015	53,1
ZIL	Solbena	7260	2020	27,8

#### 2.4.2 PUISSANCE ELECTRIQUE CONSOMMEE PAR LA COMMUNE

Pour déterminer la puissance consommée par la commune, nous avons prélevé la pointe à l'aide des analyseurs, qui échantillonnent la charge avec un pas de temps de 15 minutes, sur une période allant de juin 2019 à juin 2020 [22], soit 96 échantillons par jour ou 2880 échantillons par mois pour un total de 34560 échantillons la période considérée.

Ces analyseurs servent à mesurer la puissance active, la puissance réactive, la puissance apparente, le courant, la tension, la fréquence et le taux de distorsion harmonique du signal.

La Figure 2.2. Donne les prélèvements faits par les analyseurs sur le feeder cascade.

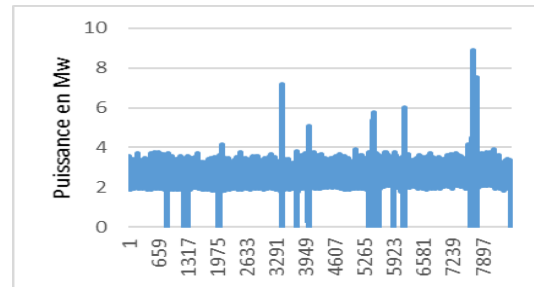


Figure 2.2 : Charge sur le feeder cascade

La puissance consommée par la commune est donnée par la relation (4):

$$P_c = \sum_{j=1}^{18} P_j \times \Delta_j \quad (4)$$

Avec :

- $P_c$  : la puissance consommée par la commune ;
- $P_j$  : pointe sur le feeder ;
- $\Delta$  : le taux de répartition de puissance dans la commune.

L'évolution de la pointe de quelques feeders du poste AR 6,6 sur la période considérée est donnée en exemple par la Figure 2.3. Les pointes des courbes sont les pointes hebdomadaires.

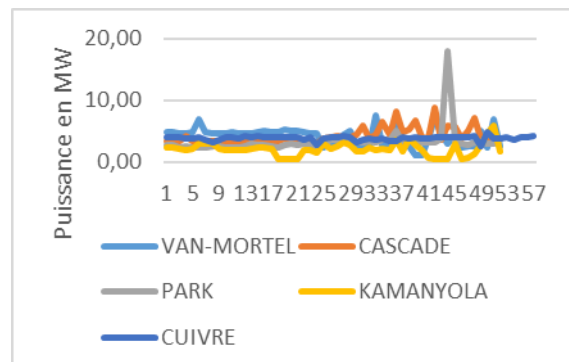


Figure 2.3: Exemple de l'évolution des pointes sur la période considérée

Nous avons déterminé le profil de la charge par poste, en faisant la somme des charges sur chaque feeder ; en suite nous avons tracé la courbe qui traduit la consommation de la commune sur la période considérée.

La Figure 2.4. Donne l'évolution de la charge par poste et le profil de charge que la commune a consommé sur la période considérée.

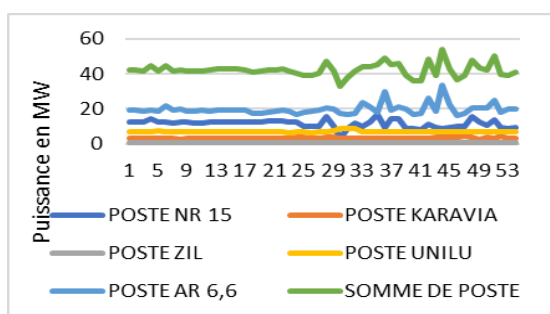


Figure 2.4 : Profil de la charge consommée par la commune de Lubumbashi.

La figure (2.4) donne la somme des charges sur le poste et montre la consommation hebdomadaire de la commune, nous voyons la pointe à la quarante-quatrième semaine soit **53.89 MW** comme consommation de la commune de Lubumbashi.

