



# ANALYSE DE L'IMPACT DES PROFILS DE CHARGES DES CLIENTS INDUSTRIELS SUR LA COURBE DE CHARGE GLOBALE DE SENELEC

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR 2IE AVEC GRADE DE  
MASTER EN GÉNIE ÉLECTRIQUE ET ÉNERGÉTIQUE  
SPÉCIALITÉ : ÉNERGIES RENOUVELABLES

---

Présenté et soutenu publiquement le 26 janvier 2021 par

**Modou Mamoune DIAGNE (2017 0458)**

**Encadrant 2iE : Ing. Justin BASSOLE, Enseignant au département Génie Electrique  
Energétique et Industriel de 2iE.**

**Maître de stage : Ing. Baye Samba NDIAYE, Chef service Etude et Maitrise de la  
Demande de Senelec.**

Structure d'accueil du stage : Société Nationale d'Electricité du Sénégal (SENELEC)

Jury d'évaluation du stage :

Président : Ing. Madieumbe GAYE

Membres et correcteurs : Ing. Ahmed ZONGO

Ing. Justin BASSOLE

**Promotion [2020 / 2021]**

## DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes défunts Parents, ma mère Mbaba DIOP et mon père Gora DIAGNE pour l'éducation et l'amour qu'ils m'ont donnés. Vous resterez à jamais dans mon cœur ! Restez en paix !*

*A M. et Mme Abdou et Ndèye Ndack BA pour m'avoir soutenu depuis ma tendre enfance.*

*A tous les membres de Juddu particulièrement Mme Thérèse DELFORGE et M. François BOUVY pour avoir contribué grandement à ma réussite scolaire.*

*A mes sœurs, oncles, tantes, cousins, cousines, neveux, nièces, bref à toute ma famille.*

## CITATION

*« A formation égale, la vérité triomphe. Formez-vous, armez-vous de sciences jusqu'aux dents (...), arrachez votre patrimoine culturel. »*

*Cheikh Anta DIOP*

## REMERCIEMENTS

Je remercie **Allah** le Tout-Puissant, Seigneur de l'univers, Créateur de toute vie, sans qui rien n'est possible.

J'adresse mes sincères remerciements aux équipes pédagogiques et administratives de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) du Burkina Faso dirigé par **Pr. El hadji Bamba DIAW** pour m'avoir intégré dans ce centre d'excellence afin de suivre une formation de qualité.

Je souhaiterais remercier **Pr. Moussa Y. SORO** ainsi que tout le Département du Génie Electrique et Energétique de 2iE pour les connaissances qu'ils m'ont transmises tout au long de ma formation.

J'adresse ma profonde reconnaissance à **M. Justin BASSOLE**, mon encadrant académique, pour sa disponibilité et le suivi de mon travail.

Je tiens aussi à remercier **M. Papa Mademba BITEYE**, Directeur Général de Senelec ainsi que le chef de la Direction des Etudes Générales **M. Falilou SEYE** pour m'avoir permis d'effectuer mon stage de fin d'études au sein de cette entreprise.

J'adresse également l'expression de ma profonde gratitude et ma reconnaissance à **M. Baye Samba NDIAYE**, mon encadrant professionnel, pour son suivi, ses conseils et la disponibilité dont il a fait preuve tout au long de mon stage au sein de son service.

Enfin à toutes les personnes qui m'ont soutenu de près ou de loin pour la réussite de ce travail.

## RESUME

Avec une puissance installée totale de 1 249 MW en 2018, l'énergie totale produite par Senelec au cours de cette année s'élève à 3 294 GWh. La consommation électrique des industriels est de 1 054 GWh soit 32% de la production totale de Senelec. Ainsi les industries manufacturières et agroalimentaires ont consommé plus de 385 GWh représentant ainsi le secteur le plus énergivore. De 2016 à 2018, la consommation du secteur du BTP est passée de 8,13 GWh à 47,31 GWh. Ce secteur présente alors le plus grand taux d'évolution durant cette période. Une méthodologie basée sur les algorithmes de clustering via le machine learning a permis d'obtenir les profils de charges types des clients HTB de Senelec et de quelques catégories d'entreprises HTA et BT. Par ailleurs, l'impact des profils de charges des industriels sur la courbe de charge globale de Senelec a été déterminé par le calcul de certains indicateurs caractérisant une courbe de charge. La courbe de charge du système de Senelec présente une pointe journalière maximale de 670,4 MW observée à 22 h. Les clients étudiés ont une contribution de 9,8% sur cette pointe soit 65,7 MW ; ils disposent donc d'un niveau de responsabilité peu élevé sur cette pointe. Ceci se justifie d'une part, par un ratio de consommation aux heures de pointe (19 h – 23 h) égal à 14% et d'un ratio de consommation aux heures hors pointe de 86%, d'autre part. Autrement dit, les clients industriels ont généralement une demande élevée sur l'intervalle 7 h - 18 h correspondant à leur période d'ouverture et cette demande chute en dehors de ces heures.

### Mots clés

---

- 1- Profils de charges
- 2- Clients industriels
- 3- Prévision de la demande
- 4- Machine learning
- 5- Clustering

## ABSTRACT

With a total installed capacity of 1,249 MW in 2018, the total energy produced by Senelec during this year amounts to 3,294 GWh. The electricity consumption of industrial customers is 1,054 GWh, or 32% of Senelec's total production. The manufacturing and food-processing industries consumed more than 385 GWh, making them the most energy-intensive sector. From 2016 to 2018, consumption in the construction sector increased from 8.13 GWh to 47.31 GWh. This sector then presents the highest rate of evolution during this period. A methodology based on clustering algorithms via machine learning has made it possible to obtain typical load profiles for Senelec's HVB customers and for some categories of HVA and LV companies. In addition, the impact of the load profiles of the industrial companies on Senelec's global load curve was determined by calculating certain indicators characterizing a load curve. The load curve of the Senelec system shows a maximum daily peak of 670.4 MW observed at 10 pm. The customers studied have a contribution of 9.8% on this peak, i.e., 65.7 MW; they therefore have a low level of responsibility on this peak. This is justified, on the one hand, by a peak consumption ratio (7 p.m. to 11 p.m.) equal to 14% and an off-peak consumption ratio of 86%, on the other hand. In other words, industrial customers generally have a high demand during the 7:00 a.m. to 6:00 p.m. interval corresponding to their business hours and this demand drops outside these hours.

### Key words

---

- 1- Load profiles
- 2- Industrial clients
- 3- Demand forecasting
- 4- Machine learning
- 5- Clustering

## TABLE DE MATIERES

DEDICACES .....	i
CITATION .....	ii
REMERCIEMENTS .....	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT .....	v
TABLE DE MATIERES .....	vi
LISTE DES ABREVIATIONS .....	xi
LISTE DES TABLEAUX.....	xiii
LISTE DES FIGURES .....	xiv
I. INTRODUCTION GENERALE .....	1
I.1. Contexte de l'étude .....	1
I.2. Objectifs.....	2
I.2.1. Objectif principal.....	2
I.2.2. Objectifs spécifiques .....	2
I.3. Organisation du travail .....	2
I.4. Le cadre de l'étude : Senelec .....	3
I.4.1. Historique et statut .....	3
I.4.2. Organisation .....	3
I.4.3. Mission .....	4
I.4.4. Service d'accueil : le SEMD .....	5
II. GENERALITES SUR LE SYSTEME ELECTRIQUE DE SENELEC .....	5
II.1. Introduction .....	5
II.2. Etat du système électrique de Senelec .....	5
II.2.1. Les sources de production .....	6

II.2.2.	Le réseau électrique.....	7
II.2.3.	Le transport .....	8
II.2.4.	La distribution .....	8
II.2.5.	Les clients.....	9
II.2.5.1.	Classification par usages .....	9
II.2.5.2.	Classification par niveaux de tension.....	9
II.3.	Conclusion .....	10
III.	ANALYSE DE LA DEMANDE ELECTRIQUE DES CLIENTS INDUSTRIELS ....	11
III.1.	Introduction.....	11
III.2.	Système de tarification de Senelec.....	11
III.2.1.	La facturation Basse tension .....	11
III.2.2.	La facturation des clients HTA et HTB .....	13
III.2.2.1.	Les tarifs HTA .....	13
III.2.2.2.	Les tarifs HTB.....	13
III.2.2.3.	Bonus ou pénalités suivant le facteur de puissance (cos phi) .....	13
III.3.	Analyse de la demande des clients professionnels de Senelec .....	14
III.3.1.	Analyse de la consommation énergétique globale des usagers professionnels de Senelec	14
III.3.2.	Analyse de la consommation par secteur d'activité en 2018 .....	16
III.3.2.1.	Agriculture, Chasse, Sylviculture .....	16
III.3.2.2.	Industries extractives .....	16
III.3.2.3.	Industries manufacturières et agroalimentaires.....	16
III.3.2.4.	Electricité, eau.....	17
III.3.2.5.	Bâtiment et travaux publics.....	17
III.3.2.6.	Commerce, restaurants et hôtels .....	17
III.3.2.7.	Transports, entrepôts et communications .....	18
III.3.2.8.	Banque, Assurances, affaires immobilières et services fournis .....	18

III.3.2.9. Services fournis à la collectivité, services sociaux .....	18
III.3.3. Evolution de la consommation énergétique par secteur d'activité de 2016 à 2018	18
III.4. Conclusion .....	20
IV. DETERMINATION DES PROFILS DE CHARGES TYPES DES USAGERS PROFESSIONNELS .....	21
IV.1. Introduction.....	21
IV.2. Généralités sur le clustering des données énergétiques .....	21
IV.3. Description de la méthodologie utilisée.....	22
IV.3.1. Nature des données.....	22
IV.3.2. Prétraitement des données .....	22
IV.3.3. Le clustering des données par la méthode des K-means .....	24
IV.3.3.1. La distance euclidienne .....	24
IV.3.3.2. Le critère Silhouette .....	25
IV.3.4. Implémentation des algorithmes sous Python.....	27
IV.4. Analyse des résultats obtenus .....	28
IV.4.1. Les clients HTB.....	28
IV.4.1.1. Profils de charges types de Someta.....	29
IV.4.1.2. Profils de charges types de Sococim.....	29
IV.4.1.3. Profils de charges types de la station de surpression SDE de Mékhé.....	30
IV.4.1.4. Profils de charges d'ICS .....	31
IV.4.1.5. Profils de charges de Fabrimetal.....	32
IV.4.2. Les clients HTA et BT .....	32
IV.4.2.1. Catégorie des stations de pompage d'eau .....	32
IV.4.2.2. Catégorie des usines d'épuration des eaux usées.....	34
IV.4.2.3. Catégorie des industries rizicoles.....	34
IV.4.2.4. Catégorie des entreprises d'horticulture .....	35

IV.4.2.5. Catégorie des couvoirs .....	36
IV.4.2.6. Catégorie des entreprises de télécommunications .....	37
IV.5. Conclusion .....	38
V. ANALYSE DE L'IMPACT DES PROFILS DE CHARGE DES CLIENTS PROFESSIONNELS .....	39
V.1. Introduction .....	39
V.2. Courbe de charge globale de Senelec .....	39
V.3. Définition des indicateurs d'impact sur la courbe de charges globale .....	40
V.3.1. Pointe du système.....	41
V.3.2. Pointe coïncidente de la catégorie : PC.....	41
V.3.3. Pointe non coïncidente de la catégorie : PNC.....	42
V.3.4. Somme des Demandes Maximales Individuelles : SDMI.....	42
V.3.5. Demande moyenne de la catégorie : DMoy .....	43
V.3.6. Facteur de charge : FC .....	43
V.3.7. Facteur de coïncidence : FCoin.....	43
V.3.8. Facteur de diversité : FD .....	44
V.3.9. Facteur de responsabilité : FR.....	44
V.3.10. Autres facteurs.....	44
V.4. Résultats et analyse du comportement de consommation des clients industriels.....	45
V.4.1. Les clients HTB.....	46
V.4.1.1. Someta.....	46
V.4.1.2. Sococim.....	47
V.4.1.3. Station de suppression de Mékhé .....	48
V.4.1.4. ICS .....	49
V.4.1.5. Fabrimetal .....	49
V.4.2. Les catégories HTA et BT.....	50
V.4.2.1. Les rizeries .....	51

**ANALYSE DE L'IMPACT DES PROFILS DE CHARGES DES CLIENTS INDUSTRIELS SUR LA COURBE DE CHARGE GLOBALE  
DE SENELEC**

V.4.2.2.	Les industries d'horticulture .....	52
V.4.2.3.	Les couvoirs .....	53
V.4.2.4.	Usines d'épuration des eaux usées.....	54
V.4.2.5.	Stations de pompage : .....	54
V.4.2.6.	Télécommunications : .....	55
V.4.3.	Analyse comparative des courbes de charges .....	56
V.5.	Conclusion .....	57
CONCLUSION	.....	58
RECOMMANDATIONS / PERSPECTIVES	.....	60
BIBLIOGRAPHIE	.....	61
ANNEXES	.....	I

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>BT</b>	: Basse Tension
<b>Cons</b>	: Consommation
<b>DGP</b>	: Domestique Grande Puissance
<b>DMoy</b>	: Demande Moyenne
<b>DMP</b>	: Domestique Moyenne Puissance
<b>DPP</b>	: Domestique Petite Puissance
<b>EDM</b>	: Energie Du Mali
<b>EP</b>	: Eclairage Public
<b>FC</b>	: Facteur de Charge
<b>FCoin</b>	: Facteur de Coïncidence
<b>FD</b>	: Facteur de Diversité
<b>FR</b>	: Facteur de Responsabilité
<b>GWh</b>	: Giga Wattheure
<b>HTA</b>	: Haute Tension catégorie A
<b>HTB</b>	: Haute Tension catégorie B
<b>Hut</b>	: Heure d'Utilisation
<b>IA</b>	: Intelligence Artificielle
<b>km</b>	: kilomètre
<b>Koffp</b>	: Consommation hors heures de pointe
<b>Konp</b>	: Consommation heures de pointe
<b>kV</b>	: kilo volt
<b>kW</b>	: kilo Watt

**ANALYSE DE L'IMPACT DES PROFILS DE CHARGES DES CLIENTS INDUSTRIELS SUR LA COURBE DE CHARGE GLOBALE  
DE SENELEC**

<b>kWh</b>	: kilo Wattheure
<b>MW</b>	: Méga Watt
<b>MWh</b>	: Méga Wattheure
<b>PC</b>	: Pointe Coïncidente
<b>PGP</b>	: Professionnel Grande Puissance
<b>PIB</b>	: Produit Intérieur Brut
<b>PMP</b>	: Professionnel Moyenne Puissance
<b>PNC</b>	: Pointe Non Coïncidente
<b>PPP</b>	: Professionnel Petite Puissance
<b>PV</b>	: Photovoltaïque
<b>RI</b>	: Réseau Interconnecté
<b>RNI</b>	: Réseau Non Interconnecté
<b>SDMI</b>	: Somme des Demandes Maximales Indépendantes
<b>Senelec</b>	: Société Nationale d'Electricité du Sénégal
<b>TCU</b>	: Tarif Courte Utilisation
<b>TLU</b>	: Tarif Longue Utilisation
<b>V</b>	: Volt

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Puissances installées par centres de responsabilité en 2018. Source : Senelec .....	7
Tableau 2: Classification des réseaux par niveaux de tension .....	7
Tableau 3: Répartition des clients de Senelec. Source : Senelec 2018 .....	10
Tableau 4: Tranches de consommation des usagers BT .....	12
Tableau 5 : Pénalité sur la facture en fonction des cos phi .....	14
Tableau 6: Consommation énergétique des industriels en GWh de 2016 à 2018. Source : Senelec .....	19
Tableau 7: Demandes des clients HTB .....	46
Tableau 8: Indicateurs des clients HTB .....	46
Tableau 9: Demandes des catégories HTA/BT .....	50
Tableau 10: Indicateurs des profils de charges des catégories HTA/BT .....	51

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de Senelec .....	4
Figure 2: Part des différentes sources de production de Senelec. Source : Senelec 2018 .....	6
Figure 3: Répartition des lignes électriques de Senelec. Source : Senelec 2018 .....	8
Figure 4: Consommation énergétique des secteurs d'activité en 2018. Source : Senelec .....	15
Figure 5: Logigramme du traitement des données des charges d'une catégorie .....	28
Figure 6 : Profils de charges types de Someta .....	29
Figure 7: Profils de charges types de Sococim .....	30
Figure 8: Profils de charges types de la station de surpression de Mékhé .....	30
Figure 9: Profils de charges types d'ICS .....	31
Figure 10: Profils de charges types de Fabrimetal .....	32
Figure 11: Profils de charges types des stations de pompage d'eau .....	33
Figure 12: Profils de charges types des usines d'épuration des eaux usées.....	34
Figure 13: Profils de charges types des rizeries .....	35
Figure 14: Profils de charges types des entreprises d'horticulture .....	36
Figure 15: Profils de charges types des couvoirs .....	36
Figure 16: Profils de charges types des entreprises de télécommunications.....	37
Figure 17: Demande globale de Senelec .....	39
Figure 18: Schéma d'illustration des pointes.....	41
Figure 19: Courbe de charges moyennes de Someta.....	47
Figure 20: Courbe de charges moyennes de Sococim.....	48
Figure 21: Courbe de charges moyennes de la station de surpression de Mékhé .....	48
Figure 22: Courbe de charges moyennes d'ICS .....	49
Figure 23: Courbe de charges moyennes de Fabrimetal .....	50
Figure 24: Courbe du système et profil de charges des rizeries.....	51
Figure 25: Courbe du système et profil de charges du sous-secteur Horticulture.....	52
Figure 26: Courbe du système et profil de charges du sous-secteur Couvoirs .....	53
Figure 27: Courbe du système et profil de charges du secteur Assainissement.....	54
Figure 28: Courbe du système et courbe de charges des stations de pompage .....	55
Figure 29: Courbe du système et courbe de charges des entreprises de télécom.....	56
Figure 30: Courbe globale du système et courbe du système sans la charge des industriels...	56

# I. INTRODUCTION GENERALE

## I.1. Contexte de l'étude

L'énergie électrique, en raison des nombreuses possibilités qu'elle offre, est ancrée dans la vie de l'Homme au point qu'elle y occupe une place incontournable. C'est ainsi qu'elle est devenue un facteur de développement socio-économique des pays. En 2019, le continent africain abrite 17% de la population mondiale, mais ne consomme que 3,3% de l'énergie électrique produite mondialement. Ce manque d'électrification entraîne au sein du continent des pertes économiques annuelles de 2 à 4% du PIB [1]. En effet, l'électrification est un moyen de développement de l'entrepreneuriat social, de la créativité et de l'accélération de l'industrialisation.

Le Sénégal, pays d'Afrique subsaharienne, enregistre depuis 2015, un rythme de croissance économique supérieur à 6,5%. Ceci symbolise le dynamisme observé au niveau des différents secteurs d'activités économiques [2]. Par contre son taux d'électrification national n'est que de 65% en 2018. Ainsi, pour combler ce gap, il est nécessaire de mettre en place des politiques visant à augmenter les moyens de production de l'énergie électrique. Toutefois, la prévision de la demande est à la base de la planification de ces moyens de production pour satisfaire la demande du pays (ménages, éclairage public, professionnels, industriels et grands projets). Elle doit donc refléter le plus rigoureusement possible les consommations à court, moyen et long terme. Pour ce faire il est primordial d'avoir une bonne maîtrise des déterminants de la consommation pour prévoir la demande des clients raccordés au réseau et plus particulièrement les clients professionnels.

Dans le cadre de cette étude un focus sera fait sur les profils de consommation des clients industriels qui diffèrent selon le secteur d'activité.

Ainsi une analyse rétrospective des profils de consommations d'un échantillon de clients sera faite pour ensuite évaluer l'impact de ces clients sur la courbe de charge globale de Senelec.

## **I.2. Objectifs**

### **I.2.1. Objectif principal**

L'objectif principal de cette étude c'est d'avoir une meilleure maîtrise des profils de charges des clients industriels<sup>1</sup> selon leurs secteurs d'activités (mines, industries agricoles, télécommunications, minoteries etc.) pour garantir une prévision plus fiable de la demande potentielle de ces clients dans le moyen et le long terme.

### **I.2.2. Objectifs spécifiques**

Les objectifs spécifiques peuvent être relatés en quatre (04) principaux points :

- ✓ Faire une analyse rétrospective de la demande des clients industriels existants ;
- ✓ Mettre en place une méthodologie pour déterminer les profils de charges types de ces clients ;
- ✓ Déterminer les facteurs et les indicateurs qui caractérisent les demandes de ces clients ;
- ✓ Analyser l'impact de leurs demandes sur la courbe de charge globale de Senelec.

## **I.3. Organisation du travail**

Afin d'atteindre les objectifs fixés, l'étude est subdivisée en quatre (04) parties :

- ✓ La première partie est consacrée aux généralités sur le réseau électrique de Senelec en mettant l'accent sur les sources de production, les moyens de transport et de distribution de l'énergie et la catégorisation des clients ;
- ✓ La deuxième partie concerne l'analyse rétrospective de la demande électrique des clients industriels de Senelec ;
- ✓ La troisième partie est une présentation de la méthodologie mise en place pour déterminer les profils de charges types des clients professionnels et la validation de cette méthodologie ;
- ✓ Enfin la quatrième partie concerne l'analyse proprement dite de l'impact de la demande de ces clients sur la charge globale de Senelec avec la détermination des facteurs qui le caractérise.

---

<sup>1</sup> Un client industriel est défini ici comme étant un usager d'énergie électrique pour une activité professionnelle.

## **I.4. Le cadre de l'étude : Senelec**

### **I.4.1. Historique et statut**

En 1887, on assiste aux premières électrifications de Saint-Louis du Sénégal par l'ingénieur civil Hippolyte VAUBOURD. Il s'en est suivi la construction de la première centrale électrique du Sénégal à Saint-Louis en 1889 par la Société d'Éclairage Électrique du Sénégal (SEES). Cette dernière entra en faillite en 1891 et fut remplacée par la Nouvelle Société d'Éclairage Électrique du Sénégal (NSEES). En 1929, EEOA, la Compagnie des Eaux et Electricité de l'Ouest Africain est créée. Son siège est construit en 1930 à la Rue Vincens de Dakar et par la suite, il y a la mise en place de deux nouvelles unités de production électrique de 1,25 MW à Bel-Air. Entre 1971 et 1972, l'Etat du Sénégal rachète les installations électriques et crée deux sociétés que sont EDS (Electricité du Sénégal) et Senelec (Société Sénégalaise de Distribution Electrique). La première est chargée de la réalisation des ouvrages et installations électriques et la seconde, de leur exploitation [3].

Le 05 juillet 1983, la normalisation devient effective et l'Etat Sénégalais crée une société unique dénommée Société Nationale d'Electricité du Sénégal (Senelec) par la Loi n° 83-72 du 05/07/1983. Senelec devient donc une société anonyme (SA) de droit sénégalais à capitaux publics majoritaires avec un capital de 175 236 340 000 FCFA au 1<sup>er</sup> octobre 2018. Elle est responsable de la production, du transport et de la distribution de l'énergie électrique au Sénégal [4].

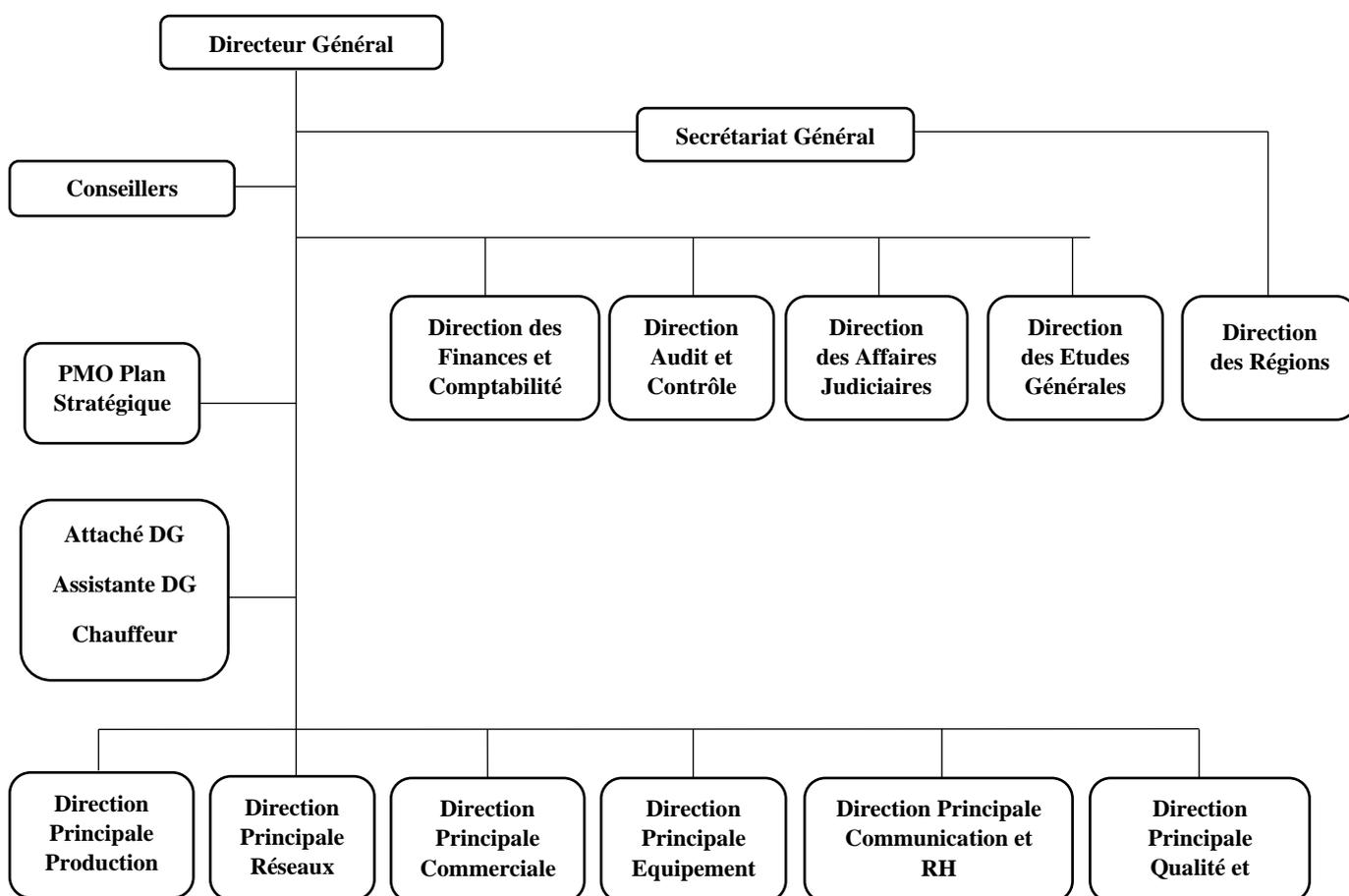
### **I.4.2. Organisation**

Senelec est sous tutelle du Ministère du Pétrole et des Energies du Sénégal qui s'assure de la bonne application des lois qui l'encadrent. Le Ministère de l'Economie, des Finances et du Plan assure une mission de contrôle financier de l'entreprise. Ses instances de gouvernance sont le Conseil d'Administration et le Comité de direction. Le Conseil d'Administration est formé par un Président et de neuf (09) administrateurs. Le Comité Exécutif est composé de la Direction Générale à laquelle sont rattachés, un Secrétariat Général, des Conseillers et les directions suivantes :

- Direction Principale Communication et RH ;
- Direction des Finances et Comptabilité ;
- Direction Audit et Contrôle ;

- Direction des Affaires Juridiques ;
- Direction Principale Qualité et Supports ;
- Direction des Etudes Générales ;
- Direction des Régions ;
- Direction Principale Equipement ;
- Direction Principale Production ;
- Direction Principale Réseaux ;
- Direction Principale Commerciale.