## 2.4.3 BESOIN ENERGETIQUE DE LA COMMUNE DE LUBUMBASHI

### 2.4.3.1 MODELE DE CHARGE

Une bonne estimation du besoin énergétique se fie à la modélisation de la charge ; seulement il existe plusieurs modèles dans la littérature [23-24], la littérature présente des modèles permettant une prévision à court, à moyen et à long terme. Face à la diversité des modèles, certaines études les classent en deux grandes catégories, dont le modèle top-down ou l'approche descendante et le modèle Bottom-up ou l'approche ascendante.

Dans cette communication le besoin énergétique sera estimé à l'aide du modèle Bottom up basé sur la consommation par appareil parce qu'il est effectué avec un très haut niveau de détails établissant ainsi une simulation pour chaque appareil [24].

### 2.4.3.2 ESTIMATION DES BESOINS ENERGETIQUES

Grace au modèle Bottom-up développé ici, nous estimerons le besoin énergétique réel de la commune. Pour les consommateurs résidentiels, des descentes sur terrain nous ont permis d'avoir un aperçu sur ; les types d'appareils que possède les ménages, les comportements des utilisateurs et la fréquence d'utilisation de chaque appareil.

Des informations récoltées de manière stricte et minutieuse lors des différentes descentes sur terrain, nous considérons que les données d'entrée du modèle sont telles que : tous les ménages ont les mêmes caractéristiques, les appareils ont les mêmes propriétés technologiques et que tous les utilisateurs ont un même comportement à cela s'ajoute le coefficient d'utilisation ( $K_u$ ), le temps d'utilisation ( $T_u$ ) et le taux de possession des appareils par ménage ( $T_p$ ).

#### a. Modèle des consommateurs résidentiels

Le tableau 2.5 identifie les charges rencontrées dans un ménage type de la commune de Lubumbashi.

Tableau 2.5 : estimation de la consommation des ménages

COMMUNE DE LUBUMBASHI							
APPAREIL	Pa (W)	Nbr	$K_u$	$T_u$ (h)	$P^j$ (ti) Kw h	$T_p$ (%)	$P^z$ Mw h
Congelateur	250	1	1	24	6,00	78.9	224
Chauffe eau	1000	1	1	1	1,00	56	27
Fer à repasser	1300	1	1	1	1,30	96	59
Sèche cheveux	1600	1	1	0.5	0,80	17.5	7
Bouilloire	1500	1	1	0.5	0,75	56	20
Ventilateur	60	1	1	3	0,18	36	3
Ordinateur	45	2	1	3	0,27	88	11
Téléviseur	110	1	1	16	1,76	95	79
Fontaine à eau	1000	1	1	0.5	0,50	43	10
Climatiseur	5000	2	1	2	20,0	5.3	50
Chargeur	5	6	1	2	0,06	100	3
Lampe économique	12	6	1	24	1,73	80	66
Lampe à incandesc	100	4	1	24	9,60	49.1	223
Plaque électrique	1500	1	1	4	6,00	68.4	194
<b>TOTAL MENAGE</b>					49,95	<b>TOTAL</b>	976

Dans cette modélisation un ménage a besoin de 49,95 KWh par jour et pour que tous les ménages de la commune de Lubumbashi soient alimentés au cours d'un mois ; le besoin est estimé à 29,29 GWh.

#### b. Modèle des consommateurs tertiaires

La commune recense plusieurs consommateurs tertiaires [18], cependant le modèle ici tient compte des consommateurs tertiaires considérés plus énergivore que les autres qui ont essentiellement l'éclairage comme

consommation principal. Il s'agit des écoles, des églises, des commerces, des hôtels et restaurants.

Pour la lisibilité nous présentons le modèle d'une école et celui d'une église à titre d'exemple.

### 1. Modèle d'une école

Le tableau 2.6 nous montre les appareils indispensables dans une école et le temps d'utilisation.

Tableau 2.6 : estimation de la consommation d'une école

ECOLE							
APPAR EIL	Pa (W)	Nbr	Tu (h)	Ku	P <sup>i</sup> (ti) Kw h	Nbr Ecole	P <sup>2</sup> Mw h
Tube	40	205	18	1	147,6	359	
Ordinateur	80	35	3	1	8,40		
Photocopieuse	200	5	1	1	1		
Imprimante	200	6	1	1	1,2		
Projecteur	1000	10	24	1	240		
<b>TOTAL ECOLE</b>					398,2	<b>TOTAL</b>	142,95

La consommation journalière de l'école est estimée à 398,2 KWh le jour ouvrable, supposant que les écoles fonctionnent en semaine anglaise la consommation mensuelle des projecteurs est estimée à 2,58 GWh et les autres équipements à 1,25 GWh pour un total de 3,83 GWh pour toutes les écoles de la commune.

### 2. Modèle d'une église

Le tableau 2.7 nous montre les appareils indispensables dans une église et leurs temps d'utilisation.

Tableau 2.7 : estimation de la consommation d'une église

EGLISE							
Appareils	Pa (W)	Nbr	Tu (h)	Ku	P <sup>i</sup> (ti) Kw h	Nbre Eglise	P <sup>2</sup> Mwh
TUBE	40	100	24	1	96	350	
Projecteurs	1000	6	24	1	144		
MICRO	20	15	7	1	2,1		
MIXEUR	1200	2	7	1	16,8		
Synthétiseur	45	1	4	1	0,18		
Amplificateur	1500	2	7	1	21		

Baffle	1000	5	7	1	35		
Ventilateur	60	24	7	1	10,08		
<b>TOTAL EGLISE</b>					325,2	<b>TOTAL</b>	113,81

Les églises accusent une grande consommation les dimanches et les samedis lors des répétitions des chorales, pour un dimanche avec trois messes de 2h30, une église consomme environ 325,16 KWh et au cours d'un mois l'éclairage consomme 2,52 GWh et les autres équipements consomment près de 0,24 GWh pour un total estimé à 2,76 GWh pour toutes les églises de la commune au cours d'un mois.

### c. Modèle des consommateurs semi-industriel

Parmi les consommateurs semi-industriels nous distinguons : la menuiserie, l'atelier de soudure, le pressing et les autres entités que nous pouvons assimiler aux trois entités nommées. Nous présentons ici le modèle d'une menuiserie.

#### 1. Modèle d'une menuiserie

Le tableau 2.11. Donne les appareils indispensables dans une menuiserie.

Tableau 2.11 : estimation de la consommation d'une menuiserie

MENUISERIE							
APPAR EIL	Pa (W)	Nbr	Tu (h)	Ku	P <sup>i</sup> (ti) Kw h	Nbre Hotel	P <sup>2</sup> Mw h
Scie sauteuse	2300	2	8	0,6	22,08	20	
Scie circulaire	750	2	8	0,6	7,20		
Toupie	7000	2	7	0,75	73,5		
Scie à ruban	11000	1	1	1	11,0		
Perceuse à main	700	3	2	0,6	2,52		
Disqueuse	2000	2	4	0,75	12,0		
<b>TOTAL MENUISERIE</b>					128,3		

Le jour ouvrable la menuiserie consomme environ 128,3 KWh, comme les menuiseries ne fonctionnent pas les dimanches ; la consommation des menuiseries de la commune est estimée à 0.07 GWh au cours du mois.

#### 2.4.4 CONSOMMATION ESTIMEE

Les estimations des consommations faites par catégorie, nous permettent de déduire la consommation de la commune de Lubumbashi.

Le tableau 2.14, donne les différentes consommations estimées par catégorie des consommateurs et sur l'ensemble de la commune.

Tableau 2.14 : consommation estimée par catégorie et sur l'ensemble de la commune

COMMUNE DE LUBUMBASHI		
CONSUMMATEUR	ENTITE	P/mois (Gwh)
RESIDENTIEL	Ménages	29,29
TERTIAIRE	Ecoles	3,83
	Eglises	2,76
	Commerces	8,63
	Hôtels	1,25
	Restaurants	0,9
SEMI-INDUSTRIEL	Menuiseries	0,07
	Pressings	0,11
	A. soudures	0,07
SOMME DE SECTEUR		46,91
FACTEUR CORRECTIF DE 10%		4,69
TOTAL DE LA CONSOMMATION ESTIME		51,6

La consommation de la commune de Lubumbashi est estimée à 51,6 GWh au cours d'un mois dont 29,29 GWh pour les consommateurs résidentiels, soit environ 57 % de la consommation totale, et 43% pour les autres consommateurs.