La Figure 1 montre de façon plus détaillée, l'organigramme de Senelec.



*Figure 1: Organigramme de Senelec*

### **I.4.3. Mission**

La mission prioritaire de Senelec est de garantir la fourniture d'énergie électrique aux citoyens et aux industries afin de participer activement au développement du pays. Elle détient alors le monopole de la production, du transport et de la distribution de l'énergie électrique sur son périmètre de concession. Son rôle s'étend aussi sur l'identification, le financement et la

réalisation de nouveaux ouvrages sur le périmètre. Elle est donc responsable du développement de la production avec la possibilité de recourir à des installations de production nouvelles qui lui sont propres ou à la production indépendante.

#### **I.4.4. Service d'accueil : le SEMD**

Ce stage s'est déroulé au sein du Service Etude et Maitrise de la Demande (SEMD) du Département Etudes Economiques Générales de la Direction des Etudes Générales. Cette direction est chargée des études et de la planification de Senelec en établissant des plans d'investissement relatifs à la production, transport et distribution. Sa mission est aussi d'établir les études tarifaires, économiques et statistiques. Elle est aussi chargée de l'observation et des études prévisionnelles de la demande. La figure de l'Annexe 1 montre de manière détaillée l'organigramme de cette direction.

## **II. GENERALITES SUR LE SYSTEME ELECTRIQUE DE SENELEC**

### **II.1. Introduction**

Un système électrique désigne un ensemble d'infrastructures permettant la production et l'acheminement de l'énergie des centrales électriques vers les consommateurs. La qualité du système électrique d'un pays joue un rôle prépondérant dans son développement. En effet la croissance économique d'un pays entraîne une augmentation de l'activité industrielle. Cette dernière entraîne à son tour, une augmentation de la demande énergétique en général et électrique en particulier. De graves conséquences économiques peuvent alors résulter du manque d'électricité dans un pays.

Pour les besoins d'analyse de l'impact de la demande électrique des industries sur la charge globale de Senelec, il est primordial de connaître l'état de son système. De ce fait, dans cette seconde partie, nous allons présenter le système électrique de Senelec afin de se familiariser avec celui-ci.

### **II.2. Etat du système électrique de Senelec**

Pour pouvoir assurer un service répondant à des normes de qualité, d'accessibilité et de continuité, Senelec dispose, dans son système, des éléments ci-dessous.

### II.2.1. Les sources de production

Les sources de production sont les premiers éléments d'un système électrique car elles produisent l'énergie électrique qui sera acheminée vers les clients. La production de l'électricité concerne la transformation d'énergies primaires diverses en énergie électrique directement utilisée par les consommateurs. L'énergie est généralement produite sous haute tension catégorie A (HTA). Senelec dispose de centrales avec des sources de production diverses telles que les hydrocarbures, le gaz naturel, le solaire, l'hydraulique. Du fait du rôle clé que joue la production dans sa mission, Senelec doit garantir l'opérationnalisation et la maintenance de toutes les installations de production.

Senelec dispose de trois sources de production en 2018. Il s'agit des centrales thermiques, des centrales hydrauliques et des centrales solaires. Le parc national de production est assuré par le parc propre de Senelec, des unités de production privées et des importations. La puissance totale installée est de 1249,29 MW en 2018. Le parc propre de Senelec dispose d'une puissance installée de 505,89 MW soit 40,49% de la puissance totale tandis que les producteurs privés ont une puissance de 743,40 MW soit 59,41% de la puissance totale installée [5].

La Figure 2 montre une large domination des centrales thermiques avec 83% de la production totale soit 1031,29 MW. En deuxième position il y a les centrales solaires avec 11% et enfin les centrales hydroélectriques avec 6%.

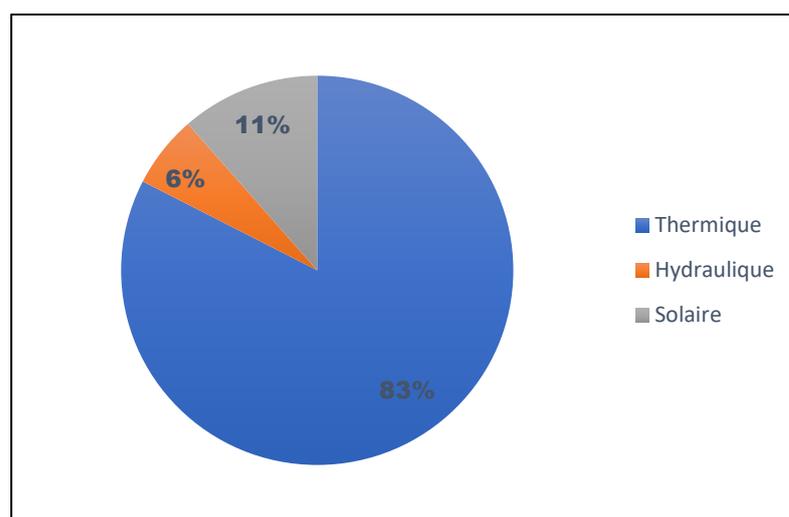


Figure 2: Part des différentes sources de production de Senelec. Source : Senelec 2018

La classification peut se faire aussi par puissances installées dans les centres de responsabilité comme l'indique le Tableau 1 où l'on peut constater que les parcs propres à Senelec en réseau interconnecté (RI) et réseau non interconnecté (RNI) apportent respectivement 35,54% et

5,43% de la production totale. Tandis que les centrales de production indépendante conventionnelle produisent 31,49% de la puissance totale installée.

*Tableau 1: Puissances installées par centres de responsabilité en 2018. Source : Senelec*

Centres de responsabilité	Puissance installée (MW)	Part
OMVS (Hydraulique)	75	6%
Location RI	90	7,2%
Centrales solaires PV	143	11,45%
Centrales de production indépendante conventionnelle	393,4	31,49%
Importation Mauritanie	20	1,6%
Capacité propre de Senelec RI	444	35,54%
Autoproduction	16	1,28%
Réseau Non interconnecté	67,89	5,43%
Total	1249,29	100%

### II.2.2. Le réseau électrique

Pour faire transiter l'énergie électrique des sources de production aux points de consommation, il faut un ensemble d'appareillages. Cet ensemble est appelé réseau électrique et il forme le deuxième étage du système électrique. Il est composé du réseau de transport et du réseau de distribution et est classifié en fonction des niveaux de tension comme indiqué sur le Tableau 2.

*Tableau 2: Classification des réseaux par niveaux de tension*

Appellation	Catégories du réseau	Tension (V)
TBT	Très Basse Tension	$U \leq 50$
BTA	Basse Tension	1 <sup>e</sup> catégorie $50 < U \leq 500$
BTB		2 <sup>e</sup> catégorie $500 < U \leq 1\ 000$
HTA	Haute Tension	1 <sup>e</sup> catégorie $1000 < U \leq 50\ 000$
HTB		2 <sup>e</sup> catégorie $U > 50\ 000$

### II.2.3. Le transport

Le transport de l'énergie des postes de production et d'interconnexion aux postes de répartition est fait sous haute tension (HTB) via le réseau de transport. En raison des grandes quantités d'énergie qui transitent sur le réseau de transport, celui-ci nécessite des lignes électriques de forte capacité.

Senelec dispose d'un réseau de transport qui s'étend sur une longueur de totale de 582,52 km en 2018 avec des niveaux de tension de 90 et 225 kV (HTB). Le niveau 90 kV s'étend sur 255,78 km et le niveau 225 kV sur 324,74 km.

### II.2.4. La distribution

La distribution de l'énergie électrique se fait en moyenne tension (HTA) et basse tension (BT). Elle concerne les réseaux électriques reliant les postes de distribution aux postes de consommation. Les postes électriques de transformation, les lignes aériennes et le réseau de conducteurs les reliant aux transformateurs de secteur constituent les principaux composants du réseau de distribution. Les clients industriels peuvent souvent être directement desservis à partir de leurs propres postes de transformation.

Le réseau de distribution de Senelec est composé de 8 033 postes HTA/BT répartis en 5 119 postes publics et 2 730 postes privés. Il existe aussi des postes publics/privés qui sont au nombre de 184. La desserte de ces postes est faite sur 12 108 km de lignes HTA et 9 782 km de lignes BT. Il existe une domination des lignes aériennes avec 10 091 km contre 2 004 km de lignes souterraines. Aussi, y a-t-il l'existence de lignes fluviales desservant uniquement 13 km du réseau national comme indiqué sur la Figure 3.

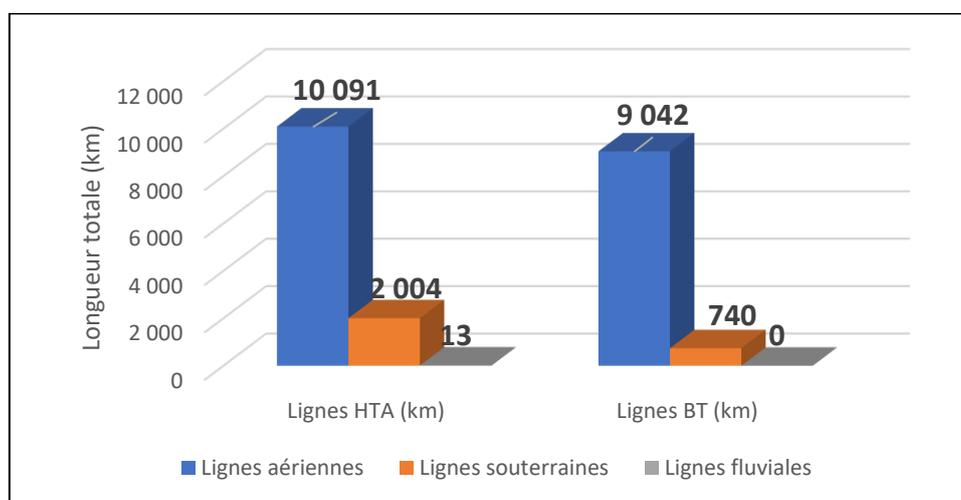


Figure 3: Répartition des lignes électriques de Senelec. Source : Senelec 2018

## **II.2.5. Les clients**

La caractérisation des clients se fait suivant l'usage ou suivant les niveaux de tensions électriques.

### **II.2.5.1. Classification par usages**

La classification par usage fait ressortir deux groupes de clients, les usagers domestiques et les usagers professionnels. Ces derniers se retrouvent dans les neuf (09) secteurs d'activité du Sénégal et listés ci-après. Il s'agit de :

- ✓ Le secteur Agriculture, Chasse, Sylviculture composé des industries de production agricole, d'élevage, de chasse, d'exploitation forestière et de sylviculture ;
- ✓ Le secteur Banque, Assurances, Services composé des Etablissements financiers, des Assurances, des Affaires immobilières, des Blanchisseries etc. ;
- ✓ Le secteur Bâtiment et Travaux publics ;
- ✓ Le secteur Commerce, Restaurants et Hôtels formé par les sociétés de commerce de produits finis, des hôtels, des entreprises de commerce d'hydrocarbures et de gaz ;
- ✓ Le secteur de l'Electricité et de l'Eau ;
- ✓ Les industries extractives composées des industries de pétrole, de gaz etc. ;
- ✓ Les industries manufacturières et agroalimentaires ;
- ✓ Les services fournis à la collectivité ;
- ✓ Le secteur Transports, entrepôts et communications.

D'ailleurs la demande électrique de ces usagers professionnels fera l'objet de cette étude.

### **II.2.5.2. Classification par niveaux de tension**

Suivant les niveaux de tensions, il existe trois (03) types de clients : les clients BT, les clients HTA et les clients HTB. Senelec compte au total 1 447 427 clients en 2018 comme indiqués dans le Tableau 3.

*Tableau 3: Répartition des clients de Senelec. Source : Senelec 2018*

<b>Clients</b>	<b>Nombre</b>	<b>Part</b>
BT	1 444 773	99%
HTA	2 648	<1%
HTB	5	<1%
Exportation (EDM et NAWEK)	1	<1%
Total	1 447 427	100%

➤ **Les clients BT :**

Cette catégorie concerne les ménages et les professionnels dont l'activité nécessite une tension électrique inférieure à 1000 V. Ces usagers professionnels sont des petites entreprises ou industries. Les clients BT constituent la plus grande part du total des clients avec 99% du total des clients de Senelec en 2018.

➤ **Les clients HTA :**

En 2018, les clients HTA de Senelec sont au nombre de 2 648 soit moins de 1% du total des clients. Leurs activités nécessitent des tensions électriques comprises entre 1 et 50 kV. Ils sont composés principalement d'usagers professionnels qui forment les moyennes et grandes entreprises ou industries.

➤ **Les clients HTB :**

Les clients HTB sont uniquement au nombre de cinq (5). Ce sont de grands industriels dont l'activité électrique nécessite des niveaux de tension supérieurs à 50 kV.

### **II.3. Conclusion**

Senelec assure la fourniture de l'énergie électrique sur l'étendue du territoire Sénégalais à partir d'un système dont les premières composantes sont de sources de production d'électricité d'origines thermique, solaire et hydraulique. La puissance totale installée s'élève à plus de 1 249 MW. Le transport de cette énergie sous haute tension se fait sur plus de 582 km de lignes électriques. La distribution se fait en moyenne et basse tensions à partir de 21 890 km de lignes avec plus de 8 000 postes de transformations publics ou privés. Cette énergie est destinée à un total de 1 447 427 clients répartis en usagers domestiques ou professionnels. La demande de ces derniers fait l'objet d'une analyse dans la partie qui suit.

### **III. ANALYSE DE LA DEMANDE ELECTRIQUE DES CLIENTS INDUSTRIELS**

#### **III.1. Introduction**

L'objectif de cette partie est de faire, une analyse de la demande énergétique des clients qui composent les différents secteurs d'activité du Sénégal. Cette analyse est basée sur les données de consommation électrique de ces clients sur plusieurs années. Tout d'abord, il est question d'étudier le système de facturation de Senelec, ensuite de faire une analyse détaillée de la demande.

#### **III.2. Système de tarification de Senelec**

Pour pouvoir faire une analyse de la demande énergétique des clients, il faut au préalable comprendre le système de tarification mis en vigueur par le fournisseur d'électricité. En effet, les consommateurs surtout les professionnels doivent se baser sur ce système pour définir leurs demandes énergétiques afin de mettre en place des solutions d'efficacité énergétique au sein des entreprises. Ces solutions leur permettent ainsi de pouvoir gérer leurs factures d'électricité. Il doit alors exister une corrélation entre le système de tarification de Senelec et les courbes de charges des entreprises.

Le système tarifaire de Senelec est construit sur la base de différents paramètres pour répondre à des objectifs visés par la tarification de l'énergie électrique, notamment, la gestion de la demande. Parmi ces paramètres on peut citer :

- ✓ La tarification par niveau de tension ;
- ✓ La tarification par poste horaire ;
- ✓ La tarification binôme ;
- ✓ L'intégration des heures d'utilisation.

Ce système offre deux types de facturations. Suivant le niveau de tension, on distingue la facturation Basse Tension et la Moyenne et Haute Tensions.

##### **III.2.1. La facturation Basse tension**

Les clients BT sont facturés suivant leurs statuts et leurs niveaux de puissances comme indiqué en Annexe 2. Ainsi, distingue-t-on les usagers domestiques et les professionnels. Au niveau de ces deux groupes, une classification par puissances est faite. En effet les clients Petite Puissance sont ceux dont la puissance souscrite est inférieure à 6 kW, les clients Moyenne Puissance ont

une puissance souscrite comprise entre 7 et 17 kW et enfin les clients Grande Puissance sont ceux dont la puissance est supérieure à 17 kW. En outre, nous avons l'éclairage public. Cette classification nous fournit alors sept (07) types de clients BT. La tarification peut être :

- ✓ A tranches de consommation avec des tarifs progressifs ;
- ✓ A binôme à postes horaires sans prime fixe ni pénalité ;
- ✓ A binôme à postes horaires avec prime fixe et des pénalités ou bonification dépendant du facteur de puissance ;
- ✓ A tarif moyen avec prime fixe.

En plus de cette classification, il existe le critère de profondeurs de tranches basé sur la puissance souscrite et sur le nombre d'heures estimé d'utilisation des appareils pour un client modestement équipé. Ce critère concerne les usages domestiques Petite et Moyenne Puissance (UD-PP et UD-MP) et les usages professionnels Petite et Moyenne Puissance (UP-PP et UP-MP). Il a été instauré pour inciter les usagers à utiliser des appareils économes en énergie afin de réduire leur demande et de permettre l'augmentation du taux d'accès à l'électricité. Le Tableau 4 montre les profondeurs de tranches qui ont été retenues.

*Tableau 4: Tranches de consommation des usagers BT*

<b>Option tarifaire</b>	<b>1<sup>ère</sup> tranche</b>	<b>2<sup>ème</sup> tranche</b>	<b>3<sup>ème</sup> tranche</b>
UD-PP	De 0 à 150 kWh	De 151 à 250 kWh	Plus de 250 kWh
UD-MP	De 0 à 50 kWh	De 51 à 300 kWh	Plus de 300 kWh
UP-PP	De 0 à 50 kWh	De 51 à 500 kWh	Plus de 500 kWh
UP-MP	De 0 à 100 kWh	De 101 à 500 kWh	Plus de 500 kWh

Le prix de l'énergie est calculé en fonction de ces tranches. Ainsi il y a augmentation du prix du kWh entre la première et la deuxième et entre la deuxième et la troisième tranche.

Pour les usages BT domestique Grande Puissance et professionnel Grande Puissance (UD-GP et UP-GP), la facturation est faite sur la base de la consommation aux heures de pointes (19 h à 23 h) et les heures hors pointe (23 h à 19 h) avec une prime fixe mensuelle par kW.

L'éclairage public est facturé sur la base d'un tarif fixe par kWh et une prime mensuelle fixe par kW souscrite.

### **III.2.2. La facturation des clients HTA et HTB**

Les clients HTA et HTB sont caractérisés par :

- ✓ La disposition d'un poste de transformation avec une puissance souscrite supérieure à 34 kW ;
- ✓ La facturation de l'énergie suivant les heures des consommations : heures de pointe (19 h à 23 h) ou hors pointe (23 h à 19 h) avec une prime fixe.

Leur facturation tient compte de :

- ✓ L'énergie consommée dans ses composantes actives et réactives ;
- ✓ Les tranches horaires de consommation ;
- ✓ La puissance souscrite pour l'installation du client ;
- ✓ Le facteur de puissance de l'installation ou cosinus phi.

#### **III.2.2.1. Les tarifs HTA**

La facturation en HTA se fait suivant quatre (04) tarifs :

- Le Tarif Courte Utilisation (TCU) conseillé pour un nombre d'heures d'utilisation (Hut) inférieur à 1000 heures par an ;
- Le Tarif Général (TG) conseillé pour un Hut comprise entre 1000 et 4000 heures par an.
- Le Tarif Longue Utilisation (TLU) conseillé pour un Hut supérieur à 4000 heures par an ;
- Le Tarif des concessionnaires d'électrification rurale.

Les options tarifaires indiquées ci-avant sont fonction du nombre d'heures d'utilisation de la puissance souscrite dans l'année. La facturation des trois (03) premiers tarifs se fait suivant les heures des pointe et heures hors pointe et une prime fixe par kW de puissance souscrite. Tandis que le dernier tarif propose un prix moyen par kWh consommé sans prime fixe.

#### **III.2.2.2. Les tarifs HTB**

Pour les clients HTB, il existe deux (02) tarifs à savoir le Tarif Général et le Tarif Secours.

#### **III.2.2.3. Bonus ou pénalités suivant le facteur de puissance (cos phi)**

Le facteur de puissance est indicateur de la qualité et de la gestion d'une installation électrique. Il est calculé suivant la formule (1) en tenant compte des consommations actives et réactives de l'installation.

$$\cos \phi = \frac{a}{\sqrt{a^2 + r^2}} \quad (1)$$

Où :

$a$  est la consommation active à facturer ;

$r$  est la consommation réactive à calculer.

Suivant la valeur du cos phi de l'installation du client, un bonus ou une pénalité peut lui être appliqué.

➤ **Bonus cos phi :**

Pour une installation avec un cos phi supérieur à 0,95, une minoration de la facture de l'ordre de 0,75% par centième du cos phi est allouée au client.

➤ **Pénalité cos phi :**

Les clients qui disposent d'installations avec un cos phi inférieur à 0,80 sont pénalisés. La pénalité varie suivant les valeurs du Tableau 5.

Tableau 5 : Pénalité sur la facture en fonction des cos phi

Valeur cos phi	Pénalité	Valeur cos phi	Pénalité
De 0,75 à 0,80	+5%	De 0,50 à 0,54	+40%
De 0,70 à 0,74	+10%	De 0,45 à 0,49	+50%
De 0,65 à 0,69	+15%	De 0,40 à 0,44	+65%
De 0,60 à 0,64	+20%	Inférieur à 0,40	+80%
De 0,55 à 0,69	+30%		

### III.3. Analyse de la demande des clients professionnels de Senelec

#### III.3.1. Analyse de la consommation énergétique globale des usagers professionnels de Senelec

Les données de consommation énergétique les plus récentes disponibles sont celles de l'année 2018. La Figure 4 est une représentation de ces données.

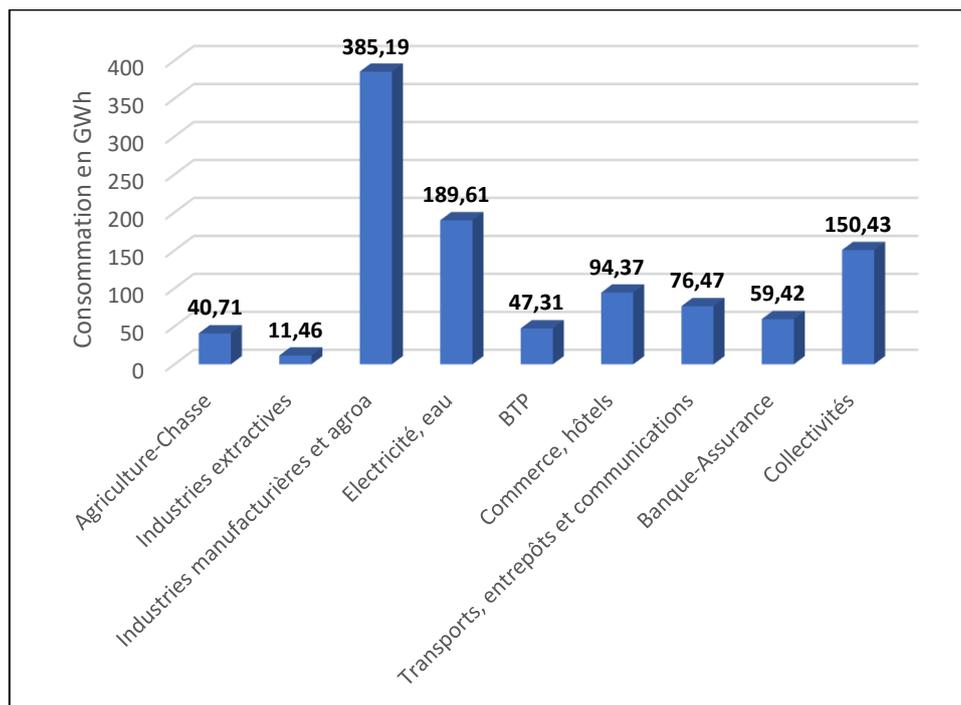


Figure 4: Consommation énergétique des secteurs d'activité en 2018. Source : Senelec

En 2018, les industries manufacturières et agroalimentaires constituent le secteur ayant consommé le plus d'énergie avec plus de 385,19 GWh représentant 36% de la consommation totale de l'ensemble des secteurs d'activité. Ce chiffre se justifie par le nombre élevé d'entreprises qui composent ce secteur et l'importante densité énergétique de leurs activités. Les industries les plus énergivores de ce secteur sont entre autres les industries alimentaires, les usines productrices de froid et les industries de plastique. Ensuite vient le secteur de l'eau et de l'électricité avec 189,61 GWh. Ce secteur consomme plus de 17% de la demande totale des industriels et est constitué des industries productrices d'électricité, de gaz ou de vapeur et des usines d'eau utilisant de grandes pompes. Le troisième secteur concerne les services fournis à la collectivité et services sociaux avec 150,43 GWh. Dans ce secteur, les services médicaux et l'administration disposent de la plus grande part de consommation électrique. Le secteur des commerces et restaurants et celui des transports et communications consomment respectivement 94,37 et 76,47 GWh. Au bas de l'échelle se trouvent les industries extractives composées des sociétés pétrolières et minières qui consomment environ 12 GWh représentant 1% de la consommation totale.