Lors de la construction des modèles de charge des consommateurs tertiaires et semi industriel, nous n'avons pas tenu compte des entités telles que les centres de santé, les dépôts et les agences de transport parce qu'elles sont considérées comme moins énergivores. A cet effet, pour établir un modèle de consommation de la commune qui se rapproche beaucoup plus de la réalité, nous avons considéré sur base des certaines réalités sur terrain que ces secteurs négligés représentent 10% de la consommation dans le secteur tertiaire et semi industriel. Cela se justifie par le fait que la RDC est un pays en pleine expansion et une telle valeur est plausible pour la croissance démographique observée dans ladite commune.

#### 2.4.5 EVALUATION DU DEFICIT ENERGETIQUE

Par les analyseurs nous avons eu la tendance de la production et la puissance fournie à la commune a été évaluée à 53.89 MW soit 38.8 GWh au cours d'un mois.

Le déficit étant la différence entre ce que la commune a reçue et ce dont elle a besoin, la demande évaluée ici s'élève à 51,6 GWh par mois. En regardant la demande de la commune de Lubumbashi, le déficit est évalué à 12,8 GWh soit 24,8 % du besoin énergétique de la commune.

#### 2.4.6 PROJECTION DE LA CONSOMMATION A L'HORIZON 2050

##### 2.4.6.1 PROJECTION DE LA DEMOGRAPHIE

En analysant le rapport [6], [5], [9], [8], [12], [13], [16], [14], [15], [7] nous remarquons que la population de la commune évolue exponentiellement, la littérature [25] nous permet de faire une projection basée sur l'extrapolation des tendances. Traduit par :

$$P_t = P_o \times e^{\tau t} \quad (5)$$

Avec

- $P_t$  : population projetée ;
- $P_o$  : population de départ ;
- $e$  : base du système des logarithmes naturels ;
- $t$  : nombre d'années de la période de projection (entre année de départ et année de fin de projection) ;
- $\tau$  : taux exponentiel de variation annuelle moyenne.

L'aperçu sur les méthodes de projection [25], permet de déterminer à quel rythme la population a augmenté durant les dix dernières années.

$$\tau = \frac{\ln\left(\frac{P_o}{P_b}\right)}{y} \quad (6)$$

Avec

$P_b$  : la population initiale (période de base) ;

$y$  : nombre d'années au cours de la période de base.

Le tableau 2.15 et la figure 2.5 illustre la population projetée sur les 31 ans.

Tableau 2.15 : projection démographique de la commune de Lubumbashi de 2019 à 2050.

T	ANNEE	Pt
0	2019	331533
1	2020	336543
2	2021	341630
3	2022	346793
4	2023	352034
5	2024	357354
6	2025	362755
7	2026	368237
8	2027	373802
9	2028	379452
10	2029	385186

11	2030	391008
12	2031	395660
13	2032	401065
14	2033	406470
15	2034	411874
16	2035	417279
17	2036	422684
18	2037	428089
19	2038	433494
20	2039	438899
21	2040	444304
22	2041	449709
23	2042	455114
24	2043	460519
25	2044	465924
26	2045	471329
27	2046	476734
28	2047	482139
29	2048	487544
30	2049	492949
31	2050	498354

2036	60383.49	37.34	51.13	88.48
2037	61155.63	37.82	53.69	91.51
2038	61927.77	38.30	56.38	94.67
2039	62699.91	38.78	59.20	97.97
2040	63472.05	39.25	62.15	101.41
2041	64244.19	39.73	65.26	104.99
2042	65016.32	40.21	68.53	108.73
2043	65788.46	40.69	71.95	112.64
2044	66560.60	41.16	75.55	116.71
2045	67332.74	41.64	79.33	120.97
2046	68104.88	42.12	83.29	125.41
2047	68877.02	42.60	87.46	130.05
2048	69649.16	43.07	91.83	134.90
2049	70421.29	43.55	96.42	139.97
2050	71193.43	44.03	101.24	145.27

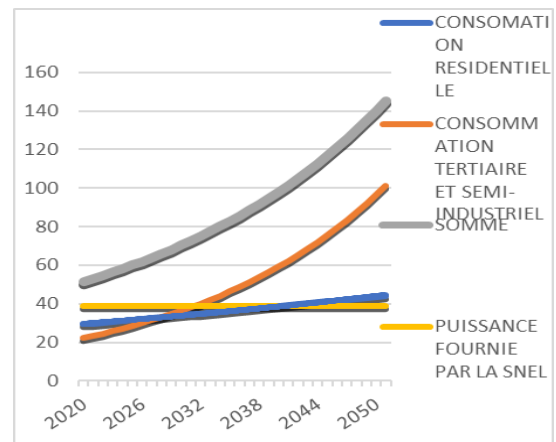
#### 2.4.6.2 PROJECTION DE LA CONSOMMATION

Dans cette partie nous évaluerons la demande énergétique pour les trente et une prochaines années, en considérant juste l'évolution de la population et les autres consommateurs ne représenteront qu'environ 5% de la demande énergétique chaque année sur l'ensemble de la commune.

Le tableau 2.16 donne en GWh par mois, la projection de la consommation énergétique de 2019 jusqu'en 2050, pour chaque catégorie des consommateurs, avec  $M_n$  le nombre des ménages à l'année  $n$ ,  $P_n$  la consommation du secteur résidentiel à l'année  $n$  et  $C_n$  la consommation tertiaire et semi-industriel à l'année  $n$ .

Tableau 2.16 : projection de la consommation énergétique

N	$M_n$	$P_n$ Gwh	$C_n$ Gwh	SOMME Gwh
2019	47361.86	29.29	22.31	51.60
2020	48077.64	29.73	23.43	53.16
2021	48804.24	30.18	24.60	54.78
2022	49541.82	30.64	25.83	56.46
2023	50290.55	31.10	27.12	58.22
2024	51050.60	31.57	28.47	60.05
2025	51822.13	32.05	29.90	61.95
2026	52605.32	32.53	31.39	63.93
2027	53400.34	33.02	32.96	65.99
2028	54207.39	33.52	34.61	68.13
2029	55026.63	34.03	36.34	70.37
2030	55858.25	34.54	38.16	72.70
2031	56522.80	34.96	40.07	75.02
2032	57294.94	35.43	42.07	77.50
2033	58067.08	35.91	44.17	80.08
2034	58839.21	36.39	46.38	82.77
2035	59611.35	36.87	48.70	85.57



énergie de la commune de Lubumbashi.

La production de la SNEL étant supposée constante dans le temps, la figure (2.5) montre l'élévation de l'écart entre la production et la demande.

Nous voyons sur la figure que d'ici 2050 la commune de Lubumbashi consommera environ 145,27 GWh au cours d'un mois, soit 101,24 GWh pour le secteur tertiaire et semi-industriel et 44,03 GWh pour le secteur résidentiel. Ce qui conduira à un déficit de 73,29% ou 106,47 GWh le mois.

### 3 APPLICATION DU RÉSEAU NEURONAL ARTIFICIEL

Pour estimer le besoin énergétique de la commune représenté par la somme du secteur résidentiel, tertiaire et semi-industriel dans le tableau 2.11, un réseau neuronal artificiel a été entraîné et testé à cause de sa capacité à extrapoler et à généraliser. La formation d'un ANN à l'aide de PSO, passe par les étapes données dans [26] :

1. Collecte des données ;
2. Création du réseau ;
3. Initialisation des poids et des biais ;
4. Entraînement du réseau à l'aide de PSO ;
5. Validation du réseau et
6. Utilisation du réseau.