### **III.3.2. Analyse de la consommation par secteur d'activité en 2018**

#### **III.3.2.1. Agriculture, Chasse, Sylviculture**

La consommation globale de ce sous-secteur est de 40,7 GWh comme indiqué en Annexe 3. 1. Ainsi, la principale consommation électrique concerne la production agricole avec 30 GWh représentant 74% de la consommation totale de ce secteur. Ce chiffre peut s'interpréter par une forte domination des industries agricoles dont la plus grande activité consommatrice d'énergie électrique est l'irrigation. Les activités liées à l'élevage viennent en seconde position avec environ 8 GWh. Les deux sous-secteurs restants ont des consommations inférieures à 3 GWh.

Dans ce secteur, la demande électrique durant les heures hors pointe de Senelec (23 h-19 h) s'élève à 35,58 GWh soit 87,4% de sa consommation globale. La moyenne journalière durant ces heures est de 97,48 MWh. La consommation globale durant les heures de pointe (19 h-23 h) est de 5,13 GWh soit 12,6% de sa consommation totale annuelle.

#### **III.3.2.2. Industries extractives**

Les industries extractives ont consommé environ 12 GWh comme présenté en Annexe 3. 2. La production de pétrole brut et de gaz naturel et l'extraction des minerais métalliques ont une consommation globale de 3,5 GWh. L'extraction d'autres minéraux a nécessité plus de 8 GWh. Ce chiffre se justifie par la présence d'industries extractives d'or et de zircon sur le sol Sénégalais.

Environ 17% de la consommation de ce secteur est observé durant la période de pointe de Senelec soit 1,93 GWh annuels. Cela veut dire durant cette tranche d'heures, la consommation moyenne horaire de ce secteur est plus élevée que durant la période hors pointe.

#### **III.3.2.3. Industries manufacturières et agroalimentaires**

Les industries manufacturières et agroalimentaires ont un nombre élevé de sous-secteurs. Les données de consommation électrique de ce secteur sont présentées en Annexe 3. 3.

Les industries manufacturières et agroalimentaires forment le secteur le plus énergivore avec plus de 385 GWh. Les industries de transformation de produits alimentaires et les industries de fabrication d'ouvrages en matière plastique et de froid constituent les premiers sous-secteurs avec des consommations respectives de 91,5 GWh, 82 GWh et 65 GWh. Ces trois sous-secteurs représentent à eux seuls 62% de la consommation totale de cette catégorie d'industries. Ensuite, viennent le groupe constitué des industries chimiques, laitières, d'ouvrages de métaux etc. avec des consommations comprises entre 10 et 30 GWh. Ce groupe consomme une part de 25,9%

de la demande de ce secteur soit plus du quart. Les huileries, les industries de fabrication de papier, les industries pharmaceutiques etc. forment le troisième groupe consommant entre 1 GWh et 8 GWh. Au bas de l'échelle, nous avons les industries dont les consommations sont inférieures à 1 GWh constituées principalement de petites entreprises telles que des bijouteries, des industries de fabrication de bois, des industries de verre etc.

Le ratio de consommation durant la période de pointe est de 15,11% soit une moyenne journalière de 159,45 MWh. Donc environ 85% de la consommation de ce secteur s'observe pendant les heures hors pointe.

#### **III.3.2.4. Electricité, eau**

Les données sur la consommation électrique de ce secteur sont mises en Annexe 3. 4. Dans ce secteur, la principale consommation concerne les installations de distribution d'eau et d'assainissement avec plus de 179 GWh et une part de 94,4% de la consommation globale. Ceci se justifie par l'utilisation des grandes machines électriques au niveau des stations de pompage et d'épuration d'eau.

Globalement, la demande de ce secteur pendant les heures de pointe représente 15,74% de sa demande. Ce ratio indique une consommation électrique égale à 29,84 GWh durant cette période contre 159,77 GWh durant la période hors pointe de Senelec.

#### **III.3.2.5. Bâtiment et travaux publics**

La consommation de ce secteur est égale à 47,31 GWh. Elle représente la demande électrique des matériels utilisés dans les grands chantiers du BTP. En outre, plus de 17% de cette consommation est observée durant les heures de pointe. Ce ratio semble important si l'on considère que les heures de pointe ne représentent que 16,7% du nombre d'heures journalier.

#### **III.3.2.6. Commerce, restaurants et hôtels**

La synthèse des données de l'Annexe 3. 5 montre que les hôtels et établissements analogues ont consommé 62,33 GWh soit 66% de la consommation globale de ce secteur d'activité. En effet pour maintenir le luxe à leur sein, ces établissements nécessitent une forte demande électrique notamment en climatisation. En outre, il y a le commerce de produits finis qui a une consommation considérable avoisinant 20 GWh. Sur une consommation globale annuelle de 94,37 GWh, 78,34 GWh sont consommés durant la période hors pointe soit 83%. Par conséquent, 17% sont consommés pendant la période de pointe.

### **III.3.2.7. Transports, entrepôts et communications**

Les télécommunications et postes ont consommé plus de 60 GWh comme indiqué en Annexe 3. 7. Cette consommation est ainsi la plus grande part du secteur des transports et communications. Le facteur justificatif est le fait les installations de télécommunications principalement les antennes BTS doivent être alimentées de manière permanente pour assurer une continuité de service. Toutefois, le ratio de consommation durant les heures de pointe est relativement faible pour ce secteur car étant de 13%. La plus grande part de consommation est observée pendant les heures hors pointe avec 66,32 GWh.

### **III.3.2.8. Banque, Assurances, affaires immobilières et services fournis**

Les établissements financiers et les services fournis aux entreprises ont des consommations énergétiques de plus de 23 GWh. Les autres sous-secteurs de ce domaine ont des consommations inférieures à 5 GWh. Dans ces établissements, la consommation globale annuelle durant les heures de pointe est 8,66 GWh soit 14,58% de la consommation totale.

### **III.3.2.9. Services fournis à la collectivité, services sociaux**

En observant les résultats en Annexe 3. 8, trois (03) niveaux de consommation énergétique ressortent. L'administration publique et les services médicaux sont les sous-secteurs qui consomment individuellement plus de 40 GWh. Ensuite, les écoles et les organisations internationales ont des consommations comprises entre 17 et 25 GWh. Enfin, nous avons les autres sous-secteurs tels que les concessions d'électrification, les activités culturelles et religieuses etc. dont les consommations sont comprises entre 2 et 8 GWh. L'essentiel de la consommation électrique de ce secteur est observé durant la période hors pointe avec plus de 86% soit 129,39 GWh. Les 21,04 GWh restants sont consommés durant la période de pointe représentant ainsi moins de 14% de sa consommation globale.

### **III.3.3. Evolution de la consommation énergétique par secteur d'activité de 2016 à 2018**

Le Tableau 6 renseigne sur les données électriques des clients professionnels de 2016 à 2018. Ces données ont permis de faire le calcul des taux d'évolution de leurs consommations durant cette période.

*Tableau 6: Consommation énergétique des industriels en GWh de 2016 à 2018. Source : Senelec*

<b>Activités économiques \ Années</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Agriculture, Chasse, Sylviculture	30,28	32,73	40,71
Industries extractives	11,90	12,23	11,46
Industries manufacturières et agroalimentaires	362,43	386,61	385,19
Electricité, eau	171,41	179,90	189,61
Bâtiment et travaux publics	8,13	30,11	47,31
Commerce, restaurants et hôtels	93,33	98,60	94,37
Transports, entrepôts et communications	82,00	86,02	76,47
Banque, Assurances, affaires immobilières et services fournis	61,72	65,64	59,42
Services fournis à la collectivité, services sociaux	141,01	153,51	150,43
<b>TOTAL</b>	<b>962,20</b>	<b>1045,34</b>	<b>1054,97</b>

Le tableau précédent montre que les industries manufacturières et agroalimentaires constituent le secteur consommant le plus d'énergie de 2016 à 2018. En outre, leur consommation annuelle connaît une hausse de 22,76 GWh durant cette période avec un taux d'évolution moyen annuel de 3,2%. Cette évolution a été considérable sur la période 2016-2017 dépassant ainsi 6%. Cependant on note une baisse de cette évolution entre 2017 et 2018 avec une diminution de la consommation de ce secteur de l'ordre de 0,4% durant cette période. De même, le secteur de l'Agriculture et d'Elevage a connu une évolution moyenne de 16,2% en deux ans et augmentation de sa consommation de plus de 10,43 GWh. Aussi, le secteur de l'électricité et de l'eau a vu sa consommation croître de plus de 18,2 GWh en 2 ans. Toutefois le secteur qui présente le taux d'évolution le plus élevé est celui du BTP avec plus de 270% entre 2016 et 2017 et 57% entre 2017 et 2018. Ce qui lui procure un taux d'évolution moyen annuel de 163%. Les autres secteurs qui ont connu une hausse sont le secteur du Commerce et celui des Services fournis à la collectivité avec respectivement 0,7% et 3,4% en deux ans. Par contre, les consommations des secteurs des Industries extractives et de la Banque et Assurance ont connu des baisses respectives de l'ordre de 1,8% et 1,6%. Dès lors, la consommation des industries extractives passe de 11,9 GWh à 12,23 GWh entre 2016 et 2017 avant de chuter à 11,46 GWh.

### **III.4. Conclusion**

L'analyse de la demande énergétique des clients professionnels montre qu'ils ont consommé plus de 1054 GWh au cours de l'année 2018. Les industries manufacturières et agroalimentaires constituent le groupe le plus énergivores avec plus de 36% de la consommation globale. Cela se justifie par une densité énergétique élevée des activités des entreprises qui composent ce secteur. Elles sont ensuite suivies des entreprises d'eau et d'électricité et des services fournis à la collectivité. Toutefois le secteur du BTP présente le taux d'évolution de consommation le plus élevé entre 2016 et 2018. Aussi, le système de facturation de Senelec présente plusieurs tarifs basés sur plusieurs caractéristiques notamment les tarifications aux heures de pointe et en dehors des heures de pointe. Exceptés les industries extractives, le secteur des commerces, restaurants, hôtels et le BTP, les clients professionnels ont généralement une consommation très basse durant les heures de pointe. Ce qui peut favoriser un allègement de la facture d'électricité.

## **IV. DETERMINATION DES PROFILS DE CHARGES TYPES DES USAGERS PROFESSIONNELS**

### **IV.1. Introduction**

Dans cette partie une méthodologie de détermination des profils de charges types des clients industriels est détaillée. Pour mettre en place de meilleures stratégies commerciales et de marketing, les distributeurs d'électricité doivent avoir les informations sur le comportement de consommation des clients. A cet égard, disposer des profils de charges des différentes catégories d'usagers serait un atout. La connaissance de ces profils types pourrait alors aider à la gestion de la charge, à la planification du système de distribution et le redressement des tarifs d'électricité [6]. Suivant la nature des données sur la demande électrique des usagers, plusieurs techniques ont été élaborées pour définir ces profils. De nos jours, les méthodes du machine learning ou apprentissage automatique sont les plus utilisées pour catégoriser les clients suivant divers profils de charges électriques. Parmi ces méthodes, celle de la classification ou clustering reste la plus privilégiée dans le domaine électrique.

### **IV.2. Généralités sur le clustering des données énergétiques**

L'apprentissage non supervisé est un grand concept du machine learning. Il consiste à mettre en place des procédures qui permettent à l'ordinateur d'en apprendre par lui-même sur les informations qu'on lui fournit. Les algorithmes non supervisés permettent de trouver des similarités sur les données fournies et de pouvoir les classer par catégories et en fonction des ressemblances. Cette façon de classer les données est appelée clustering [7]. Le clustering est utilisé dans plusieurs domaines d'application tels que le traitement des images, la récupération d'informations manquantes, la reconnaissance, etc. Ainsi il existe des dizaines de techniques de clustering qui peuvent être regroupées en trois (03) grandes familles : les méthodes hiérarchiques, les méthodes centroïdes et les méthodes à densité.

L'utilisation du clustering pour déterminer les profils de charges types des catégories d'usagers consiste à rédiger des algorithmes qui permettent de mettre en entrée les données brutes des charges électriques des usagers et d'avoir en sortie une classification des profils suivant les allures et les niveaux de puissances. Les courbes de charges que l'on met en input sont simplement des informations sur les puissances électriques par intervalle de temps exprimées en kW ou en MW. Les intervalles de temps peuvent être horaires, semi-horaires ou par pas de 10 minutes [8].

Concernant le clustering des données des courbes de charges électriques, les méthodes les plus performantes sont celles des méthodes centroïdes. Entre autres méthodes les plus retenues sont :

- Le K-means clustering ;
- Le Fuzzy c-means clustering;
- Le K-harmonic means clustering.

La méthode des K-means est utilisée pour la suite du travail.

### **IV.3. Description de la méthodologie utilisée**

#### **IV.3.1. Nature des données**

Dans cette étude, on dispose des données sur les charges électriques des cinq (05) clients HTB de Senelec et de quelques autres clients HTA et BT notamment des industries œuvrant principalement dans les secteurs d'activité d'Agriculture et Elevage, d'Eau et Assainissement et des Transports et Télécommunications. Les clients HTB, vu leur nombre peu élevé, sont pris individuellement. Par contre les autres entreprises sont regroupées en catégories. Il s'agit des industries de couvoirs, des rizeries, des entreprises d'horticulture, des usines d'épuration d'eaux usées, des stations de pompage d'eau et des entreprises de télécommunications. Pour chaque client HTB, on dispose des données des charges sur une période d'un mois et pour chaque autre catégorie, on dispose des données d'un échantillon de clients sur plusieurs mois. Les données brutes sont rassemblées sur des fichiers comportant les puissances électriques appelées et les informations sur les périodes de consommation. De ce fait, la méthodologie utilisée pour le traitement de ces données est similaire à celle proposée par Marc-André Richard et al. dans [9]. Cette technique est plus adaptée aux données dont on dispose. Car ces données représentent les courbes de charges par pas de 10 minutes des entreprises sur un ou plusieurs mois. Un profil de charges d'un an échantillonné par pas de 10 minutes peut contenir plus de 53 000 lectures. Ces dernières ne peuvent pas être regroupées sur une seule courbe de charges, il faut donc les synthétiser afin de faire ressortir les profils types.

#### **IV.3.2. Prétraitement des données**

Les données d'une entreprise sont, en premier lieu, subdivisées en profils journaliers. On obtient alors des vecteurs composés des profils journaliers comme l'indique la formule (2) suivante.

$$A = [ p_1, p_2, p_3, \dots, p_l ] \quad (2)$$

Où :

$A$  représente l'ensemble des profils d'une entreprise ;

$p_i$  représente un profil journalier ;

$l$  est le nombre de profils obtenus pour cette entreprise.

Ensuite les profils journaliers sont subdivisés en profils horaires. La puissance horaire équivaut au maximum des puissances observées durant l'heure concernée. Par conséquent, la formule (3) donne la forme vectorielle suivante composée de 24 éléments.

$$p_i = [ H_{i,1}, H_{i,2}, H_{i,3}, \dots, H_{i,24} ] \quad (3)$$

Où :

$p_i$  symbolise le profil d'un jour ;

$H_{i,j}$  représentent les puissances horaires.

Une normalisation de ces vecteurs est faite et on procède à la concaténation des profils journaliers des usagers d'une même catégorie<sup>2</sup> pour obtenir le profil de puissances de cette catégorie qui est représenté sous forme matricielle définie par les formules (4) et (5) suivantes.

$$P = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

Ou bien.

$$P = \begin{bmatrix} H_{1,1} & H_{1,2} & H_{1,3} & \dots & H_{1,24} \\ H_{2,1} & H_{2,2} & H_{2,3} & \dots & H_{2,24} \\ & & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{n,1} & H_{n,2} & H_{n,3} & \dots & H_{n,24} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Où :

$P$  représente la matrice des profils de charges journalières d'une catégorie ;

$H$  : les puissances horaires et  $n$  le nombre profils obtenus pour cette catégorie.

---

<sup>2</sup> Pour les clients HTB, une catégorie correspond à une seule entreprise. Pour les clients HTA et BT, une catégorie correspond à un rassemblement de clients d'une même activité économique.

### IV.3.3. Le clustering des données par la méthode des K-means

La méthode de clustering utilisée est le K-means clustering car elle est jugée plus accessible à ce niveau. La méthode des K-means ou méthode des centres mobiles est une approche de clustering non-hiérarchique qui permet de regrouper des objets en K clusters distincts. La technique utilisée se base sur la minimisation de la somme des distances au carré entre chaque élément et le centroïde (le point central) de son cluster [10]. Le nombre K de clusters doit être spécifié. Et vu la complexité de cette tâche, il existe des approches telles que le critère « Silhouette » et la méthode du « Coude » pour déterminer son nombre optimal.

La méthode des K-means appartient aux algorithmes de classification non supervisée, de machine learning. Cela veut dire que les groupes n'existent pas avant d'être créés ; il s'agit seulement de regrouper les données suivant leurs ressemblances. Il n'y a pas de possibilité de chevauchement des clusters. Les objets appartiennent à un seul et unique cluster. Il faudra noter qu'un objet est défini ici comme étant un profil journalier  $p_i$ . Il contient donc 24 éléments représentant les puissances horaires observées durant une journée.

#### IV.3.3.1. La distance euclidienne

Pour définir la ressemblance entre deux profils journaliers, il est nécessaire de mesurer leur similarité. Cette opération consiste donc à calculer les distances entre les profils journaliers. Cette distance est aussi appelée distance de dissimilarité. Ainsi plus la distance de dissimilarité de deux ou plusieurs profils est réduite, plus ils sont similaires [11]. Le calcul des distances peut se faire suivant plusieurs formules mathématiques prédéfinies. Parmi ces formules, les plus connues sont la distance euclidienne, la méthode Manhattan, la mesure de similarité cosinus etc. La méthode de la distance euclidienne est très adéquate et simple à implémenter pour des données de puissances électriques. La distance euclidienne entre deux profils  $p_1$  et  $p_2$  d'une matrice  $P$  se calcule suivant la formule (6).

$$d(p_1, p_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^{24} (H_{1,i} - H_{2,i})^2} \quad (6)$$

Où :

$d(p_1, p_2)$  définit la distance euclidienne entre deux profils ;

$H_{1,i}$  et  $H_{2,i}$  définissent respectivement les puissances horaires de ces profils.

#### IV.3.3.2. Le critère Silhouette

Toutefois, pour que les profils puissent être classifiés, il faut au préalable, déterminer le nombre  $K$  de clusters final. Et vu la complexité de cette tâche, il existe des approches telles que le critère « Silhouette » et la méthode du « Coude » pour déterminer le nombre de clusters optimal.

Pour la détermination du nombre de clusters optimal, le choix est porté sur le critère « Silhouette » qui propose une mesure d'évaluation des partitions appelé score silhouette. Pour chaque profil, on lui attribue un cluster initial et on calcule son coefficient « Silhouette » qui indique son degré d'appartenance à ce cluster en confrontant la distance moyenne à ses congénères avec la distance moyenne au cluster le plus voisin. Ce coefficient est indépendant du nombre de clusters parce qu'on ne considère que la distance au voisin le plus proche [12]. L'opération est faite pour chaque profil de chaque cluster. Par la suite, au sein de chaque cluster, la moyenne des coefficients est calculée. Et pour un jeu de données, le score « Silhouette » correspond à la moyenne des moyennes des coefficients « Silhouette ». Par conséquent le nombre de clusters optimal correspond au nombre  $K$  qui maximise le score « Silhouette ». Autrement dit, il suffit de calculer le score « Silhouette » en faisant varier le nombre  $K$  de clusters et la valeur de  $K$  qui donne un score plus élevé est le nombre optimal de clusters. Les étapes suivantes permettent d'aboutir au calcul du score « Silhouette » d'une matrice de profils.

➤ **Calcul de la moyenne des distances entre un profil et les autres profils de son cluster d'appartenance :**

La première étape consiste à calculer la distance entre chaque profil  $p_i$  d'un cluster et les autres profils de ce même cluster et de faire la moyenne de ces distances. Le calcul se fait avec la formule (7) suivante :

$$a(p_i) = \frac{1}{n_a - 1} \sum_{\substack{i'=1 \\ i' \neq i}}^n d(p_i, p_{i'}) \quad (7)$$

Où :

$n_a$  désigne le nombre de profils du cluster  $C_a$  ;

$d(p_i, p_{i'})$  : la distance entre les profils  $p_i$  et  $p_{i'}$ .

➤ **Calcul des moyennes des distances entre un profil et les profils d'un cluster  $C_k$  :**

L'étape 2 concerne le calcul des moyennes des distances de ce profil avec les profils des autres clusters. Ces moyennes sont considérées comme les distances entre ce profil et les autres clusters. La formule (8) suivante permet de faire ces calculs.

$$d(p_i, C_k) = \frac{1}{n_k} \sum_{i'=1}^{n_k} d(p_i, p_{i'}) \quad (8)$$

Où :  $C_k$  désigne un cluster différent de celui de  $p_i$  ;

$n_k$  : l'effectif de  $C_k$ .

➤ **Calcul de la distance avec le cluster le plus proche :**

L'étape 3 consiste à chercher le plus proche voisin du cluster auquel le profil  $p_i$  appartient. Il s'agit de trouver la valeur minimale des distances calculées dans l'étape 2. Cette valeur se calcule en utilisant la formule (9) suivante :

$$b(p_i) = \min_{k \neq a} d(p_i, C_k) \quad (9)$$

➤ **Calcul du degré d'appartenance ou coefficient Silhouette :**

Le degré d'appartenance d'un profil  $p_i$  à son cluster est obtenu en faisant la différence entre sa distance aux profils du même cluster et sa distance au cluster le plus proche. La formule (10) suivante permet de calculer le degré d'appartenance.

$$s(p_i) = \frac{b(p_i) - a(p_i)}{\max \{a(p_i), b(p_i)\}} \quad (10)$$

On voit ici que le coefficient Silhouette ne dépend pas du nombre K de clusters.

➤ **Calcul de la compacité du cluster  $C_k$  et de la qualité globale de la répartition en K clusters :**

Le niveau de compacité d'un cluster est défini suivant la formule (11) qui dépend à la fois du nombre de profils du cluster et de leurs degrés d'appartenance à ce cluster.

$$\bar{s}_k = \frac{1}{n_k} \sum_{i \in C_k} s(p_i) \quad (11)$$

La qualité globale de la partition ou score « Silhouette » est calculée suivant la formule (12). Elle dépend ainsi du nombre de partitions ou clusters attribué au jeu de données.

$$S_K = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^K n_k \times \bar{s}_k \quad (12)$$

Ainsi, pour une matrice de profils donnée, l'entier K qui offre un meilleur score « Silhouette » est choisi comme étant le nombre de clusters de cette matrice.

#### IV.3.4. Implémentation des algorithmes sous Python

Pour pouvoir faire l'analyse des données, les formules mathématiques citées ci-dessous doivent être traduites en algorithmes et implémentées via un langage informatique. Le choix de ce langage est porté sur Python qui est un langage de programmation puissant car il dispose de structures de données de haut niveau et permet une approche simple mais efficace de l'analyse des données communément appelée Data Science [13]. Python propose ainsi un vaste choix de ressources et de bibliothèques pour la Data science et le machine learning.

Les codes rédigés en Python sont implémentés sous le Notebook Jupyter. C'est une application client-serveur qui permet la création et le partage de documents Web au format JSON<sup>3</sup> constitués d'une liste ordonnée de cellules d'entrées et de sorties. Les documents peuvent s'exporter sous Python et sous plusieurs autres langages de programmation. Jupyter Notebook peut servir à plusieurs usages dont les principaux sont :

- ✓ **Le nettoyage des données** : Réparation des données, suppression des données non importantes etc. ;
- ✓ **La modélisation statistique** : méthodologie permettant d'étudier la répartition des données ;
- ✓ **La création de modèles de machine learning** : programmation de modèles d'apprentissage automatique ;
- ✓ **La visualisation des données** : représentation graphique des données pour mettre en exergue les relations, tendances, clusters etc. [14].

Dans le cadre de cette étude, les principales fonctionnalités offertes par Jupyter ont été utilisées. En effet, on part du nettoyage des données brutes jusqu'à la visualisation des

---

<sup>3</sup> JSON est l'acronyme de JavaScript Open Notation. C'est un format de fichier contenant uniquement du texte et permettant de conserver et d'échanger des informations par l'homme.

résultats du clustering. Ainsi le logigramme de la Figure 5 suivante indique les grandes étapes du programme mis en place pour le traitement des données.

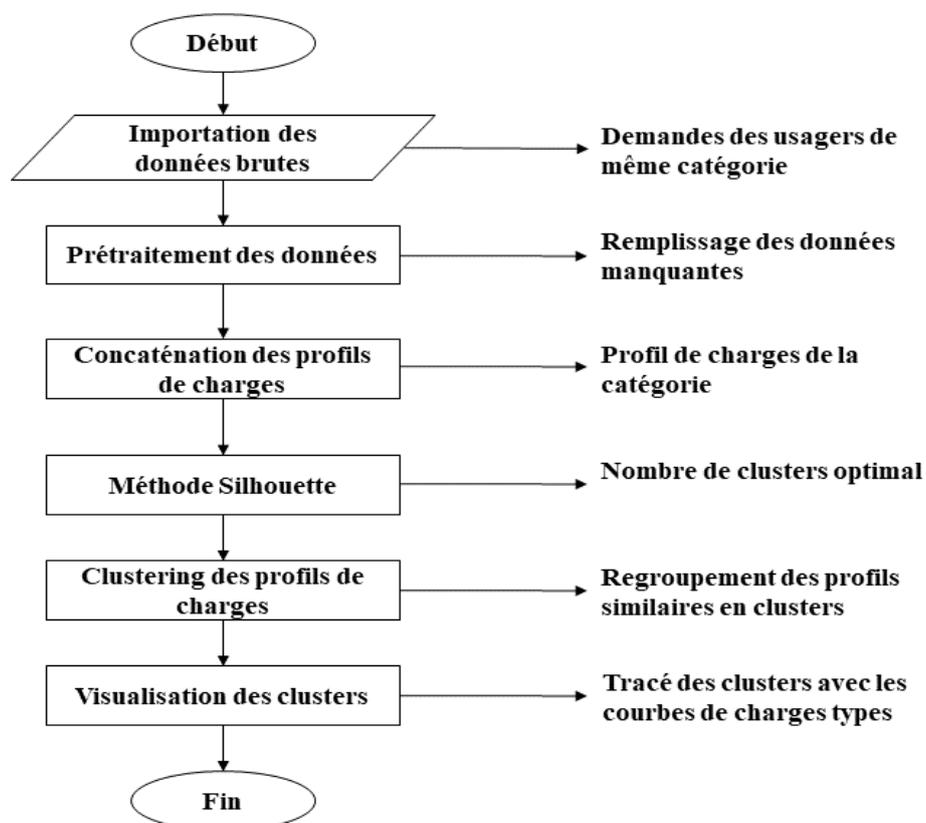


Figure 5: Logigramme du traitement des données des charges d'une catégorie

#### IV.4. Analyse des résultats obtenus

Les étapes du logigramme précédent sont appliquées sur les données des clients HTB et toutes les autres catégories d'entreprises dont on dispose les données de charges. De ce fait, en plus des cinq (05) clients HTB, six (06) catégories ont été traitées et au terme de ce traitement, les résultats obtenus sont les suivants.