Notre ANN a quatre neurones d'entrée et un neurone de sortie correspondant au besoin énergétique. Les valeurs trouvées dans le tableau 2.15 et le tableau 2.16 indiquant les entrées (Pt, Mn, Pn, Cn) et sortie (SOMME) du modèle nous ont conduit à l'utilisation d'un algorithme de régression. La référence [26] donne les codes MATLAB utilisés pour entraîner le réseau neuronal en utilisant l'optimisation par essaims de particules (PSO).

L'ANN est défini comme un modèle empirique non linéaire basé sur le calcul qui a la capacité d'apprendre le comportement très complexe des systèmes physiques. En tant que tel, l'ANN est considéré comme une boîte noire qui peut prédire la valeur des variables de sortie spécifiques lorsque des informations d'entrée suffisantes ont été fournies [3].

Les ANN ont été utilisés dans de nombreux domaines tels que le contrôle, la prévision, l'optimisation, la reconnaissance des formes, la classification, la compression des données, etc. L'ANN est composé de neurones connectés entre eux par des poids (W) et des biais (b). Bien que cette technique de modélisation soit avantageuse en ce qui concerne le développement d'un modèle mathématique précis même lorsque le phénomène qui se produit au cours du processus n'est pas entièrement connu, les ANN sont incapables d'extrapoler avec précision [3]. La Fig 3.1 présente un modèle ANN typique. La couche d'entrée reçoit les données. Entre les couches d'entrée et de sortie se trouvent les couches cachées. La propagation des signaux d'entrée se fait progressivement dans le sens direct afin d'atteindre les couches de sortie. Il existe des fonctions d'activation à chaque nœud, transmises successivement par les couches précédentes.

Après la formation du réseau ANN, l'étape suivante consiste à entraîner le réseau. L'objectif principal de l'entraînement est de trouver les valeurs optimales des différents poids (W) et biais (b) du réseau ANN. Cette formation est un processus itératif qui utilise un algorithme d'optimisation non linéaire. Dans cet article, l'entraînement du réseau a été effectué par l'optimisation par essaims de particules (PSO) pour sa capacité à converger dans un temps raisonnable, comme décrit par Alam et al [4]. Des détails sur l'optimisation par essaims de particules peuvent être trouvés dans les références [10] et [11].

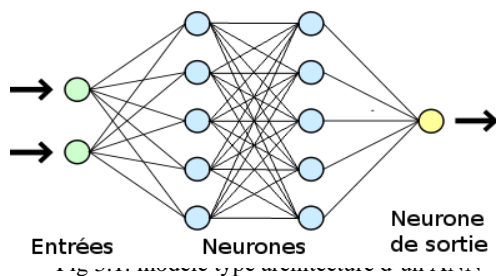


Fig.3.1 modèle type architecture d'un ANN

## 4 RÉSULTATS

La consommation de la commune est évaluée à 53.89 MW soit 38.8 GWh au cours d'un mois alors que le besoin estimé la même année s'élève à 51.6 GWh.

La croissance démographique augmente le besoin énergétique d'année en année ; si la production demeure statique d'ici 2050 le besoin de la commune s'élèverait à 145.27 GWh, causant ainsi un déficit de 106.47 GWh.

Le tableau 4.1 Indique le besoin énergétique obtenue. Les valeurs repris dans le tableau nous ont servi à valider la capacité de l'ANN à prédire avec précision le besoin énergétique de la commune.

Tableau 4.1: besoin énergétique de la commune (GWh) : prédiction ANN

ANNEE	ANN
2019	54.78
2020	53.19
2021	54.43
2022	55.45
2023	58.04
2024	60.09
2025	62.73
2026	64.09
2027	66.05
2028	68.10
2029	70.36
2030	68.85
2031	75.19
2032	78.00
2033	80.26
2034	82.85
2035	85.60
2036	88.50
2037	91.58
2038	94.75
2039	98.00
2040	102.35
2041	104.92
2042	108.75
2043	112.77
2044	116.99
2045	125.97
2046	125.46
2047	130.09
2048	135.46
2049	140.69
2050	139.94