##### IV.4.1. Les clients HTB

Les clients HTB de Senelec sont pris individuellement dans cette étude. Ils forment un groupe de grands industriels composé des Industries Chimiques du Sénégal (ICS), de Fabrimetal, de la Sococim, de Someta et de la station de surpression de la SDE (Sénégalaise Des Eaux) à Mékhé. La détermination du nombre de clusters optimal pour ce groupe de clients est basée sur les résultats des critères « Silhouette » mis en Annexe 4 et les résultats du clustering sont les suivants.

#### IV.4.1.1. Profils de charges types de Someta

Someta est une industrie spécialisée dans la métallurgie. Son activité industrielle nécessite des puissances électriques pouvant s'élever à 12 MW.

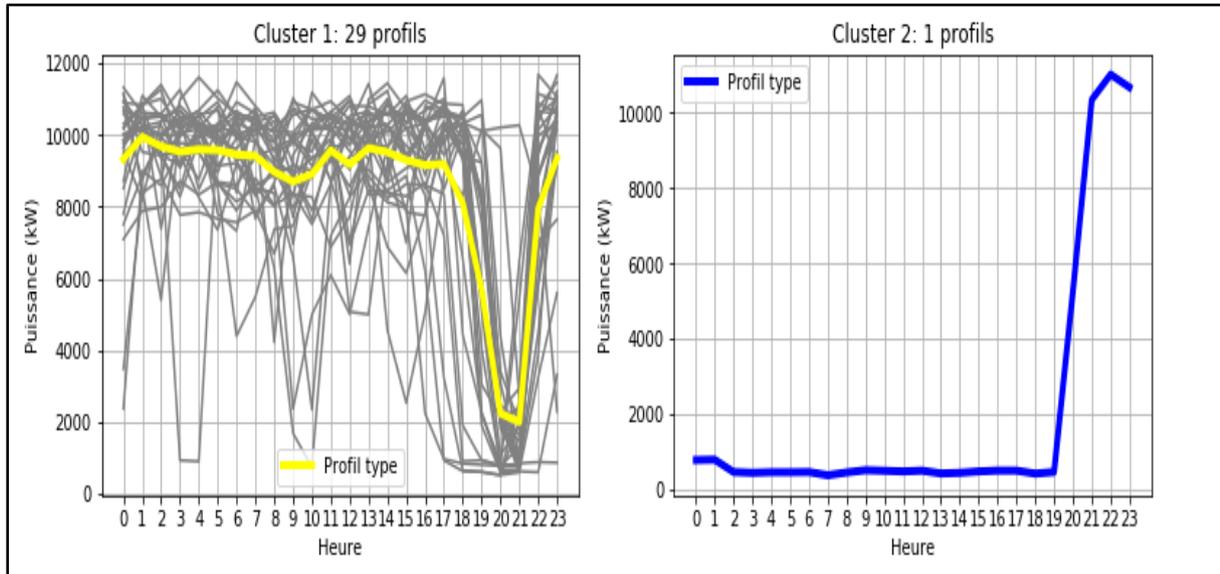


Figure 6 : Profils de charges types de Someta

La Figure 6 montre une classification des profils journaliers de charges en deux clusters. Le premier comporte 29 profils tandis que le deuxième, un seul. Par conséquent, seul le profil type 1 sera retenu vu que le deuxième est considéré comme étant le profil d'une journée où l'activité de cette industrie est quasi inexistante. Le profil type de ce client fait ressortir une demande électrique moyenne comprise entre 9 MW et 10 MW durant la période 0 h-18 h avec une petite baisse à 9 h. A partir de 18 h, la demande chute jusqu'à 2 MW avant de reprendre sa valeur initiale à partir de 22 h.

#### IV.4.1.2. Profils de charges types de Sococim

Sococim est une grande industrie sénégalaise œuvrant dans le domaine de la cimenterie. Sa demande électrique varie généralement entre 3 MW et 14 MW.

Le nombre de clusters optimal étant égal à deux (02), deux profils types sont alors retenus pour cette industrie comme indiqués sur la Figure 7. Le profil type 1 représente 22 profils journaliers et le profil type 2 n'en représente que huit (08). Le profil 2 représente ainsi les demandes des journées où l'activité industrielle est moindre. L'allure du profil type 1 montre une demande journalière variant entre 9 et 10 MW. L'allure est quasi constante mais on observe des pointes à 2 h et à 21 h et une baisse de cette demande à 7 h, 12 h et à 23 h.

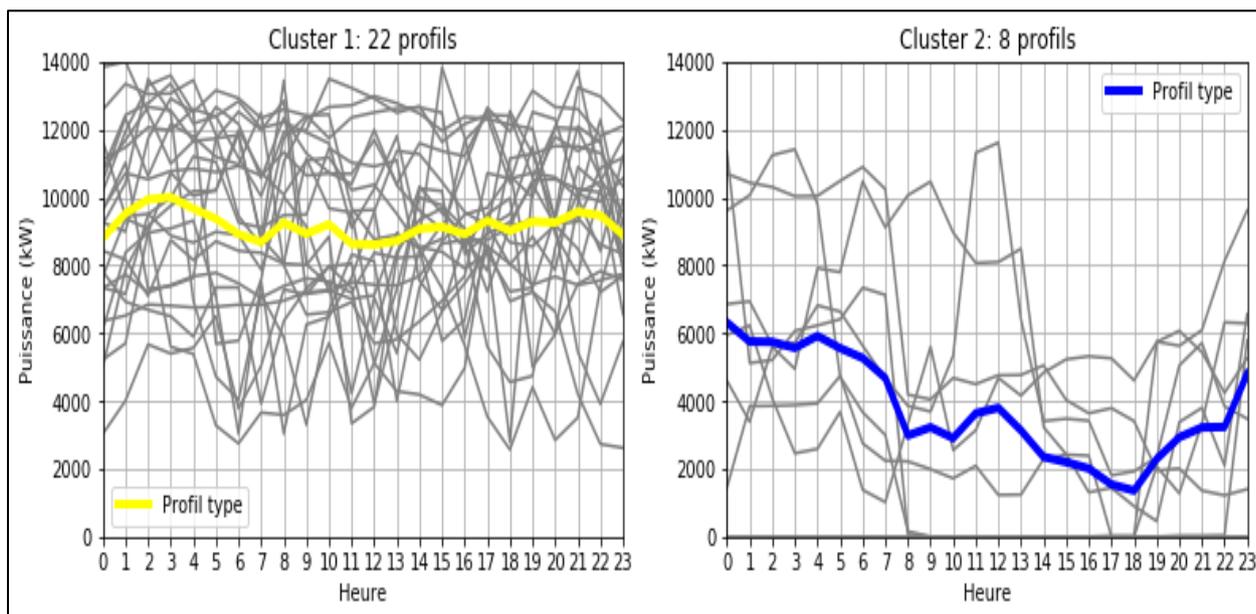


Figure 7: Profils de charges types de Sococim

#### IV.4.1.3. Profils de charges types de la station de surpression SDE de Mékhé

La station de surpression de Mékhé est l'une des stations de distribution d'eau potable les plus importantes du Sénégal. Son activité industrielle nécessite des puissances avoisinant 8 MW.

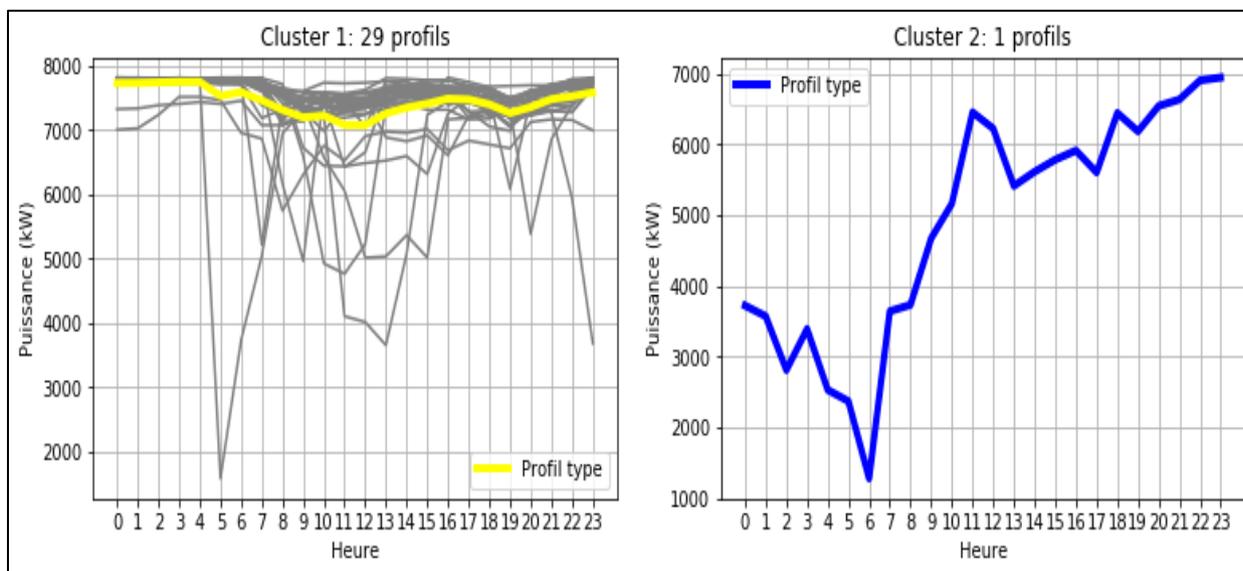


Figure 8: Profils de charges types de la station de surpression de Mékhé

La Figure 8 montre deux (02) profils types pour ce client. Toutefois, on retiendra que seul le profil type 1 représente la consommation journalière de ce client car le profil 2 ne représente qu'une seule journée. Le profil type 1 montre alors une consommation moyenne constante et égale à 7,8 MW entre 0 h et 4 h. A partir de 5 h, on note une baisse progressive de la demande

jusqu'à 12 h où on observe une moyenne minimale de 7 MW. Au-delà de cette heure, la demande commence à augmenter progressivement pour atteindre sa valeur initiale aux environs de 23 h.

#### IV.4.1.4. Profils de charges d'ICS

ICS est une grande industrie sénégalaise spécialisée dans l'exploitation de ressources minières telles que les phosphates. C'est une entreprise qui prend le réseau de Senelec en secours car elle dispose de sa propre source de production. Sa demande électrique journalière peut aller jusqu'à 18 MW.

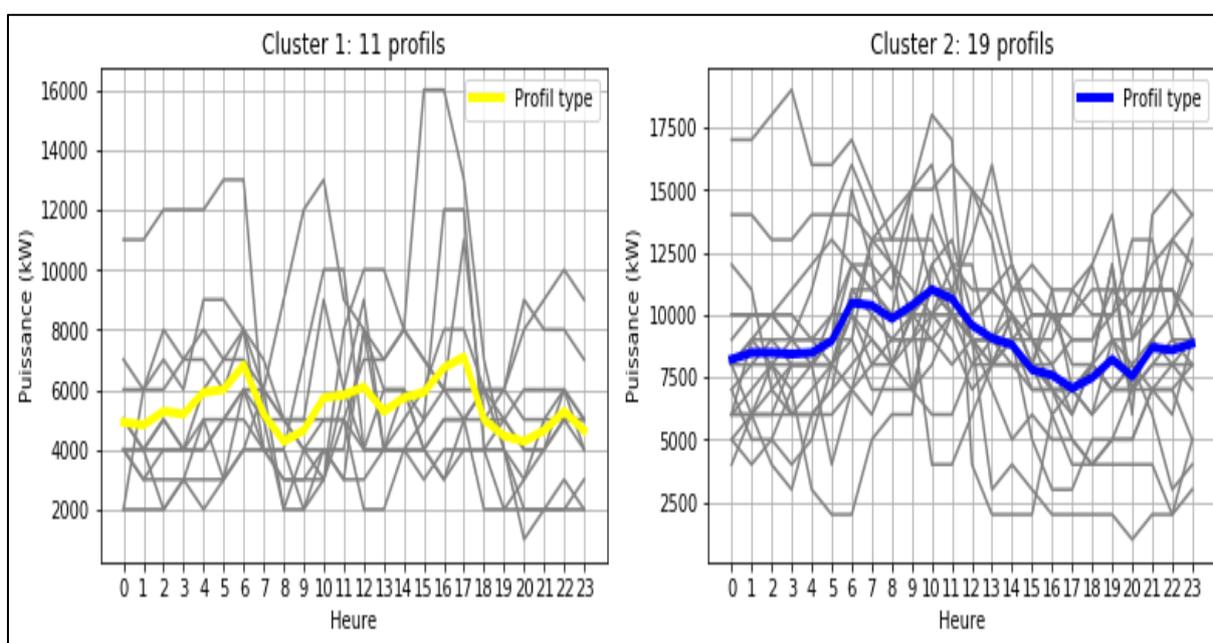


Figure 9: Profils de charges types d'ICS

La Figure 9 indique que cette industrie dispose de deux profils de charges types ayant les mêmes allures mais qui se différencient par leurs niveaux de puissances. Le premier représente les profils journaliers dont la demande moyenne passe de 5 MW à 6,8 MW de 0 h à 6 h. Ensuite, une baisse de la charge est observée entre 6 h et 8 h. A partir de 8 h, la charge augmente progressivement jusqu'à atteindre un pic moyen de 7 MW à 17 h. Et à partir de ce moment, elle rechute considérablement. Concernant le profil type 2, entre 0 h et 10 h, la demande passe de 8 MW à 11 MW. Par la suite, il y a une baisse progressive de la demande moyenne qui lui fait atteindre une valeur minimale égale à 7,4 MW à 17 h. Il s'en est suivi d'une hausse de cette demande jusqu'à 23 h.

#### IV.4.1.5. Profils de charges de Fabrimetal

Industrie spécialisée dans le domaine de la sidérurgie, Fabrimetal dispose d'une activité industrielle pouvant nécessiter jusqu'à 8,5 MW de puissance électrique.

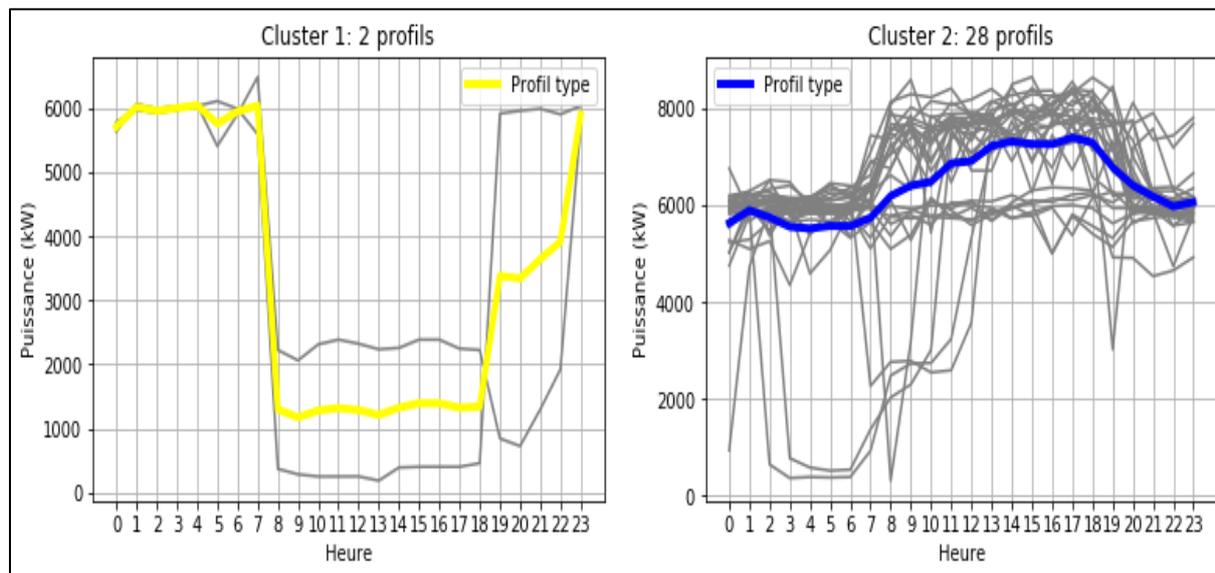


Figure 10: Profils de charges types de Fabrimetal

On observe sur la Figure 10 deux clusters. Le cluster 1 regroupe uniquement deux profils journaliers, il ne peut donc pas être représentatif pour cette entreprise. Le profil type 2 représente alors le comportement de consommation de Fabrimetal. Il présente dès lors, un profil moyen constant entre 0 h et 6 h égal à 5,8 MW suivi d'une augmentation progressive de la charge à partir de 7 h jusqu'à 18 h avec un pic moyen de 7,25 MW. Et à partir de 19 h, il y a une baisse continue de la demande jusqu'à 23 h.

#### IV.4.2. Les clients HTA et BT

##### IV.4.2.1. Catégorie des stations de pompage d'eau

Pour cette catégorie 1 685 courbes de charges journalières d'un lot d'entreprises ont été mises en input. La méthode « Silhouette » a montré que le nombre de clusters optimal pour une bonne répartition est de cinq (05) comme indiqué sur l'Annexe 5. 1.

La classification est faite avec cinq (05) clusters et les résultats sont représentés sur la Figure 11. Cette dernière indique les différents comportements de consommation électrique dont peut disposer une industrie de pompage d'eau potable. Il existe alors cinq (05) profils de charges types pour ce genre d'entreprise.

En observant la Figure 11, on peut dire que le cluster 3 regroupe le plus grand nombre de profils

de charges. Il présente alors un profil type de consommation dont la demande est faible entre 0 h et 6 h. Et à partir de cette heure, elle commence à croître pour atteindre son pic à 11 h. Elle reste ainsi constante jusqu'à 18 h, heure où elle commence à rechuter. La même tendance est observée au niveau du cluster 4 mais avec des niveaux de puissances différentes. Le cluster 2 présente un profil type avec une demande constante 20 h et 5 h. Une petite baisse est constatée entre 5 h et 7 h mais à partir de cette heure, la demande commence à croître jusqu'à 8 h. Cette valeur est maintenue jusqu'à 18 h, période où la demande connaît encore une petite baisse avant de reprendre sa valeur constante initiale aux environs de 19 h. Cette tendance est aussi observée au niveau du profil type du cluster 5. Toutefois, la demande constante entre 0 h et 5 h est plus élevée et le pic de la demande est observé aux environs de 14 h. Quant au profil type du cluster 1, il présente une demande quasi constante durant les 24 heures. Toutefois, cette demande admet une baisse considérable entre 19 h et 23 h.

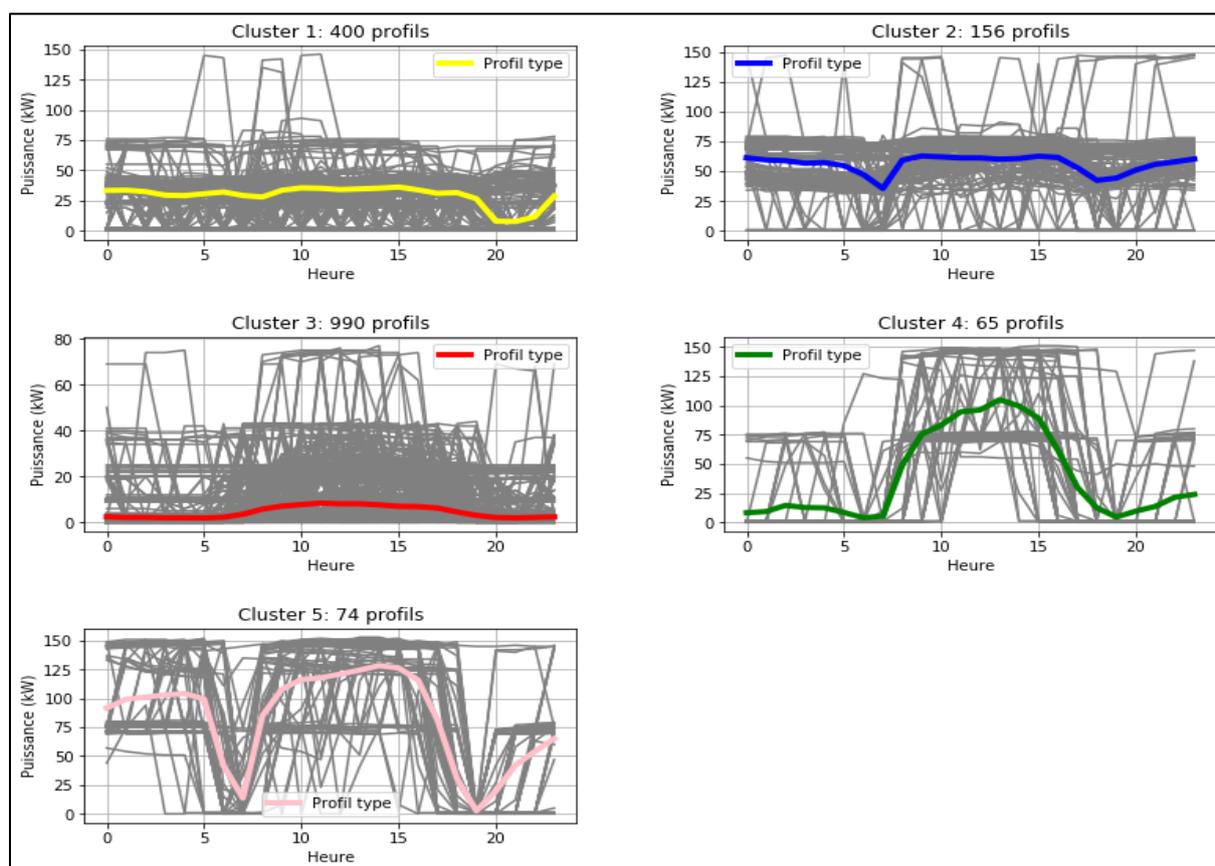


Figure 11: Profils de charges types des stations de pompage d'eau

#### IV.4.2.2. Catégorie des usines d'épuration des eaux usées

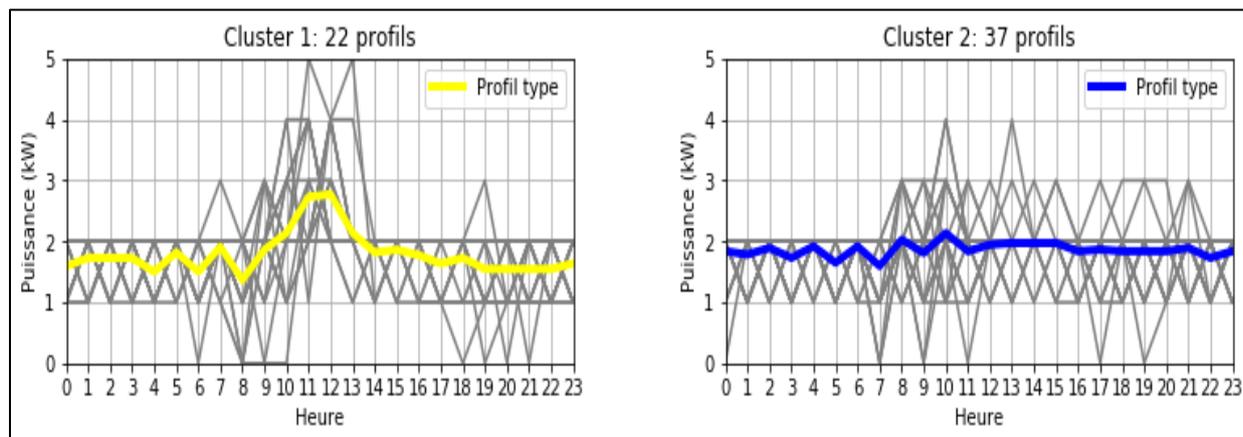


Figure 12: Profils de charges types des usines d'épuration des eaux usées

Pour ce type d'usagers, deux (02) clusters sont retenus si l'on se réfère aux scores « Silhouette » indiqués en Annexe 5. 2. On remarque à partir de la Figure 12 que les comportements de consommation sont pareils durant la journée pour les usagers de cette catégorie. Majoritairement, une oscillation des puissances est observée. Ce qui fait que les 2 profils types ont pratiquement une valeur constante. La grande différence se trouve dans le cluster 1 où une augmentation de la demande est observée durant la période 8 h - 13 h.

#### IV.4.2.3. Catégorie des industries rizicoles

Pour ces industries, vu la taille gigantesque des données traitées, six (06) clusters sont retenus d'après les scores « Silhouette » présentés en Annexe 5. 3.

D'après la Figure 13, les clusters 1 et 5 présentent globalement les mêmes habitudes de consommation. Leur différence réside sur les niveaux de puissances. On observe une activité très faible entre 0 h et 6 h. A partir de 6 h, les demandes croissent considérablement jusqu'à atteindre leurs pics. A 14 h, on constate une baisse de la demande et une augmentation aussitôt après. Ainsi, elle rechute aux alentours de 19 h. Le cluster 2 présente un profil type ayant une demande considérable entre 7 h et 18 h avec un pic à 14 h. Entre 18 h et 21 h, la demande baisse considérablement avant de remonter à partir de 23 h. Durant la période de 0 h-6 h, elle rechute progressivement pour retrouver sa valeur initiale. Concernant le profil type du cluster 3, il présente une demande plus ou moins constante entre 0 h et 16 h. Et à partir de 17 h, elle redescend et ce, jusqu'à 21 h, heure durant laquelle elle augmente encore jusqu'à 23 h. Le cluster 4 regroupe un nombre important de profils ayant des demandes faibles. C'est pourquoi son profil type dispose d'une amplitude presque constante avec de petites fluctuations au cours

de la journée. Enfin le type 6 a une demande constante entre 0 h et 5 h. Durant le restant de la journée, cette demande est presque constante avec des chutes à 7 h, 14 h et à 20 h.