La Figure 4.1 Montre la comparaison entre la sortie du réseau neuronal et le besoin de la commune donné dans le tableau 2.16. L'erreur moyenne de prédiction entre les sorties ANN et le besoin énergétique du tableau 2.16 est d'environ 5%. La performance de l'ANN proposé dans la prédiction du besoin énergétique était satisfaisante en raison des valeurs de régression plus élevées entre les sorties prédites et cibles pendant les phases de formation, de test et de validation, comme le montrent la Figure 4.2. Le graphique de régression suggèrent que les réponses obtenues par l'ANN pour toutes nouvelles données d'entrée dans la plage considérée sont fiables.

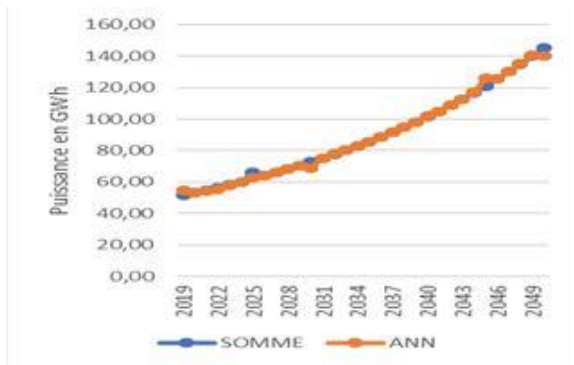


Figure 4.1 : comparaison entre ANN et le Tableau XVI

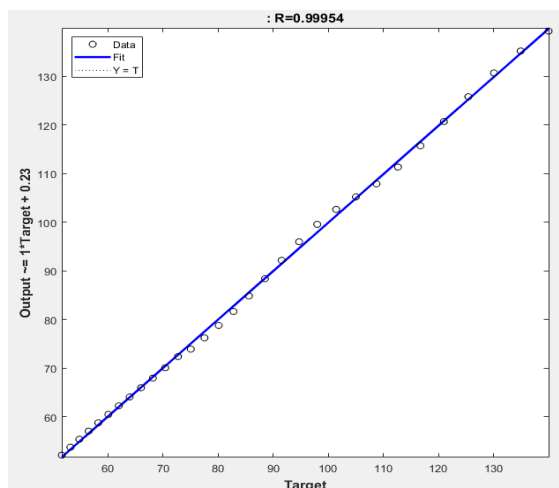


Figure 4.2 : Graphique de régression pour la phase de formation, de test et de validation du modèle

## CONCLUSION

Cette communication révèle que la commune de Lubumbashi connaît un déficit de 12,8 GWh soit 24,8 % de son besoin énergétique.

L'accroissement de la population implique l'augmentation de la demande, ainsi l'horizon 2050 verra le déficit de la commune à 73,29% ou 106,47 GWh.

Un réseau neuronal artificiel (ANN) a été employé pour modéliser le besoin énergétique de la commune. L'optimisation par essaims de particules (PSO) a été utilisée pour entraîner le réseau ANN. La grande précision des modèles ANN et la capacité du PSO à entraîner les ANN a été prouvée par les écarts inférieurs à 5% entre les valeurs prédites à l'aide de l'ANN et celles trouvées.

Ceci étant l'ANN présente un gain en temps dans le calcul du déficit énergétique par rapport à la méthode classique, de plus la tendance du besoin énergétique des nouvelles valeurs sont obtenues sans refaire tous les calculs analytiques.