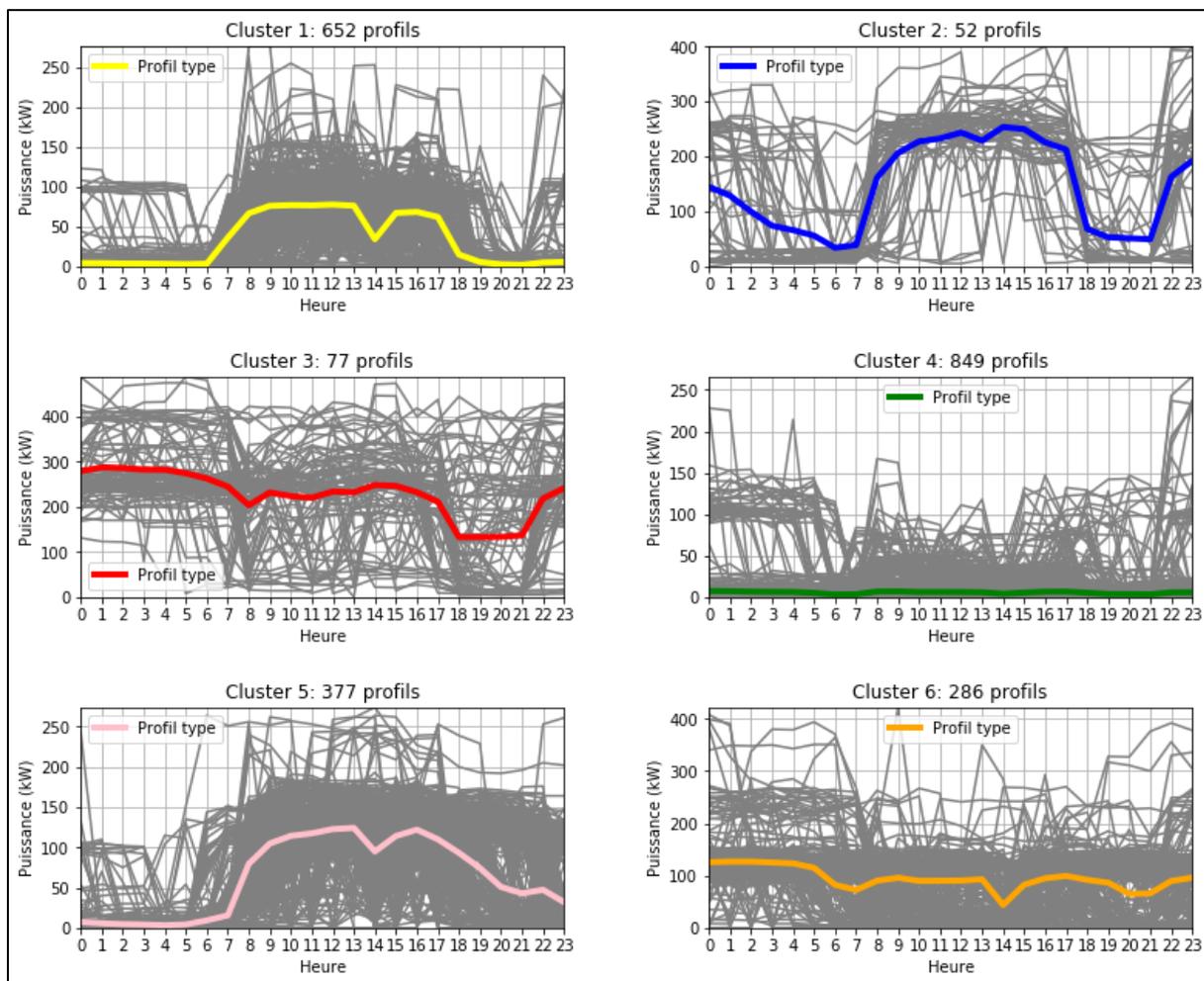


Figure 13: Profils de charges types des rizeries

#### IV.4.2.4. Catégorie des entreprises d'horticulture

Les usagers professionnels œuvrant dans le domaine de l'horticulture présentent trois comportements de consommation d'après les résultats de Annexe 5. 4 Ils sont alors classifiés trois (03) groupes de consommateurs.

Les résultats du clustering des clients de cette catégorie présentés sur la Figure 14 montrent que les trois (03) classes ont de profils types disposant des mêmes allures. En effet, il y a une demande considérable entre 7 h et 18 h avec une baisse à 13 h. De 19 h à 6 h la demande diminue fortement pour recommencer à augmenter à partir de 7 h. Cependant, les niveaux de puissances diffèrent d'un profil type à un autre.

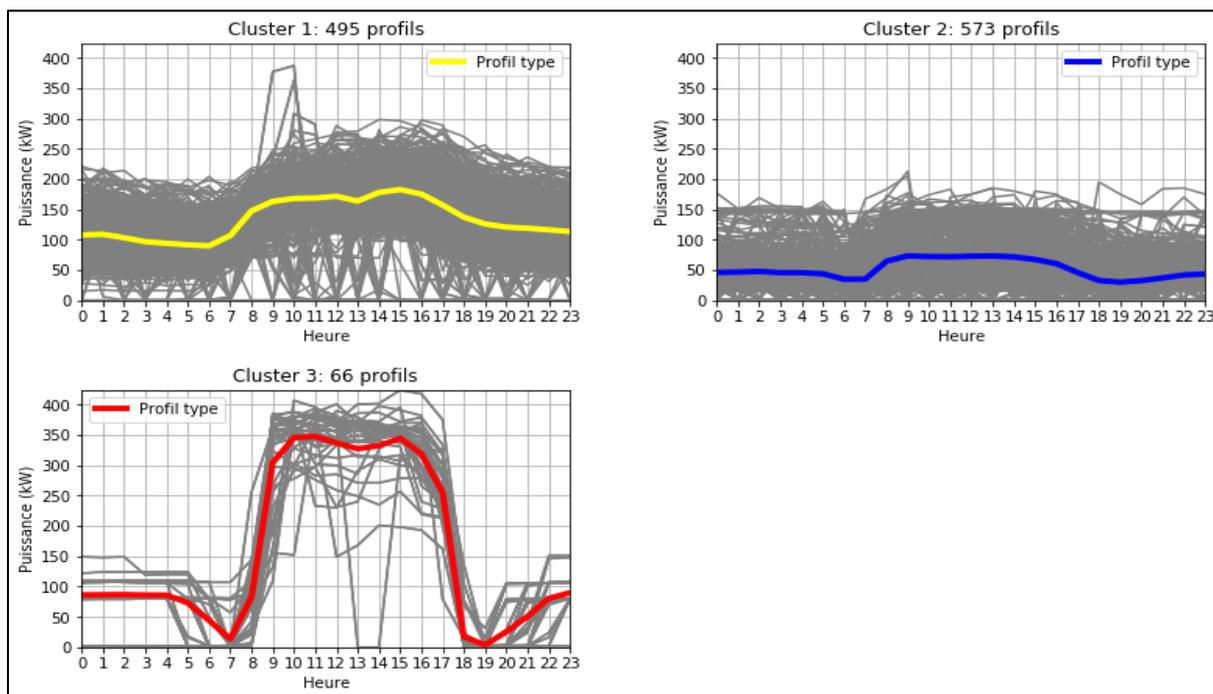


Figure 14: Profils de charges types des entreprises d'horticulture

#### IV.4.2.5. Catégorie des couvoirs

Le critère « Silhouette » mis en Annexe 5. 5 montre que la disposition des données de cette catégorie en trois (03) clusters reste la plus optimale.

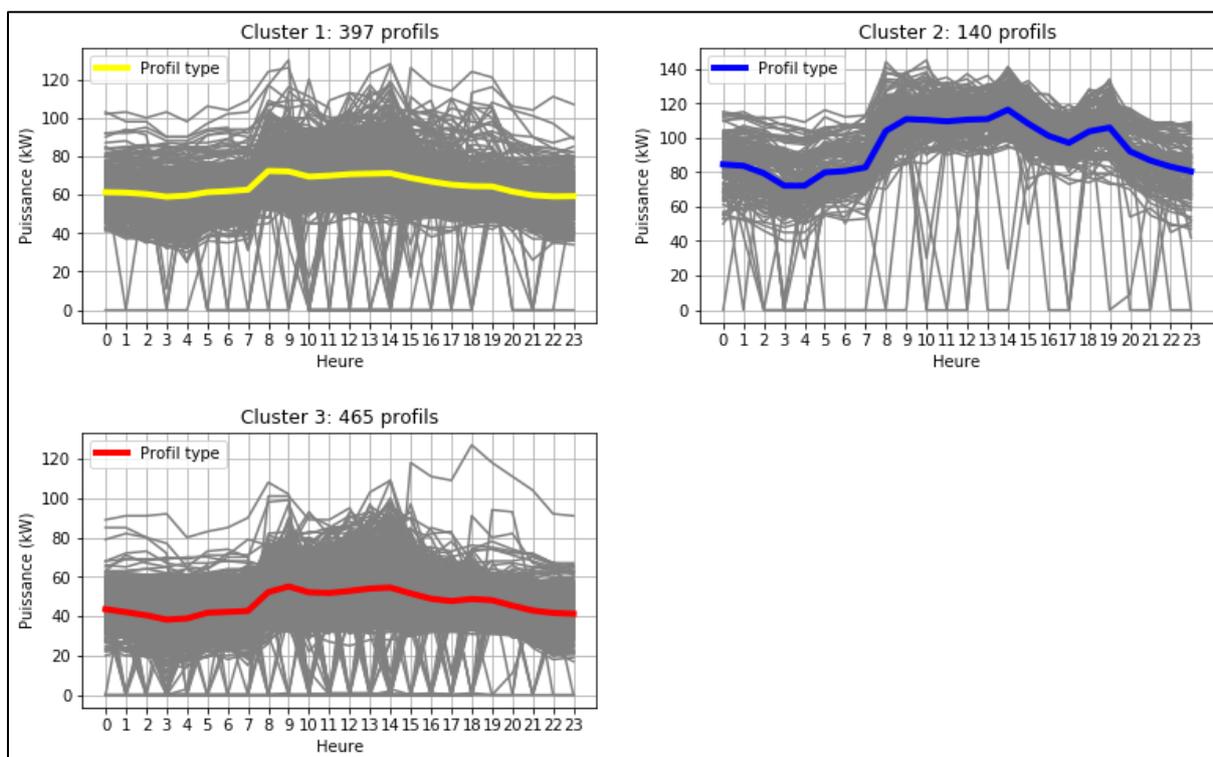


Figure 15: Profils de charges types des couvoirs

Les trois (03) clusters de la Figure 15 ont des profils types ayant semblablement les mêmes tendances mais avec des niveaux de puissances différents. La demande est considérable entre 7 h et 18 h mais elle rechute légèrement au-delà de cette période.

#### IV.4.2.6. Catégorie des entreprises de télécommunications

La dernière catégorie étudiée est celle des entreprises de télécommunications dont les données de consommation électrique de quelques-unes de leurs antennes BTS sont mises en input. Le critère « Silhouette » donne un nombre de cluster optimal égal à trois (03) comme indiqué en Annexe 5. 6.

D'après la Figure 16, on voit que les types 1 et 2 présentent les mêmes tendances de consommation avec des demandes constantes tout au long de la journée malgré de petites fluctuations. Par contre, le type 3 présente une allure différente de celles des deux autres. En effet, entre 20 h et 6 h, sa demande est constante. Celle-ci commence à augmenter à partir de 6 h pour atteindre son pic à 12 h et baisse progressivement à partir de cette heure pour reprendre sa valeur initiale à partir de 20 h.

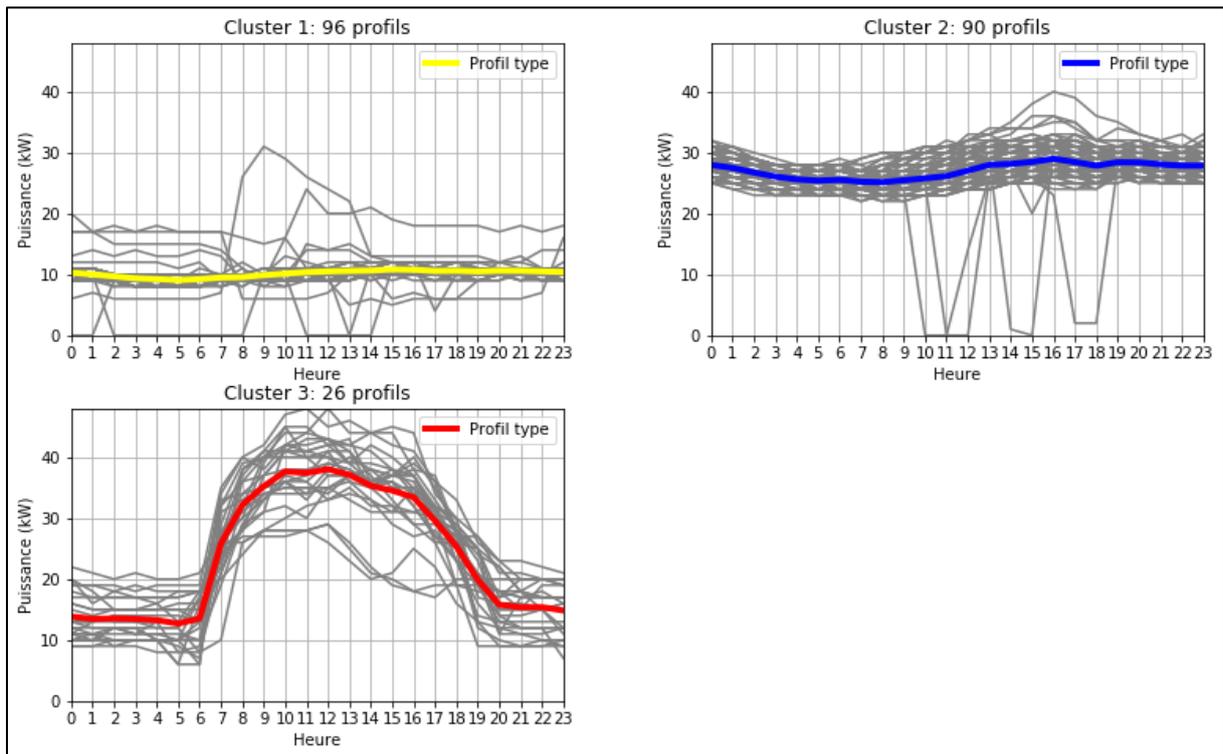


Figure 16: Profils de charges types des entreprises de télécommunications

## **IV.5. Conclusion**

Le clustering des données de consommation électrique est l'une des méthodes les plus utilisées pour la détermination des profils de charges types des usagers. Les algorithmes mis en place basés sur la méthode des K-means permettent d'obtenir non seulement le nombre classes optimal mais aussi et surtout de faire ressortir les profils types de différentes catégories de clients industriels. Ainsi, chaque client HTB dispose au maximum deux profils types et les autres catégories étudiées présentent plusieurs profils types dépendant du nombre optimal de clusters.

## V. ANALYSE DE L'IMPACT DES PROFILS DE CHARGE DES CLIENTS PROFESSIONNELS

### V.1. Introduction

Cette partie concerne l'étude proprement dite de l'impact des profils de charges des usagers industriels sur la courbe de charge globale de Senelec. Il est question, d'abord de comprendre le comportement de l'ensemble des clients de Senelec en utilisant les données disponibles, ensuite de définir et de calculer les facteurs qui permettent de faire une analyse des charges de quelques groupes d'usagers professionnels par rapport à la courbe de charge globale.

### V.2. Courbe de charge globale de Senelec

Les données les plus récentes disponibles sur la courbe de charge globale de Senelec sont celles de l'année 2019. Le cas le plus défavorable est la journée où la pointe maximale annuelle a été enregistrée. Celle-ci concerne la journée du vendredi 26 octobre 2019. Une pointe maximale de 670,4 MW a été réalisée à 22 h comme l'indique la Figure 17.

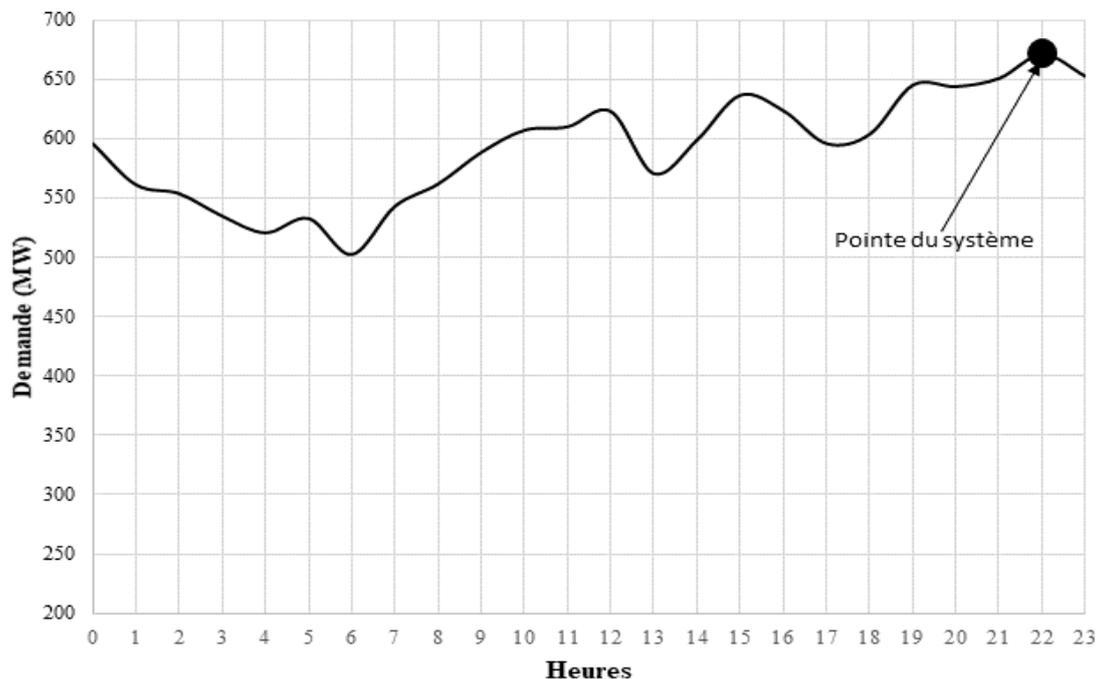


Figure 17: Demande globale de Senelec

Cette courbe montre une demande qui varie entre 500 MW et 670 MW. Deux périodes de facturation sont dès lors définies : la période de pointe (19 h-23 h) et la période hors pointe (23 h-19 h). De 0 h à 6 h il y a une tendance baissière de la demande passant de 600 MW à

500 MW. A partir de 6 h une hausse de la demande est constatée jusqu'à 12 h. Entre 12 h et 13 h une petite chute de la demande est observée. Au-delà de 13 h la demande augmente continuellement jusqu'à atteindre un pic de 670 MW à 22 h. L'explication qu'on peut fournir à ce comportement c'est qu'entre 0 h et 6 h, l'activité humaine est minime c'est pourquoi cette période enregistre la plus petite demande (500 MW). A partir de 6 h, les activités économiques reprennent avec l'ouverture de lieux de travail qui sont principalement représentés par les usagers professionnels notamment les industriels. La petite baisse de la demande entre 12 h et 13 h s'explique par le fait que les entreprises ont tendance à observer une pause durant cette période. A la fin de celle-ci, le travail reprend d'où la hausse de la demande jusqu'à 17 h correspondant à l'heure de descente. Par la suite ce sont les usagers domestiques qui prennent la relève. Ils constituent la plus grande partition du nombre total de clients de Senelec et ont donc la demande la plus considérable, expliquant ainsi la forte demande durant la période 18 h-22 h. Aussi, il faudra noter que cette pointe est atteinte lors de la période de grande chaleur (mois d'octobre) où on note une sollicitation massive des appareils producteurs de froid et de ventilation qui sont de nature énergivores.

### **V.3. Définition des indicateurs d'impact sur la courbe de charges globale**

Pour connaître l'impact de la courbe de charge d'un groupe d'usagers sur la demande globale, il faut au préalable définir un certain nombre de facteur dépendants des puissances appelées et de leurs périodes. Entre autres indicateurs, on peut retenir, le facteur de charge, le facteur de coïncidence, le facteur de diversité, le facteur de responsabilité et les ratios consommations de la période de pointe et hors pointe sur la consommation globale. Toutefois, il faut au préalable comprendre les différentes notions de pointes de consommation. Dans ce sens, la Figure 18 offre une illustration de ces notions.

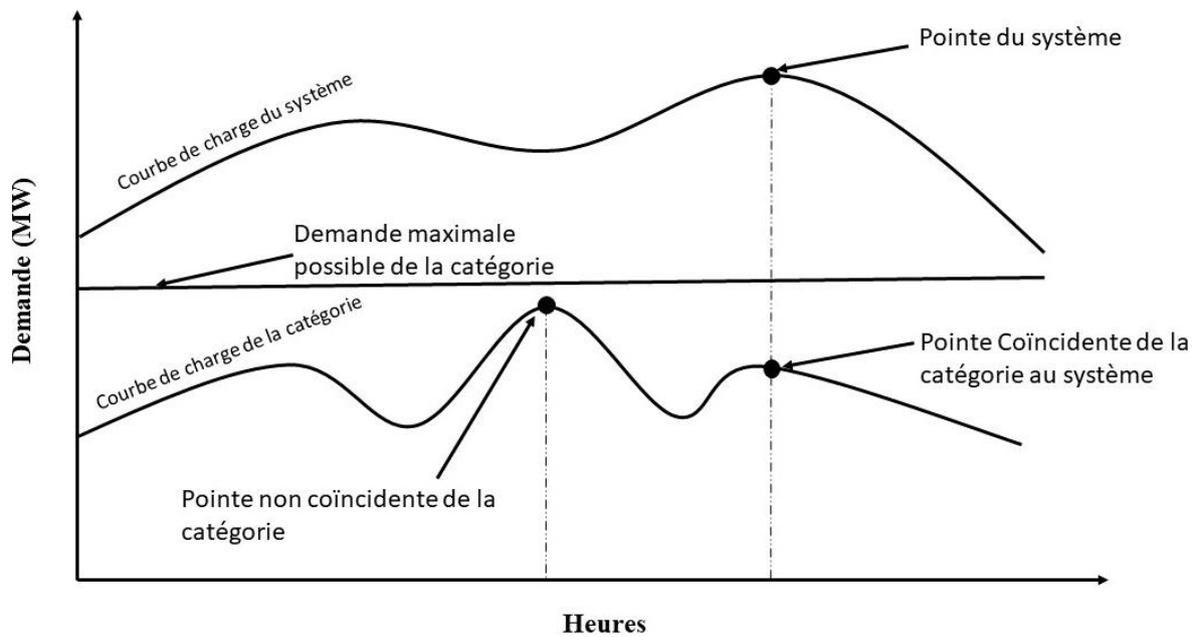


Figure 18: Schéma d'illustration des pointes

La courbe de charge du système représente la courbe de charge globale de l'ensemble des usagers de Senelec. La courbe de charge de la catégorie concerne une catégorie de clients donnée. Les clients peuvent être catégorisés par usage (domestiques ou professionnels), par niveau de tension (BT, HTA ou HTB), par activité professionnelle (industries agricoles, télécommunications, industries manufacturières et agroalimentaires...) etc. La courbe de charge d'une catégorie est obtenue en calculant la courbe de charge moyenne journalière d'un échantillon représentatif de cette catégorie extrapolée suivant le nombre de clients de cette catégorie.

### V.3.1. Pointe du système

La pointe du système est la demande maximale observée sur la courbe de charge globale du système. Suivant les objectifs de l'étude, cette pointe peut être annuelle, mensuelle, hebdomadaire ou journalière. Dans le cas de cette étude, une pointe journalière est prise en compte.

### V.3.2. Pointe coïncidente de la catégorie : PC

La pointe coïncidente d'une catégorie est sa demande au moment de la pointe du système. Elle se calcule suivant cette formule :

$$PC^j = \sum_i^n Demande_{i,heure\ du\ pic\ du\ système}^j \quad (13)$$

Où :

$j$  : catégorie ;

$i$  : client de la catégorie

$n$  : nombre de clients de la catégorie ;

$Demande_{i,heure\ du\ pic\ du\ systeme}^j$  : Demande du client  $i$  de la catégorie  $j$  à l'heure de la pointe du système en kW.

### V.3.3. Pointe non coïncidente de la catégorie : PNC

Elle désigne la demande de pointe de la catégorie qui ne coïncide pas nécessairement avec l'heure de pointe du système. C'est donc la demande maximale observée sur la courbe de charge de la catégorie quelle que soit la période. Elle se calcule suivant cette formule :

$$PNC^j = \sum_i^n Demande_{i,heure\ du\ pic\ de\ la\ categorie}^j \quad (14)$$

Où :

$j$  : catégorie ;

$i$  : client de la catégorie

$n$  : nombre de clients de la catégorie ;

$Demande_{i,heure\ du\ pic\ de\ la\ categorie}^j$  : Demande du client  $i$  de la catégorie  $j$  à l'heure de la pointe de la catégorie en kW.

### V.3.4. Somme des Demandes Maximales Individuelles : SDMI

Elle se définit comme étant la somme des demandes maximales de charges individuelles des clients indépendamment du moment où la demande maximale de chaque client se produit. La SDMI se calcule suivant cette formule :

$$SDMI^j = \sum_i^n Demande\ Max_{i,heure\ du\ pic\ individuel}^j \quad (15)$$

Où :

$j$  : catégorie ;

$i$  : client de la catégorie

$n$  : nombre de clients de la catégorie ;

$Demande Max_{i,heure}^j$  du pic individuel : Demande maximale du client  $i$  de la catégorie  $j$  en kW.

### V.3.5. Demande moyenne de la catégorie : DMoy

La demande moyenne désigne la consommation moyenne d'une catégorie. Pour la calculer, on utilise la formule suivante :

$$DMoy = \frac{\sum_i^n Demande\ totale_i^j}{nombre\ d'heures} \quad (16)$$

Où :

$j$  : catégorie ;

$i$  : client de la catégorie

$n$  : nombre de clients de la catégorie ;

$Demande\ totale_i^j$  : Demande totale du client  $i$  de la catégorie  $j$  en kW.

### V.3.6. Facteur de charge : FC

Le facteur de charge d'une catégorie est sa charge moyenne divisée par sa demande de pointe. Il peut être aussi calculé pour un système donné. Il renseigne sur le niveau d'utilisation des unités de consommation électriques de la catégorie. Plus le facteur de charge est élevé, plus le profil de charge est lisse. Donc la valeur la plus élevée possible du facteur de charge est 1 ou 100% [15].

$$FC(\%) = \frac{DMoy \times 100}{PNC} \quad (17)$$

### V.3.7. Facteur de coïncidence : FCoin

Le facteur de coïncidence est le rapport entre la demande maximale d'une catégorie ou d'un système et la somme de ses demandes maximales individuelles. C'est un indicateur renseignant sur la probabilité que l'ensemble des composantes d'une catégorie ou d'un système atteignent leurs pointes au même moment. Si toutes les charges individuelles sont à leurs maxima en même temps, la valeur du facteur de coïncidence est alors égale à 1.

$$FCoin(\%) = \frac{PNC \times 100}{SDMI} \quad (18)$$

### V.3.8. Facteur de diversité : FD

Le facteur de diversité est l'inverse du facteur de coïncidence. Il est alors le rapport entre la somme des demandes maximales individuelles d'une catégorie ou d'un système et de sa demande de pointe. Plus le facteur de diversité est grand, plus les moments des pointes individuelles sont différents. Si toutes les charges individuelles sont à leurs maxima en même temps, la valeur du facteur de diversité est alors égale à 1.

$$FD(\%) = \frac{SDMI \times 100}{PNC} = \frac{1}{FCoin} \quad (19)$$

### V.3.9. Facteur de responsabilité : FR

Le facteur de responsabilité d'une catégorie indique le niveau de contribution de celle-ci à la pointe du système. Il est obtenu en divisant la demande de la catégorie au moment de la pointe du système (pointe coïncidente) par sa demande maximale (pointe non coïncidente). Si le moment de pointe du système correspond à celui de la catégorie donc le facteur de responsabilité de celle-ci est égal à 1 ou 100%. Le calcul se fait donc comme suit :

$$FR(\%) = \frac{PC \times 100}{PNC} \quad (20)$$

### V.3.10. Autres facteurs

Outre ces facteurs définis précédemment, il en existe deux autres renseignant sur les demandes en périodes de pointe et hors pointe d'une catégorie. Il s'agit du pourcentage de consommation d'énergie de la catégorie dans la période de pointe noté Konp et du pourcentage de consommation d'énergie de la catégorie dans la période hors pointe ou Koffp. Le Konp se calcule suivant cette formule :

$$Konp = \frac{\sum_i^n \text{Consommation de pointe}_i^j \times 100}{\sum_i^n \text{Consommation de totale}_i^j} \quad (21)$$

Où  $\sum_i^n$  *Consommation de pointe*<sub>i</sub><sup>j</sup> désigne la consommation pendant les heures de pointe en kWh du client i de la catégorie j et  $\sum_i^n$  *Consommation de totale*<sub>i</sub><sup>j</sup> la consommation totale du client i de la catégorie j en kWh.

La formule permettant de calculer le Koffp est la suivante :

$$Koffp = \frac{\sum_i^n \text{Consommation hors pointe}_i^j \times 100}{\sum_i^n \text{Consommation de totale}_i^j} \quad (22)$$

Où  $\sum_i^n$  *Consommation hors pointe*<sub>i</sub><sup>j</sup> désigne la consommation pendant les heures hors pointe en kWh du client i de la catégorie j.

#### **V.4. Résultats et analyse du comportement de consommation des clients industriels**

Selon les données disponibles et suivant les indicateurs décrits précédemment, une analyse des profils de charge moyens d'un certain nombre d'utilisateurs industriels a été faite. La classification des clients faite dans la partie IV.4 est toujours retenue. L'étude est portée alors sur les cinq clients HTB et les six catégories HTA et BT suivantes : les industries productrices de riz (rizeries), les entreprises d'élevage de volailles (couvoirs), les industries horticoles, les stations de pompage d'eau, les usines d'épuration des eaux usées (assainissement) et les entreprises de télécommunications. Pour chaque client HTB, les données mensuelles de sa courbe de charge relevées sont retenues. Et pour chaque catégorie considérée, un regroupement des données disponibles est fait avant de passer à leur traitement. Aussi le système considéré est la charge globale de Senelec. Pour cela c'est le profil de charge du 26 octobre 2019 qui est pris en compte car considéré comme la situation la plus défavorable avec une pointe de 670,4 MW. Pour la détermination des profils de charges moyennes des catégories, les données des puissances électriques d'échantillons sont utilisées. Chaque catégorie est représentée par un échantillon qui englobe un certain nombre d'utilisateurs de cette catégorie. Car, les données sur les demandes de l'ensemble des populations des catégories ne sont guère disponibles. Il est question de déterminer le profil moyen de chaque échantillon représentant la catégorie et de faire par la suite, une extrapolation de ce profil. L'extrapolation est faite en multipliant ce profil par le nombre estimé d'entreprises.

### V.4.1. Les clients HTB

Après calculs, le Tableau 7 est un récapitulatif des résultats concernant les puissances coïncidentes et non coïncidentes, les demandes moyennes et les sommes des demandes maximales individuelles des cinq grands clients industriels.

*Tableau 7: Demandes des clients HTB*

<b>Demandes</b> <b>Clients</b>	<b>PC(MW)</b>	<b>PNC(MW)</b>	<b>DMoy(MW)</b>	<b>SDMI(MW)</b>
Someta	8,05	9,64	8,28	11,69
Sococim	7,81	8,83	7,74	14,01
Station SDE Mékhé	7,50	7,60	7,36	7,81
ICS	7,37	9,13	7,60	19,00
Fabrimetal	5,84	6,99	6,19	8,65

Le Tableau 8 renseigne sur les indicateurs prédéfinis. Les courbes de charges moyennes de ces clients sont représentées individuellement suivie de leur interprétation comparativement au profil de charge global de Senelec.

*Tableau 8: Indicateurs des clients HTB*

<b>Indicateurs</b> <b>Clients</b>	<b>FC</b>	<b>FCoin</b>	<b>FD</b>	<b>FR</b>	<b>Konp</b>	<b>Koffp</b>
Someta	86%	82%	121%	83%	9%	91%
Sococim	88%	63%	159%	88%	17%	83%
Station SDE Mékhé	97%	97%	103%	99%	17%	83%
ICS	83%	48%	208%	81%	15%	85%
Fabrimetal	88%	81%	124%	84%	17%	83%

#### V.4.1.1. Someta

La courbe de charges moyennes journalière de cette industrie est représentée sur la Figure 19.

L'industrie Someta dispose d'une courbe de charges moyennes journalières quasi constante entre 0 h et 17 h. Sa demande baisse considérablement 18 h et 21 h avec une puissance minimale de 2,3 MW à 21 h. Par contre, elle connaît une hausse à partir de 22 h, ce qui implique

une PC égale à 8,05 MW. La PNC est observée à 1 h avec une valeur de 9,6 MW et la demande moyenne horaire journalière est de 8,28 MW. Cela entraîne un FC égal à 86% et un facteur de responsabilité de plus de 83% du fait de sa demande élevée à 22 h. Toutefois, sa faible demande durant la période 19 h-22 h fait que l'entreprise dispose d'un Konp de 9%, valeur qui symbolise une faible consommation durant la période de pointe du système.

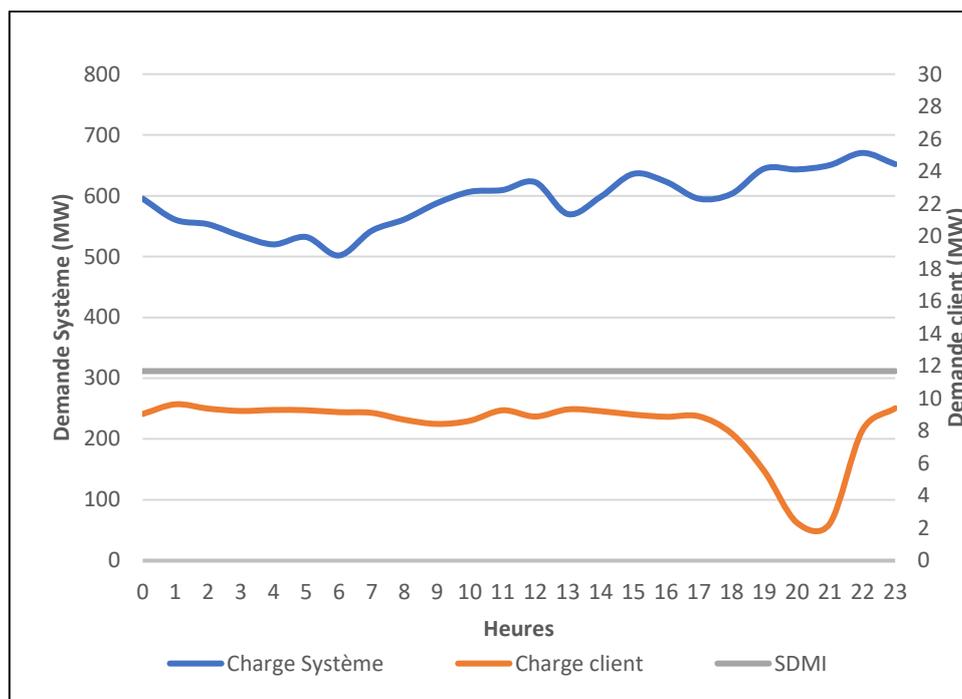


Figure 19: Courbe de charges moyennes de Someta

#### V.4.1.2. Sococim

Après traitement ses données sur sa demande électrique, la courbe de charges moyennes journalière de Sococim est représentée sur la Figure 20. Celle-ci présente une évolution légère de la demande au cours de la journée. Par conséquent, l'entreprise dispose d'un FC élevé, de l'ordre de 88%. Toutefois la grande différence entre la SDMI (14,01 MW) et la PNC (8,83 MW) fait qu'elle présente un facteur de diversité élevé (159%). Aussi, les valeurs élevées de son FR (88%) et de son Konp (17%) sont symbolisées par sa demande qui ne chute pas durant les heures de pointe du système d'où elle entraîne un fort impact sur la pointe de Senelec.

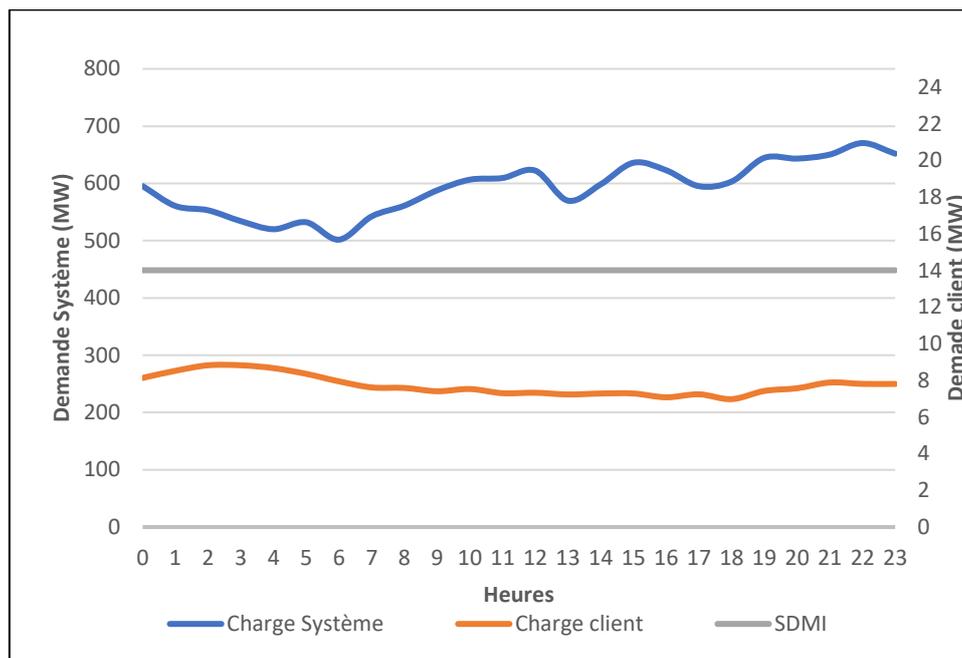


Figure 20: Courbe de charges moyennes de Sococim

#### V.4.1.3. Station de surpression de Mékhé

Etant l'une des plus grandes stations de surpression de la Société Des Eaux du Sénégal (SDE), la station de Mékhé présente une courbe de charges moyennes journalières indiquée sur la Figure 21.

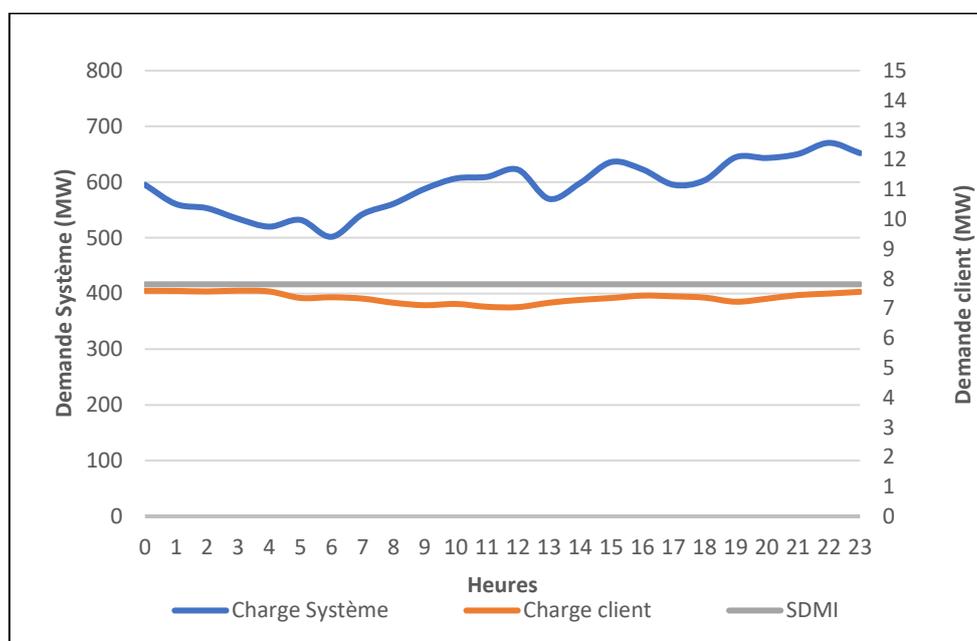


Figure 21: Courbe de charges moyennes de la station de surpression de Mékhé

Cette station dispose d'une demande quasi constante durant toute la journée. De ce fait, il existe de très faibles différences entre sa PC (7,50 MW), sa PNC (7,60 MW), sa demande moyenne

(7,36 MW) et sa SDMI (7,81 MW). L'explication qu'on peut donner à ce type de comportement est que la station doit assurer un service continu durant toute la journée. Ces installations électriques sont alors perpétuellement sollicitées. De fait, sa courbe de charge est presque lisse. Cet aspect est caractérisé par un FC et un FCoïn très élevés atteignant chacun 97%, un FR de presque 100% et un Koffp inférieur à 84%.

#### V.4.1.4. ICS

La Figure 22 représente la courbe de charges moyennes d'ICS comparée à celle du système de Senelec.

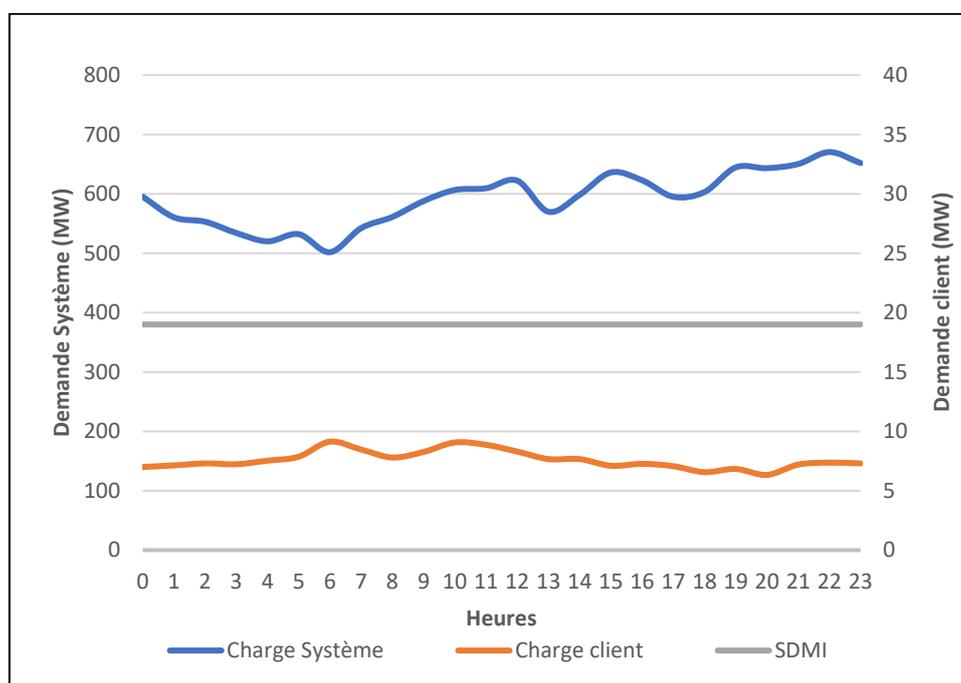


Figure 22: Courbe de charges moyennes d'ICS

On observe premièrement une différence de 11,4 MW entre la SDMI et la demande moyenne horaire de cette industrie. Ce gap se justifie par le fait qu'elle dispose de sa propre source de production électrique qui assure généralement une bonne partie de ses besoins énergétiques. Ainsi l'entreprise dispose d'une PNC de 9,13 MW observée à 10 h d'où un très faible FCoïn égal à 48%. La chute de la demande durant les heures de pointe entraîne un FR inférieur à 82% et un Konp égal à 15%.

#### V.4.1.5. Fabrimetal

La Figure 23 représente la courbe de charges moyennes journalière de Fabrimetal.

On observe une évolution progressive de la demande moyenne de 0 h à 18 h avec un pic de 7 MW à 17 h correspondant à la PNC de cette entreprise. Durant la période de pointe, une légère chute de la demande est observée d'où une PC de 5,84 MW. Sa demande moyenne horaire étant de 6,19 MW, cette industrie dispose alors d'un FC de 88%. Ce qui caractérise une courbe de charge un peu lisse. La différence de la demande entre les heures de pointe et hors pointe n'étant pas élevée, elle présente alors un FR de 84% et un Konp égal à 17%.

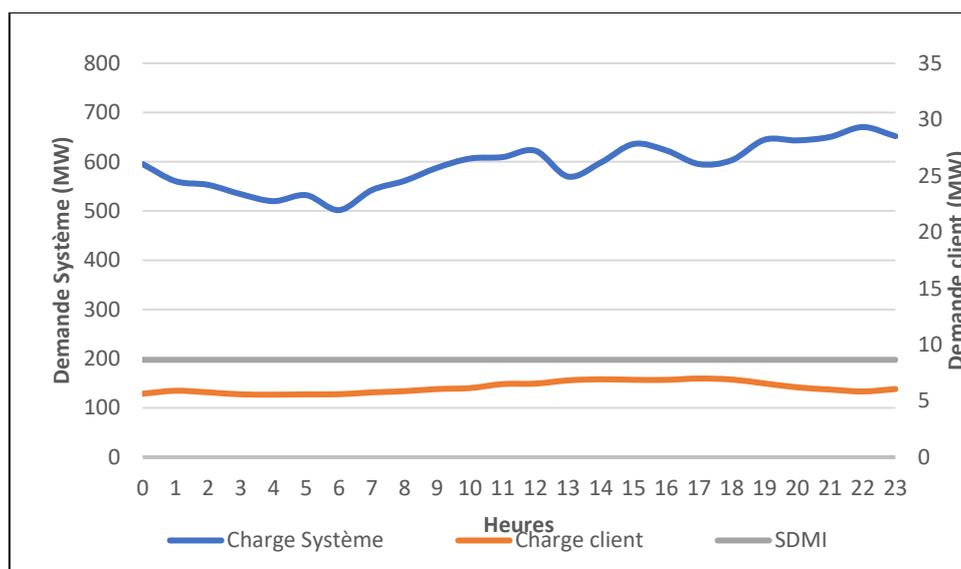


Figure 23: Courbe de charges moyennes de Fabrimetal

#### V.4.2. Les catégories HTA et BT

De même, les demandes des catégories des clients HTA/BT étudiées sont récapitulées dans le Tableau 9. Et les résultats du calcul des indicateurs prédéfinis sont présentés dans le Tableau 10.

Tableau 9: Demandes des catégories HTA/BT

Demandes / Sous-secteurs	PC(MW)	PNC(MW)	DMoy(MW)	SDMI(MW)
Rizeries	1,84	3,80	2,43	4,32
Horticulture	0,99	1,74	1,22	2,37
Couvoirs	0,82	1,05	0,91	1,09
Usines d'épuration	9,59	13,02	10,61	13,52
Stations de pompage	6,69	14,96	10,61	15,99
Télécommunications	9,29	10,70	9,60	12,30

Tableau 10: Indicateurs des profils de charges des catégories HTA/BT

Indicateurs / Sous-secteurs	FC	FCoin	FD	FR	Konp	Koffp
Rizeries	64%	88%	114%	48%	10,6%	89,4%
Horticulture	70%	73%	136%	57%	12,9%	87,1%
Couvoirs	87%	96%	104%	78%	15,9%	84,1%
Usines d'épuration	82%	96%	104%	74%	15,6%	84,4%
Stations de pompage	71%	94%	107%	45%	9,3%	90,7%
Télécommunications	90%	87%	115%	87%	16,4%	83,6%

#### V.4.2.1. Les rizeries

Les industries productrices de riz forment un sous-secteur du secteur d'activité Agriculture. La Figure 24 donne un aperçu de leur impact sur la courbe de charge globale de Senelec.

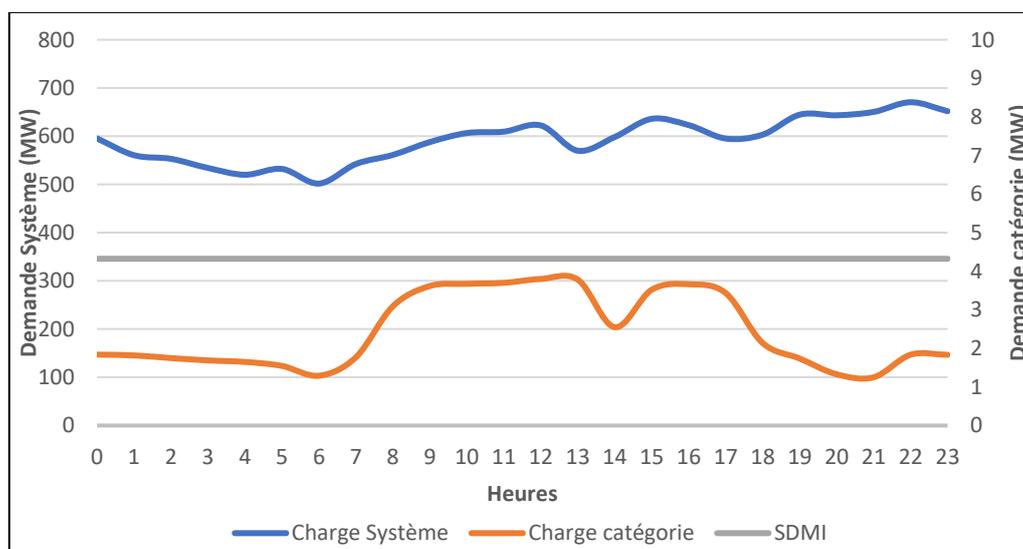


Figure 24: Courbe du système et profil de charges des rizeries

Les industries rizicoles montrent une demande journalière variant entre 1,25 MW et 3,8 MW avec une demande moyenne de 2,43 MW et une pointe coïncidente de 1,84 MW. La somme des demandes maximales individuelles est de 4,32 MW alors que la pointe non coïncidente est de 3,8 MW observée à 12 h. Le facteur de charge de cette catégorie est de 64%. Ceci indique qu'en moyenne, cette catégorie utilise sa demande de pointe plus de 15 heures de temps en 24 heures. Le facteur de coïncidence est de 88%. Cette valeur élevée s'explique par le fait que la différence entre la PNC et la SDMI n'est que de 0,5 MW donc la probabilité que les charges

individuelles atteignent leurs pointes au même moment est élevée. Le facteur de responsabilité étant égale à 48%, valeur qui montre que cette catégorie de clients n'impacte pas trop sur la pointe globale de Senelec. Les ratios de consommation en heures de pointe et en dehors des heures de pointe sont respectivement 10,6% et 89,4%. Cela signifie que dans cette catégorie, les entreprises ont l'essentiel de leur consommation durant les heures hors pointe, ce qui allège leurs factures électriques. L'explication qu'on peut donner est dans les rizeries, l'activité la plus énergivore est l'irrigation car nécessitant l'utilisation de grosses pompes or en général ces pompes sont utilisées durant la journée. De ce fait, cette catégorie de clients présente une habitude de consommation très correcte car elle dispose d'un facteur de charge acceptable, un facteur de responsabilité et une consommation en heures de pointe faible.

#### V.4.2.2. Les industries d'horticulture

Les entreprises qui œuvrent dans l'horticulture forment une catégorie dans le secteur de la production agricole. Leur courbe de charge moyenne globale journalière est représentée dans la Figure 25 comparativement à la courbe de charge globale du système de Senelec.