Il serait intéressant que d'autres études se focalisent sur l'estimation du besoin de l'énergie électrique de la commune de Lubumbashi en utilisant d'autres méthodes de projection.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Sözen, A., Akçayol, M.A. and Arcaklioğlu, E., 2006. Forecasting net energy consumption using artificial neural network. *Energy Sources, Part B, 1*(2), pp.147-155.
- [2] L.K.Tartibu et K.T. Kabengele, 2020. « Forecasting Net Energy Consumption of South Africa using Artificial Neural Network », univertcity of Johannesburg, p. 1
- [3] Arce-Medina, E. and Paz-Paredes, J.I., 2009. Artificial neural network modeling techniques applied to the hydrodesulfurization process. *Mathematical and Computer Modelling, 49*(1-2), pp.207-214.
- [4] Alam, M.N., Das, B. and Pant, V., 2015. A comparative study of metaheuristic optimization approaches for directional overcurrent relays coordination. *Electric Power Systems Research, 128*, pp.39-52.
- [5] B. COMMUNAL, «Rapport annuel de l'exercice 2011, administration du territoire, commune de Lubumbashi,» inedit, 2011.
- [6] B. COMMUNAL, «Rapport annuel de l'exercice 2010, administration du territoire, commune de Lubumbashi,» inedit, 2010.
- [7] B. COMMUNAL, «Rapport annuel de l'exercice 2019, administration du territoire, commune de Lubumbashi,» inedit, 2019.
- [8] B. COMMUNAL, «Rapport annuel de l'exercice 2013, administration du territoire, commune de Lubumbashi,» inedit, 2013.
- [9] B. CUMMUNAL, «Rapport annuel de l'exercice 2012, administration du territoire, commune de Lubumbashi,» inedit, 2012.
- [10] Basheer, I.A. and Hajmeer, M., 2000. Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. *Journal of microbiological methods, 43*(1), pp.3-31.
- [11] Eberhart, R. and Kennedy, J., 1995, October. A new optimizer using particle swarm theory. In *Micro Machine and Human Science, 1995. MHS'95., Proceedings of the Sixth International Symposium on* (pp. 39-43). IEEE.
- [12] B. COMMUNAL, «Rapport annuel de l'exercice 2014, administration du territoire, commune de Lubumbashi,» inedit, 2014.
- [13] B. COMMUNAL, «Rapport annuel de l'exercice 2015, administration du territoire, commune de Lubumbashi,» inedit, 2015
- [14] B. COMMUNAL, «Rapport annuel de l'exercice 2017, administration du territoire, commune de Lubumbashi,» inedit, 2017.
- [15] B. COMMUNAL, «Rapport annuel de l'exercice 2018, administration du territoire, commune de Lubumbashi,» inedit, 2018
- [16] B. COMMUNAL, «Rapport annuel de l'exercice 2016, administration du territoire, commune de Lubumbashi,» inedit, 2016.
- [17] B. D. SNEL, «Rapport du centre de distribution de Lubumbashi, Tableau de relevé des pointes des courants,» inedit, Lubumbashi, 2020.
- [18] B. COMMUNAL, «administrastration du territoire, commune de Lubumbashi, exercice 2019,» inedit, 2019.
- [19] B. D. SNEL, «Rapport du centre de distribution de Lubumbashi, Tableau de relevé des pointes des courants,» inedit, Lubumbashi, 2020.

- [20] KASONGO MALEKANI et Bureau des Analyses et gestion SNEL, «Transmission des tableaux de bord de gestion et finance de la gestion sud : parti bilan d'énergie du transport, exercice 2018 mois de Janvier,» inedit, Lubumbashi, 2018.
- [21] J. LILLEN, «transport et modelisation de l'énergie électrique,» Institut d'électricité de Montefiore, Liege, 2006.
- [22] N. CHEMISOLE et S. LWAMBA , «Rapport mensuel des données collectées sur les analyseurs des parametres électriques installés aux injecteurs injecteurs et feeders MT SNEL,» inedit, 2020.
- [23] T. BARBIER, «Modélisation de la consommation électrique à partir de grandes masses de données pour la simulation des alternatives énergetiques du futur. En energie électrique,» France, 2017.
- [24] H. Audrey, M. Sinqi et C. Boudesocque, «Prospectives d'évolution de la consommation électrique domestique à l'horizon 2030,» INP Toulouse, Toulouse, 2011.
- [25] F. PELLETIR et T. SPOORENBERG, «Aperçu sur les methodes de projection,» dakar, 2016.
- [26] Alam, M.N., 2016. Codes in MATLAB for Training Artificial Neural Network using Particle Swarm Optimization. doi: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1078.7608>