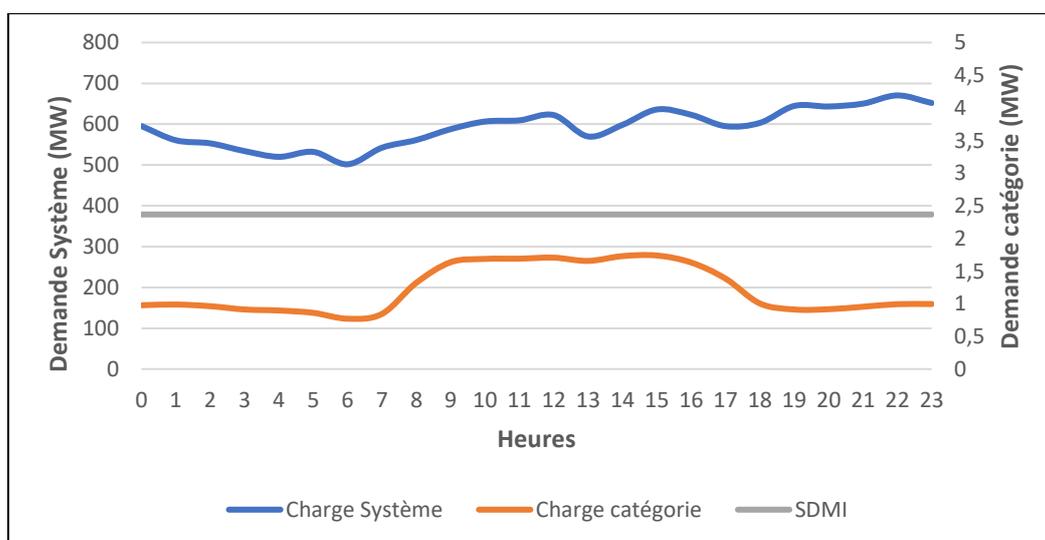


Figure 25: Courbe du système et profil de charges du sous-secteur Horticulture

Cette catégorie dispose d'une demande globale journalière qui tourne autour de 1,5 MW par heure. Avec une demande moyenne journalière de 1,22 MW et une pointe non coïncidente de 1,74 MW, elle a un facteur de charge s'élevant à 70%. Donc en moyenne, sa charge de pointe est utilisée plus de 16 heures de temps sur 24 heures. La probabilité que les installations atteignent leurs charges maximales en même temps, symbolisée par le facteur de coïncidence est de 0,73. C'est pourquoi, pour cette catégorie, le facteur de diversité est de 136%. Sa consommation durant les heures de pointe représente 12,9% de sa consommation globale tandis

que sa consommation dans la période hors pointe représente plus de 87%. Ces résultats montrent que principalement, la consommation de cette catégorie se situe entre 7 h et 18 h. Tout comme les rizeries, la principale activité énergivore dans les entreprises horticoles est l'irrigation qui s'effectue en pleine journée. La pointe de la courbe de charge globale de Senelec est observée à 22 h, donc cette catégorie a un impact minime sur la charge du système. Cet impact est symbolisé par un facteur de responsabilité de 57%.

#### V.4.2.3. Les couvoirs

Les couvoirs forment une catégorie dans le secteur de l'élevage. Leur profil de charge journalier est représenté sur la Figure 26 ci-dessous.

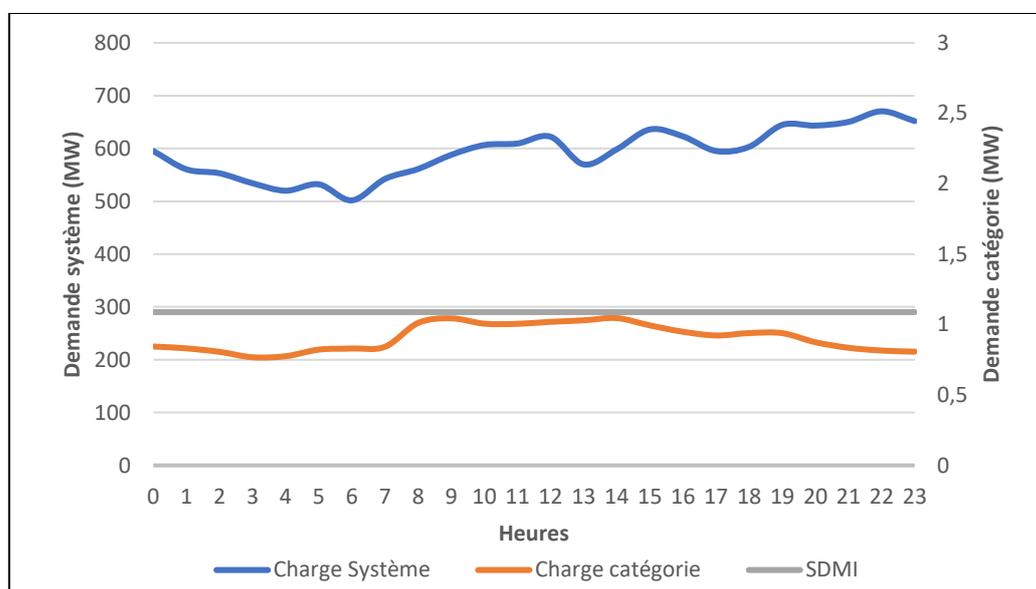


Figure 26: Courbe du système et profil de charges du sous-secteur Couvoirs

La courbe de charge de cette catégorie montre une petite variation de la demande au cours de la journée. La charge varie entre 0,76 et 1 MW et la demande moyenne journalière est de 0,91 MW. Par conséquent, le facteur de charge de cette catégorie est de 87%. Cette valeur fait ressortir un profil de charges relativement lisse. La demande de pointe de cette catégorie est observée à 14 h avec 1,04 MW. La faible variation de la demande entraîne un facteur de coïncidence élevé, de l'ordre de 96% et un facteur de responsabilité de 78%. Cette faible variation se justifie par le fait que durant les heures de fermeture de ce type d'entreprise, l'éclairage, un des principaux points de consommation électrique reste allumé. Ceci est une condition nécessaire pour le bon déroulement des techniques d'élevage de volailles. Toutefois, l'inconvénient majeur que cela entraîne est une consommation élevée durant la période de

pointe qui justifie un Konp égal à 15,9%. Ainsi ce dernier pourrait se répercuter sur les factures d'électricité des entreprises cette catégorie.

#### V.4.2.4. Usines d'épuration des eaux usées

Les usines d'épuration d'eaux usées font partie du secteur d'activité Eau et Assainissement. Leur profil de charges journalier est représenté sur la Figure 27.

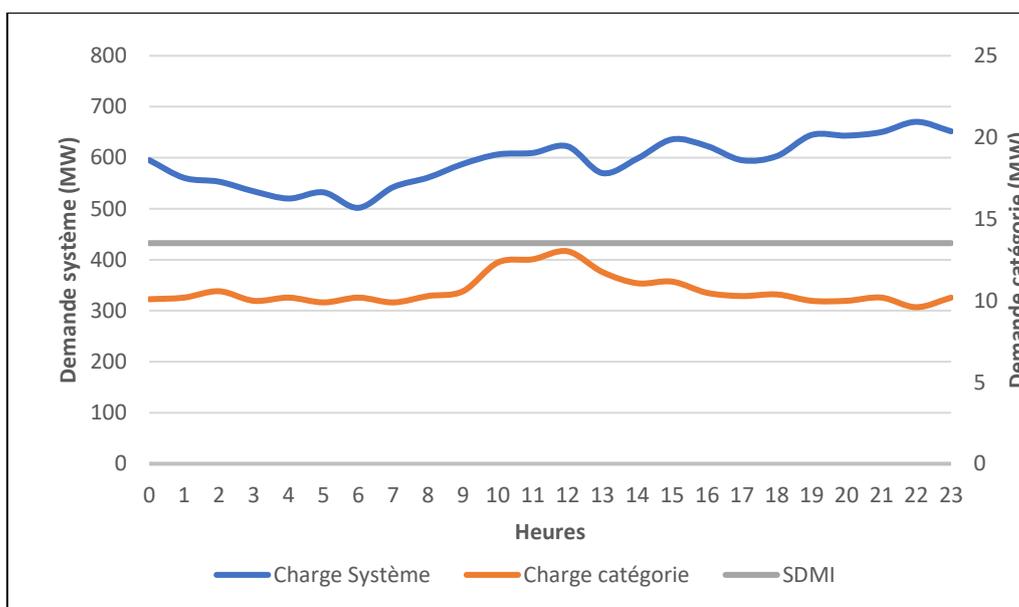


Figure 27: Courbe du système et profil de charges du secteur Assainissement

Cette courbe montre une charge journalière qui varie entre 9,5 MW et 13 MW. La pointe coïncidente, demande observée à 22 h, correspond, pour cette catégorie, à sa charge minimale. La pointe non coïncidente est observée à 12 h (13 MW). Cette faible variation se symbolise aussi par une demande moyenne égale à 10,61 MW et une SDMI de 13,52 MW. Ainsi le facteur de charge est de 82%. Les facteurs de responsabilité et de diversité sont respectivement de 74% et de 104%. Cette habitude de consommation montre une activité professionnelle plus importante entre 10 h et 15 h. Toutefois, en dehors de cette période, il y a un service continu à assurer donc on n'observe qu'une petite baisse de la charge. De ce fait, la consommation durant les heures de pointe reste conséquente avec 15,6% avoisinant ainsi les 16%.

#### V.4.2.5. Stations de pompage :

Les stations de pompage, catégorie du secteur d'activité Eau et Assainissement sont des industries assurant le ravitaillement des populations en eau potable. La Figure 28 renseigne sur le comportement de consommation de cette catégorie d'entreprise.

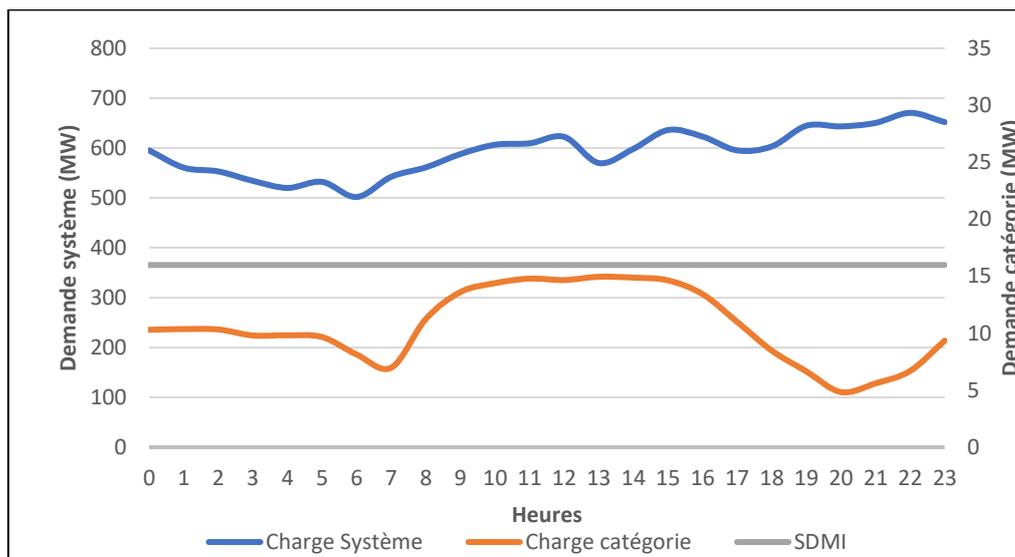


Figure 28: Courbe du système et courbe de charges des stations de pompage

Avec une charge minimale de 4,8 MW et une pointe non coïncidente de 14,96 MW, la variation de la demande journalière pour cette catégorie est de 10,16 MW. Cette variation semble importante comparée à celles des catégories étudiées ci-avant. La PNC est observée à 13 h tandis que la PC (observée à 22 h) s'élève à 6,69 MW. Avec une demande moyenne de 10,61 MW, le facteur de charge est de 71%. Entre 7 h et 19 h, l'activité industrielle, du fait de la demande importante en eau, est conséquente. D'où 90,7% de la demande totale se situe durant la période hors pointe. Le facteur de responsabilité étant de 45% symbolise une courbe de charge qui n'impacte pas trop sur la courbe de charge globale du système de Senelec.

#### V.4.2.6. Télécommunications :

Les télécommunications sont un sous-secteur du secteur d'activité des Transports, Entrepôts et Communications. Les données électriques des installations de télécom principalement les antennes BTS (Base Transceiver Station) sont traitées et la Figure 29 représente leur profil de charge journalier comparé à la courbe de charge globale de Senelec.

Cette courbe montre une demande électrique journalière se situant entre 8,27 MW et 10,7 MW. La pointe coïncidente est de 9,28 MW et la pointe non coïncidente (10,7 MW) est observée à 16 h. Avec une demande moyenne de 9,6 MW, le facteur de charge est alors égal à 90%. Ce qui donne un profil quasiment lisse. Par conséquent il n'y a que de petites variations de la demande au cours de la journée. En effet, ce type d'installations doit assurer un service continu 24h/24. Les facteurs de diversité et de responsabilité sont respectivement égaux à 115% et 87%.

Cette dernière valeur justifie le fait que 16,4% de la consommation soit observée durant la période de pointe.

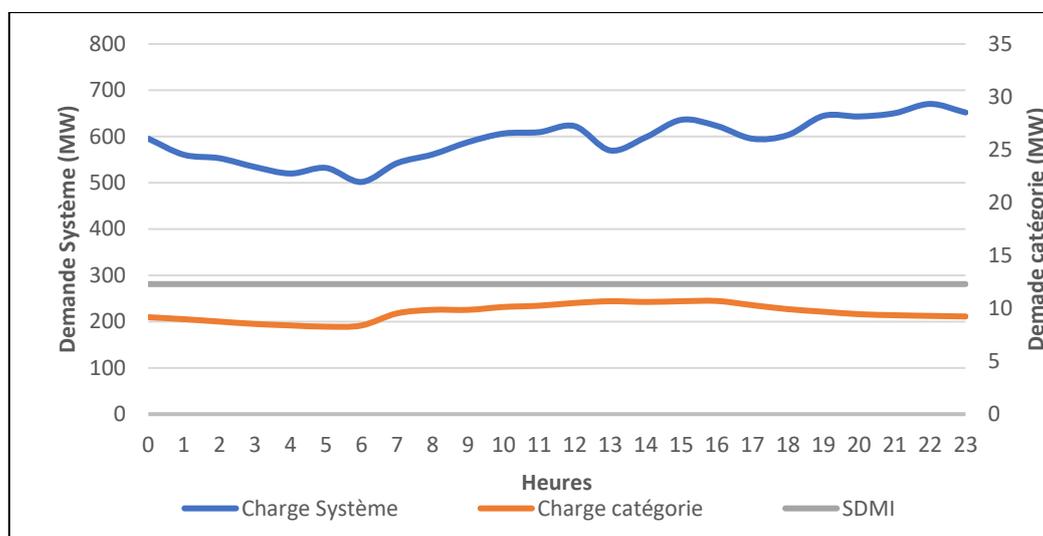


Figure 29: Courbe du système et courbe de charges des entreprises de télécom

#### V.4.3. Analyse comparative des courbes de charges

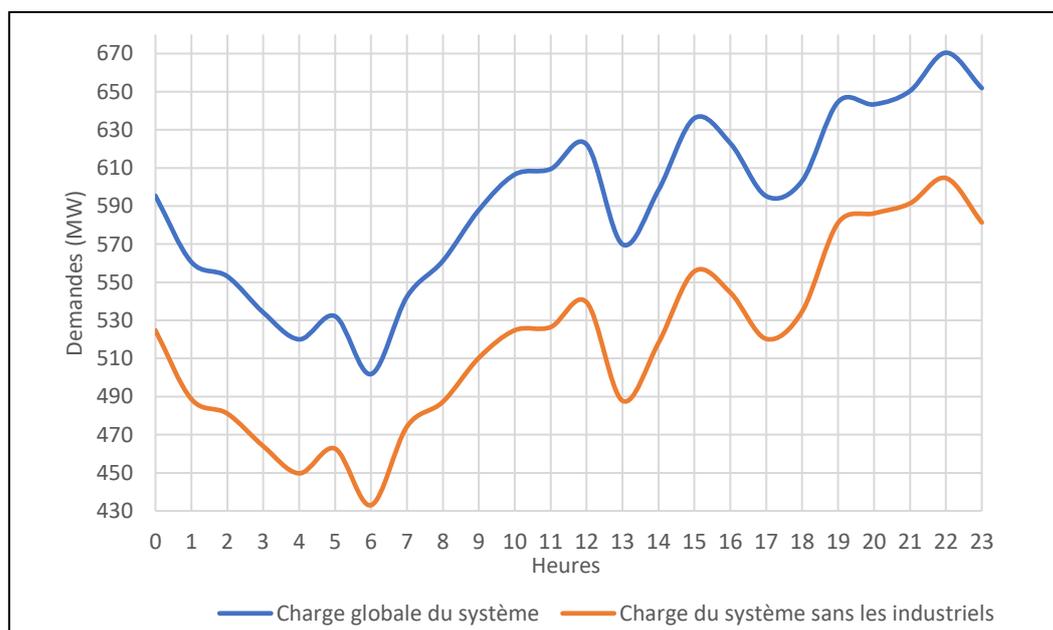


Figure 30: Courbe globale du système et courbe du système sans la charge des industriels

L'analyse comparative de la Figure 30 montre que la courbe du système de Senelec sans la charge des industriels dispose de la même allure que sa courbe de charge globale. Cette allure est caractérisée par une baisse de la charge entre 0 h et 6 h suivie d'une hausse jusqu'à 12 h. Ensuite de petites baisses sont observées durant les intervalles 12 h – 14 h et 16 h – 18 h. Au-delà de 18 h les courbes présentent une hausse considérable pour atteindre leurs pics à 22 h. Ceci traduit le fait que les clients industriels étudiés ne sont pas responsables de la pointe maximale observée à 22 h. Mieux la somme de leurs pointes coïncidentes ne représente que

9,8% de pointe journalière de Senelec soit 65,77 MW. Toutefois la différence entre ces deux charges est plus élevée durant la période 11 h – 15 h où elle peut atteindre 83 MW dû à une forte activité industrielle en mi-journée.

## **V.5. Conclusion**

Cette partie montre que la courbe de charges globale de Senelec durant la journée la plus défavorable de l'année 2019 a une pointe de 670,4 MW à 22 h. Ceci conforte l'idée que la période de pointe journalière est entre 19 h et 23 h. Pour déterminer l'impact des courbes de charges des clients professionnels sur la courbe globale de Senelec, plusieurs indicateurs tels que leurs pointes coïncidentes, leurs facteurs de charge, leurs facteurs de responsabilité etc. ont été définis mathématiquement. Par la suite, les courbes de charges de certaines catégories d'entreprises ont été obtenues par extrapolation et on procède par le calcul de ces indicateurs pour chaque catégorie. Les résultats ont montré que les clients HTB ont un FC moyen et une consommation moyenne aux heures de pointe supérieurs à ceux des catégories des clients HTA et BT étudiées. Toutefois tous les clients étudiés observent leurs pointes journalières durant la période hors pointe. Cette période coïncide en effet avec les heures d'ouverture des entreprises. Ainsi leur impact sur la courbe de charge globale de Senelec se fait ressentir principalement en milieu de journée.

## CONCLUSION

Le but de cette étude ainsi réalisée était de faire une analyse de l'impact des profils de charges des clients professionnels sur la courbe de charge globale de Senelec. Elle a été faite suivant trois principaux points à savoir une étude rétrospective de la demande de ces clients, la mise en place d'une méthode pour déterminer leurs profils types et l'analyse proprement dite de ces profils sur la courbe de charge globale.

L'analyse de la demande a montré qu'au cours de l'année 2018, la consommation des clients industriels s'élève à 1 054 GWh soit 32% de l'énergie totale vendue par Senelec. Les industries manufacturières et agroalimentaires constituent le secteur d'activité le plus énergivores avec plus de 36% du total de consommation des secteurs d'activité. En outre, le secteur du BTP dispose du taux d'évolution de consommation les plus élevé entre 2016 et 2018.

La méthodologie de la détermination des profils de charges types que nous avons mise en place passe d'abord par les techniques d'analyse de données qui sont converties par la suite en programmes informatiques à partir du langage Python. Des techniques du machine learning ont été utilisées ; nous permettant ainsi d'aller du prétraitement des données jusqu'à la visualisation des résultats. Pour la validation de cette méthodologie, nous avons utilisé les données des grands industriels à savoir les cinq clients HTB de Senelec et d'un certain nombre de catégories de clients HTA/BT. Les résultats ont montré que les clients HTB disposent d'au maximum deux profils de charges types et les six catégories HTA/BT étudiées présentent chacune entre 3 et 6 profils types. L'interprétation de ces courbes a permis de mieux comprendre le comportement de ces usagers.

S'agissant de l'étude proprement dite de l'impact de ces clients sur la courbe de charge globale, nous avons tout d'abord étudié le profil de charge journalier global de Senelec en prenant en compte le jour le plus défavorable de l'année 2019. Il s'agit de la journée où le maximum des pointes journalières a été enregistré et qui montre une pointe de 670,4 MW à 22 h. Puis un profil moyen journalier pour chaque client HTB et pour chaque catégorie HTA/BT a été déterminé par extrapolation des données. Ceci nous a permis de déterminer les facteurs et indicateurs qui caractérisent ces profils. Ainsi les grands industriels présentent un FC moyen de 88,4%, un facteur de responsabilité moyen de 87% et un Konp de 14,8%. Tandis que le FC moyen des catégories HTA/BT est égal à 77%, leur FR s'élève à 65% et leur Konp représente 13,45% de leur consommation totale.

En définitive, nous pouvons dire que pour avoir une bonne maîtrise de la demande électriques des usagers industriels, il faut au préalable connaître en détails leurs comportements de consommation ce qui se traduit par la détermination de leurs profils de charges. La méthodologie mise en place a été appliquée sur les données de certaines catégories donc elle peut concerner toute autre catégorie. Globalement, les industriels impactent le plus sur la courbe de charge globale durant les heures hors pointe. Ces dernières coïncident avec les horaires d'ouverture de ces entreprises. Toutefois, ils peuvent améliorer certains indicateurs par le biais de politiques d'efficacité énergétique.

## **RECOMMANDATIONS / PERSPECTIVES**

Au terme de cette étude, nous allons apporter quelques recommandations et perspectives :

- ✓ La première concerne l'acquisition des données énergétiques : il faut se doter d'une base de données qui peut contenir les données de consommation de toutes les entreprises. Ces données doivent être disponibles à temps réel. Et cela peut se faire avec l'installation des compteurs télé-relevés au sein des entreprises ;
- ✓ L'utilisation des techniques approfondies de machines learning voire de l'intelligence artificielle (IA) pour l'analyse instantanée de ces données ;
- ✓ Vu le taux d'infiltration des énergies renouvelables dans le mix énergétique du réseau de Senelec, nous proposons de revoir le système de facturation des clients professionnels en leur offrant des tarifs verts aux heures où les sources renouvelables battent leur plein ;
- ✓ Enfin, nous suggérons la mise en place de politiques visant à accompagner les entreprises dans une logique d'efficacité énergétique.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Adam Abdou Hassan, « Le long chemin de l'électrification de l'Afrique » [En ligne], Disponible sur <https://theconversation.com/le-long-chemin-de-lelectrification-de-lafrique-76904>, [Consulté le 02 novembre 2020]
- [2] Khadidiatou Gassama, « Perspectives Economiques en Afrique 2018 », Groupe de la Banque Africaine de Développement, 2018
- [3] Senelec, « Historique », [En ligne], Disponible sur <http://www.senelec.sn/espace-institutionnel/histoire/>, [Consulté le 02 novembre 2020]
- [4] Senelec, « Organisation Senelec », [En ligne], Disponible sur <http://www.senelec.sn/espace-institutionnel/organisation/>, [Consulté le 02 novembre 2020]
- [5] Senelec, « Rapport annuel 2018 », 2019
- [6] Md. Jahangir Hossain et al. "Determination of Typical Load Profile of Consumers using Fuzzy C-Means Clustering Algorithm", International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE) ISSN, Volume-1 November 2011
- [7] Luc Eluère, « Qu'est-ce que le clustering ? Les 3 méthodes à connaître », [En ligne], Disponible sur <https://larevueia.fr/clustering-les-3-methodes-a-connaître>, [Consulté le 03 novembre 2020].
- [8] R Damayanti et al, « Electrical Load Profile Analysis Using Clustering Techniques»,2017 IOP Conf.
- [9] Marc-André Richard et al., «Daily load profiles clustering: a powerful tool for demand side management in medium-sized industries », Energy technology laboratory (LTE), Hydro-Québec's research institute (IREQ), ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, 2017
- [10] Claire Della Vedova, « La méthode des kmeans », [En ligne], Disponible sur <https://delladata.fr/kmeans>, [Consulté le 10 novembre 2020]
- [11] Younes Benzaki, « Tout ce que vous voulez savoir sur l'algorithme K-Means » , [En ligne], Disponible sur <https://mrmint.fr/algorithme-k-means> , [Consulté le 10 novembre 2020]
- [12] Ricco Rakotomalala, « Méthode des centres mobiles », Université Lumière Lyon 2

[13] « Le tutoriel Python», [En ligne], Disponible sur <https://docs.python.org/fr/3/tutorial/>,  
[Consulté le 10 novembre 2020]

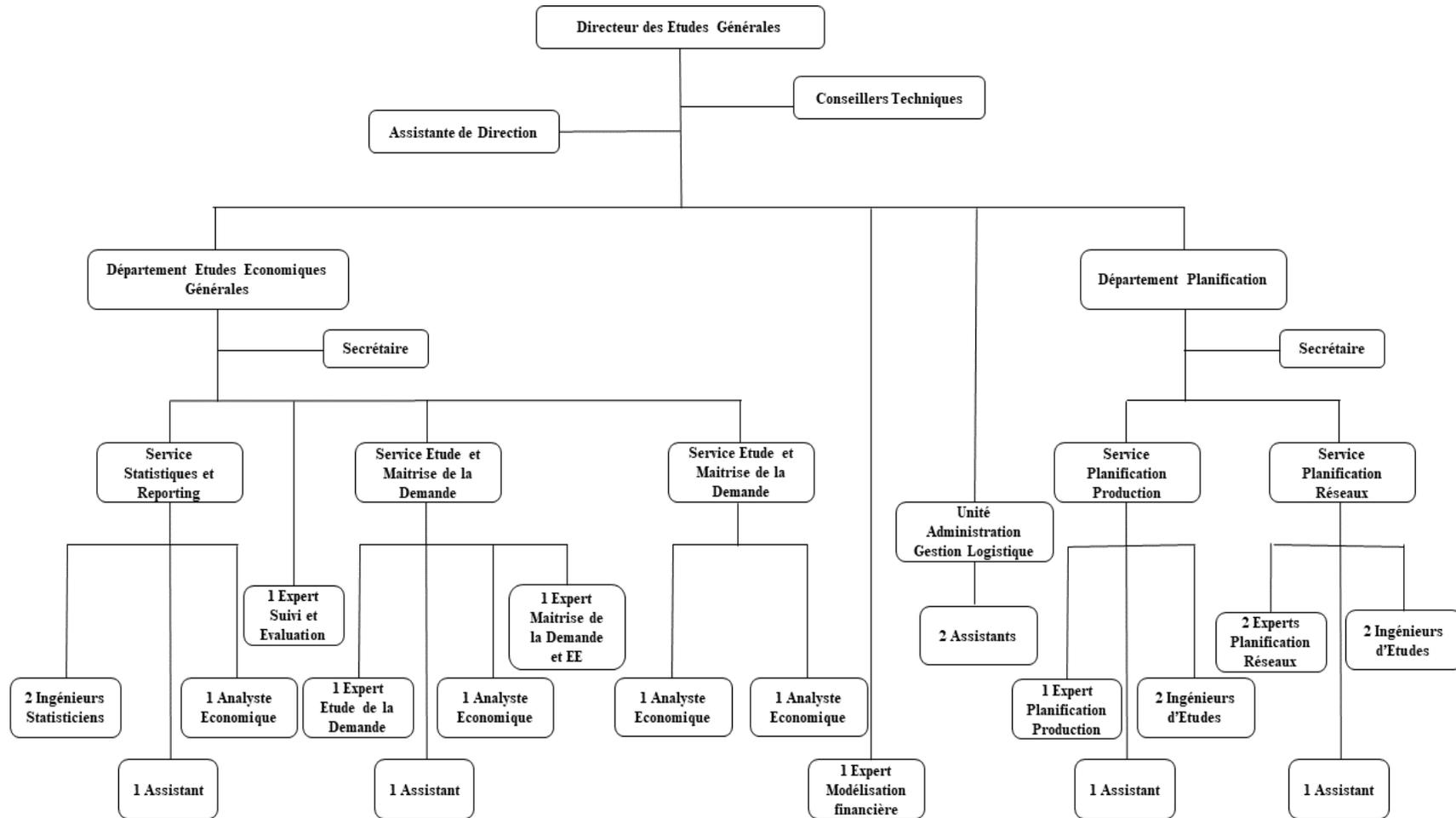
[14] « Jupyter Notebook : documents Web pour l'analyse de données, live-coding, etc.», [En  
ligne], Disponible sur [https://www.ionos.fr/digitalguide/sites-internet/developpement-  
web/jupyter-notebook/](https://www.ionos.fr/digitalguide/sites-internet/developpement-web/jupyter-notebook/), [Consulté le 12 novembre 2020]

[15] Dr Tao Hong, « Energy forecasting», [En ligne], Disponible sur  
[http://blog.drhongtao.com/2014/11/load-factor-coincidence-factor-diversity-factor-  
responsibility-factor.html](http://blog.drhongtao.com/2014/11/load-factor-coincidence-factor-diversity-factor-responsibility-factor.html), [Consulté le 20 novembre 2020]

## ANNEXES

Annexe 1: Organigramme de la Direction des Etudes Générales de Senelec .....	II
Annexe 2: Classification des usages BT .....	III
Annexe 3: Consommations énergétiques des secteurs d'activité en 2018 .....	IV
Annexe 4: Critères Silhouette des clients HTB .....	VII
Annexe 5: Critère Silhouette des catégories HTA et BT .....	X

**Annexe 1: Organigramme de la Direction des Etudes Générales de Senelec**



<b>Annexe 2: Classification des usages BT</b>
---

<b>Clients</b>	<b>Caractéristiques</b>	<b>Tarification</b>
Usager Domestique Petite Puissance (DPP)	Clients domestiques pouvant souscrire une puissance maximum de 6 kW	A tranches de consommation avec des tarifs progressifs
Usager Domestique Moyenne Puissance (DMP)	Clients domestiques pouvant souscrire une puissance comprise entre 7 kW et 17 kW	A tranches de consommation avec des tarifs progressifs
Usager Domestique Grande Puissance (DGP)	Clients domestiques pouvant souscrire une puissance supérieure à 17 kW	Binôme à postes horaires
Usager Professionnel Petite Puissance (PPP)	Clients professionnels pouvant souscrire une puissance inférieure ou égale à 6KW	A tranches de consommation avec des tarifs progressifs
Usager Professionnel Moyenne Puissance (PMP)	Clients professionnels pouvant souscrire une puissance comprise entre 7kW et 17 kW	A tranches de consommation avec des tarifs progressifs
Usager Professionnel Grande Puissance (PGP)	Clients professionnels pouvant souscrire une puissance supérieure à 17 kW et inférieure à 100 kW	Binôme à postes horaires Avec Prime Fixe Pénalités ou Bonification cosinus phi
EP	Eclairage public	Tarif moyen avec prime fixe

### Annexe 3: Consommations énergétiques des secteurs d'activité en 2018

#### Annexe 3. 1: Consommation énergétique du secteur Agriculture, Chasse en 2018

Sous-secteurs	Cons en GWh	Pourcentage
Production agricole	30,07	73,9%
Elevage	8,22	20,2%
Chasse, piégeage et repeuplement en gibier	1,28	3,1%
Exploitation forestière	1,14	2,8%
TOTAL	40,71	100%

#### Annexe 3. 2: Consommation énergétique du secteur Industries extractives en 2018

Sous-secteurs	Cons en GWh	Pourcentage
Production de pétrole brut et de gaz naturel	1,54	13,5%
Extraction des minerais métalliques	1,75	15,2%
Extraction d'autres minéraux	8,18	71,3%
TOTAL	11,46	100%

#### Annexe 3. 3: Consommation énergétique du secteur Industries manufacturières et agroalimentaires en 2018

Sous-secteurs	Cons en GWh	Pourcentage
Industries alimentaires : transformation produits	91,50	23,8%
Fabrication de glace et de froid (chambre froide)	82,00	21,3%
Fabrication d'ouvrages en matière plastique	65,08	16,9%
Fabrication de savons, de détergents, de produits cosmétiques et de produits d'entretien	28,20	7,3%
Industries alimentaires : production de poisson ou viande ou produits à base de poisson ou de viande	19,31	5,0%
Fabrication d'ouvrage en métaux	16,83	4,4%
Fabrication de boissons	15,19	3,9%
Industrie chimique de base	10,33	2,7%
Industrie laitière	10,09	2,6%
Industrie des oléagineux (huilerie)	8,35	2,2%
Industrie du tabac	6,10	1,6%
Fabrication pain, biscuit et pâtisserie	5,98	1,6%
Fabrication de papier et d'articles en papier	4,84	1,3%
Fabrication de machines, appareils et fournitures électriques	4,32	1,1%
Industries pharmaceutiques	3,92	1,0%
Imprimerie, édition et industries annexes	3,89	1,0%
Industrie textile (filature, tissage)	3,03	0,8%
Autres	6,22	1,6%
TOTAL	385,19	100%

Annexe 3. 4: Consommation énergétique du secteur Electricité, eau en 2018

Sous-secteurs	Cons en GWh	Pourcentage
Electricité, gaz et vapeur	10,55	5,6%
Installations de distribution d'eau et assainissement	179,06	94,4%
<b>TOTAL</b>	<b>189,61</b>	<b>100%</b>

Annexe 3. 5: Consommation énergétique du secteur Commerce, restaurants et hôtels en 2018

Sous-secteurs	Cons en GWh	Pourcentage
Commerce de produits finis (véhicule, électroménager, boutique)	19,55	20,7%
Commerce hydrocarbures, gaz	8,43	8,9%
Commerce de service (télécentre, salon de coiffure etc.)	0,57	0,6%
Restaurants, dibiterie et débits de boissons, glacier	3,49	3,7%
Hôtels, hôtels meublés et établissements analogues	62,33	66,0%
<b>TOTAL</b>	<b>94,37</b>	<b>100%</b>

Annexe 3. 6: Consommation énergétique du secteur Banques, Assurances en 2018

Sous-secteurs	Cons en GWh	Pourcentage
Etablissements financiers	24,21	40,7%
Assurances	1,67	2,8%
Affaires immobilières	3,47	5,8%
Services fournis aux entreprises (transit, manutention, logistique...)	23,98	40,4%
Location de machines et de matériel	0,16	0,3%
Services de réparation véhicule, matériel électrique, électronique, électroménager, soudeur, vulgarisateurs...)	4,93	8,3%
Blanchisserie, teinturerie	0,01	0,0%
Bureaux	0,98	1,6%
<b>TOTAL</b>	<b>59,42</b>	<b>100%</b>

Annexe 3. 7: Consommation énergétique du secteur Transports, entrepôts et communications en 2018

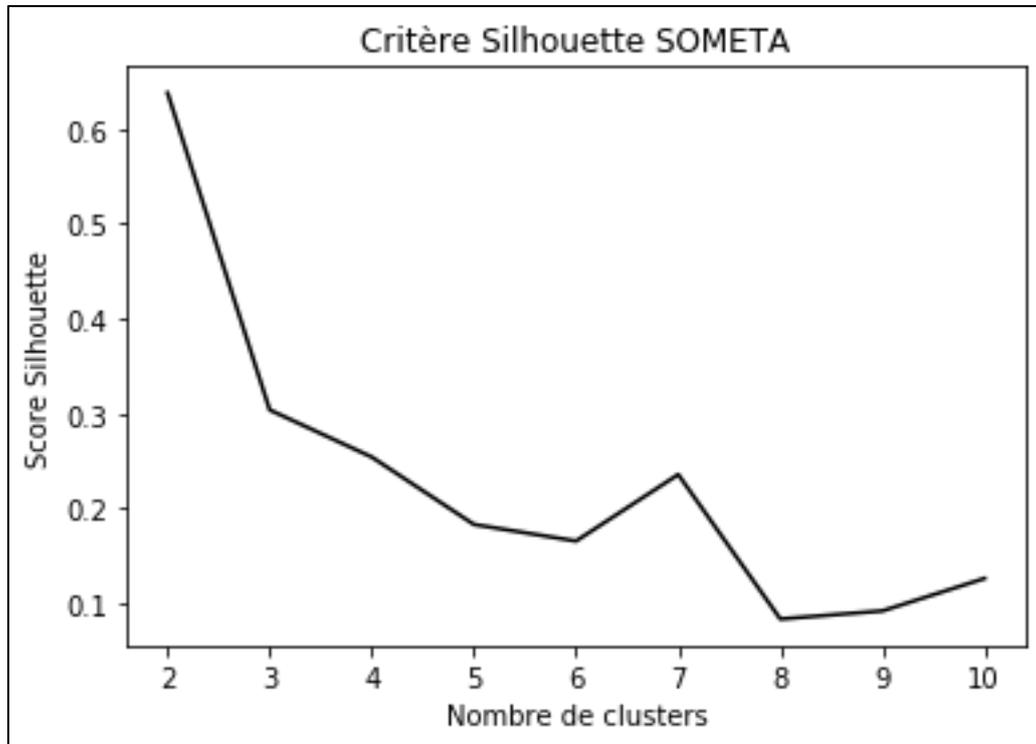
Sous-secteurs	Cons en GWh	Pourcentage
Transports par la voie terrestre (garage de transport)	1,42	1,9%
Transports par eau	4,07	5,3%
Transports aériens (agences de voyage, aéroport)	5,48	7,2%
Transport par chemin de fer	0,71	0,9%
Services auxiliaires des transports	1,03	1,3%
Communications, poste, téléphone, radio, télé	63,77	83,4%
<b>TOTAL</b>	<b>76,47</b>	<b>100%</b>

Annexe 3. 8: Consommation énergétique du secteur Services fournis à la collectivité en 2018

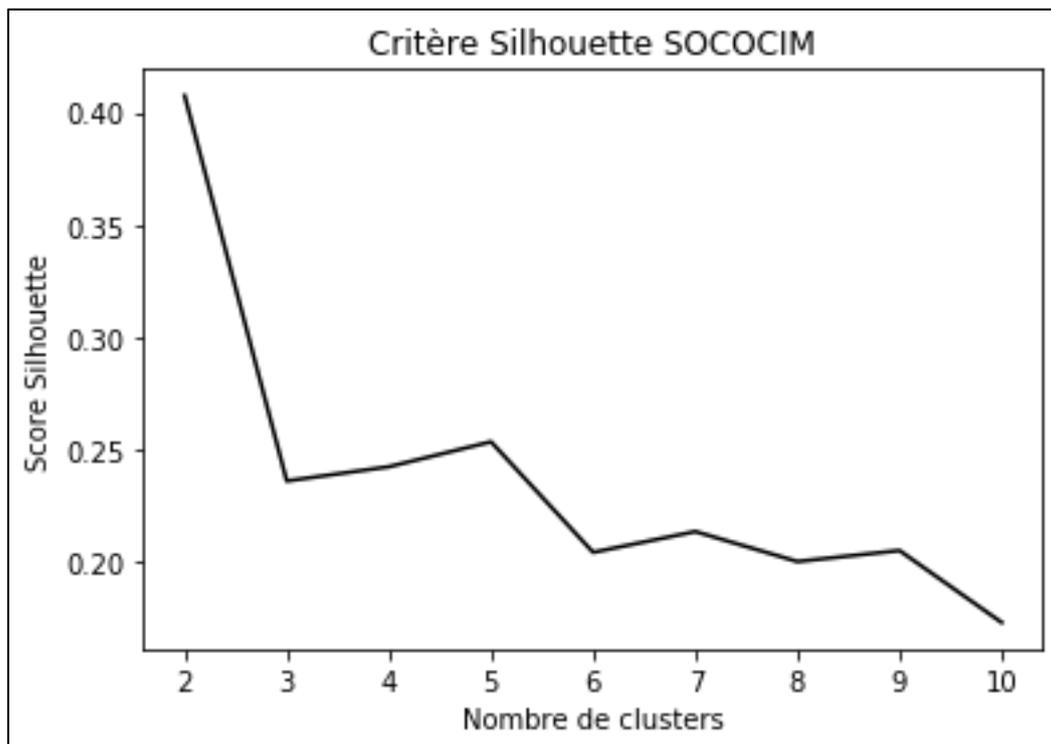
<b>Sous-secteurs</b>	<b>Cons en GWh</b>	<b>Pourcentage</b>
Administration publique et défense nationale	42,79	28,4%
Enseignement école, centre de formation	24,57	16,3%
Institutions scientifiques et centres de recherche	6,69	4,4%
Services médicaux, dentaires, pharmaceutiques, services vétérinaires etc.	42,44	28,2%
Actions sociales	1,79	1,2%
Activités religieuses : église, mosquée	1,83	1,2%
Activités culturelles : cinéma, night-club, théâtre, salles de jeu, stade...	5,98	4,0%
Organisations internationales et autres organismes extraterritoriaux	16,46	10,9%
Concessions d'électrification	7,88	5,2%
<b>TOTAL</b>	<b>150,43</b>	<b>100%</b>

## Annexe 4: Critères Silhouette des clients HTB

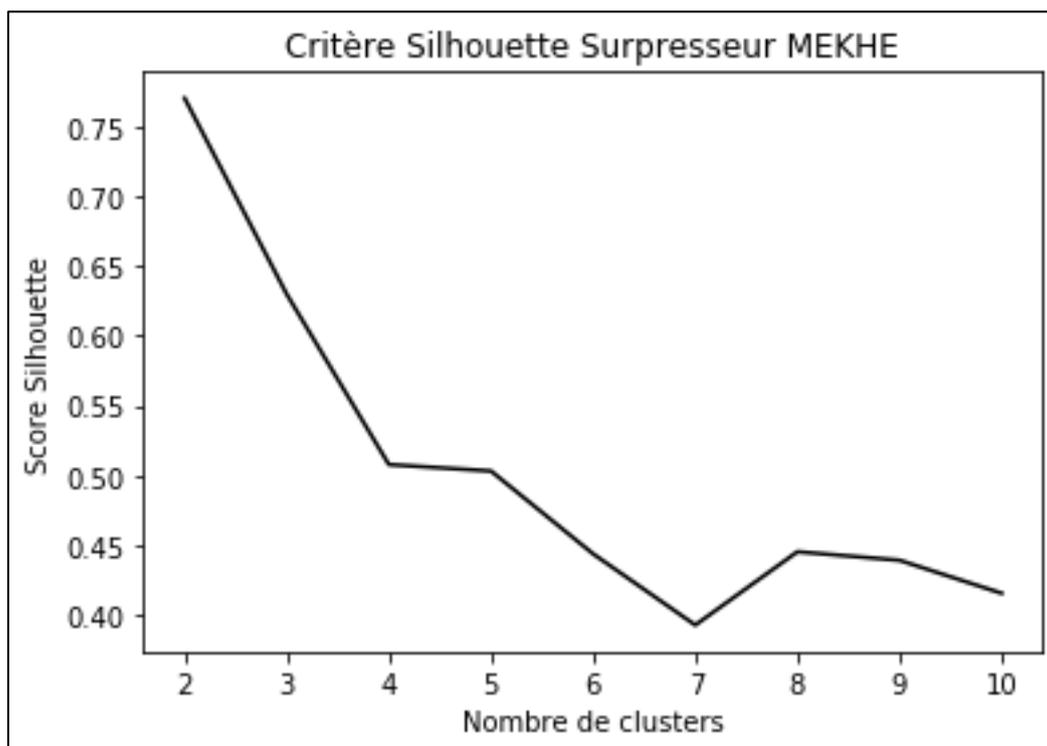
### Annexe 4. 1: Critère Silhouette de l'industrie Someta



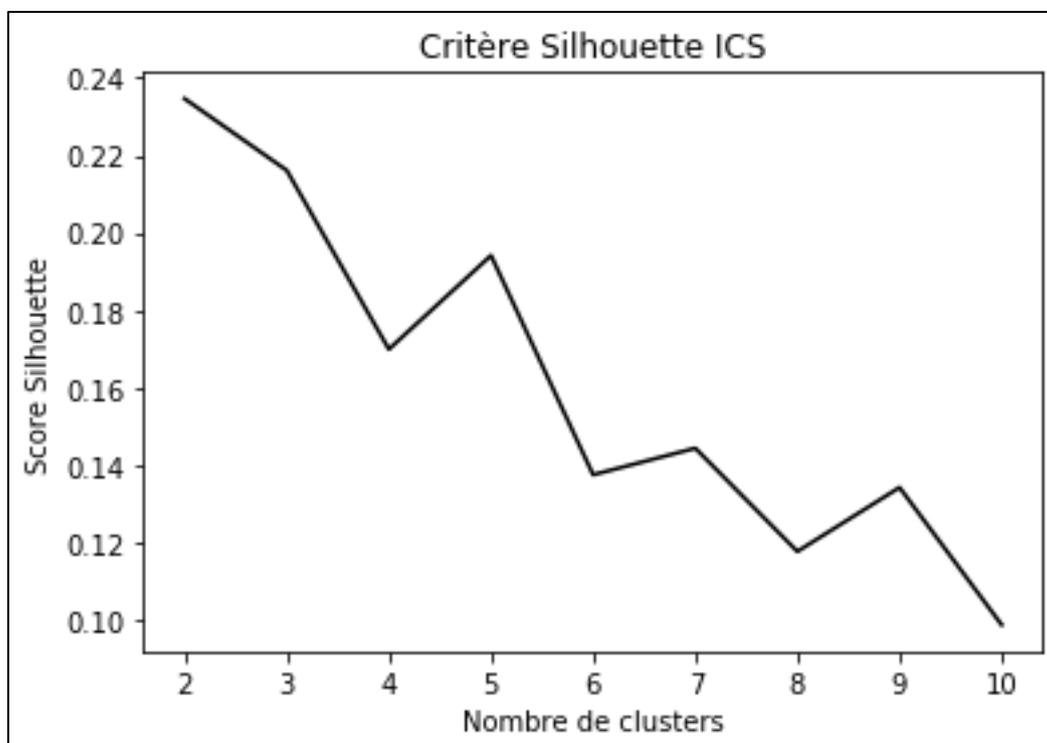
### Annexe 4. 2: Critère Silhouette de Sococim



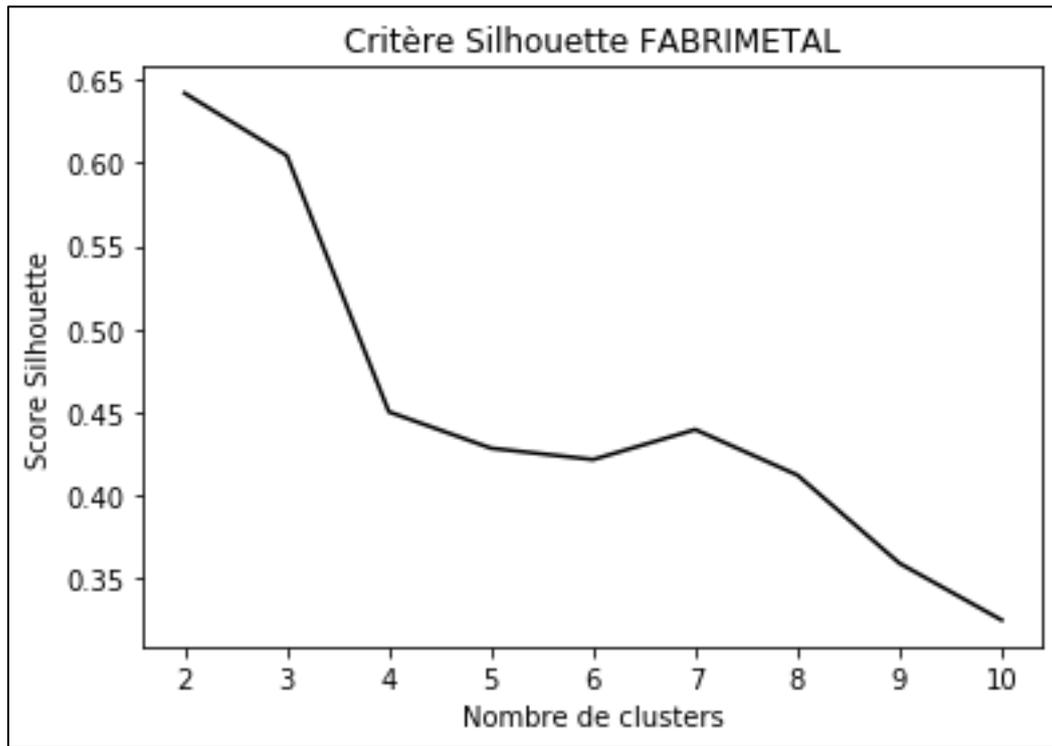
Annexe 4. 3: Critère Silhouette de la station SDE de Mékhé



Annexe 4. 4: Critère Silhouette d'ICS

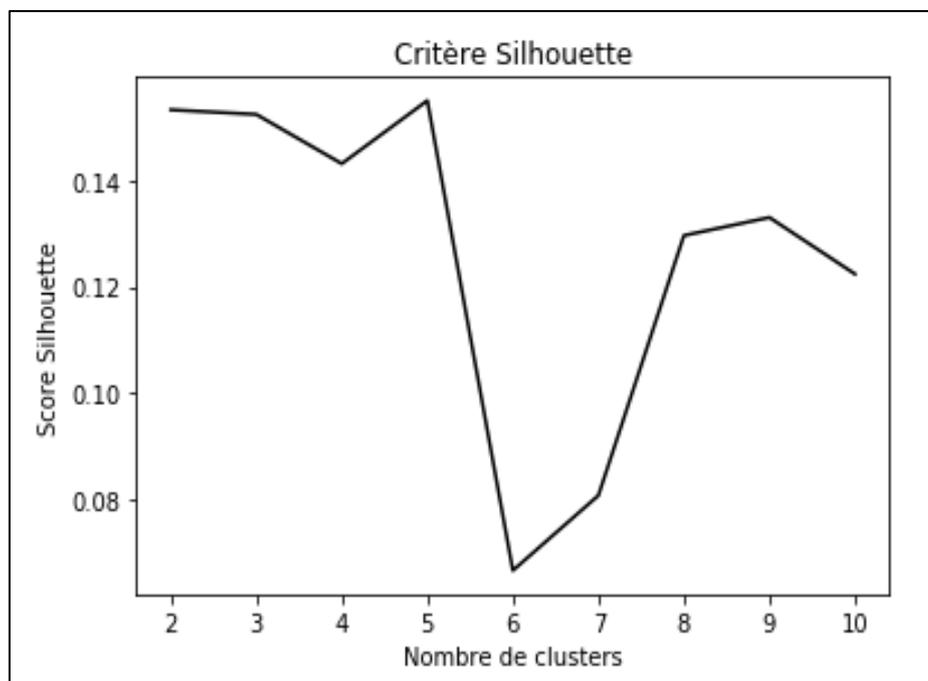


Annexe 4. 5: Critère Silhouette de Fabrimetal

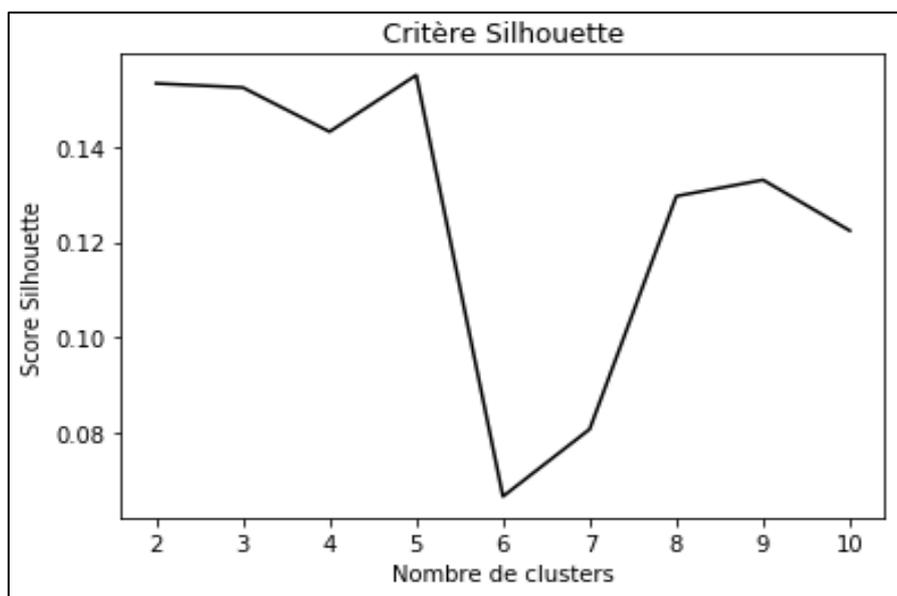


**Annexe 5: Critère Silhouette des catégories HTA et BT**

Annexe 5. 1: Critère Silhouette de la catégorie des stations de pompage



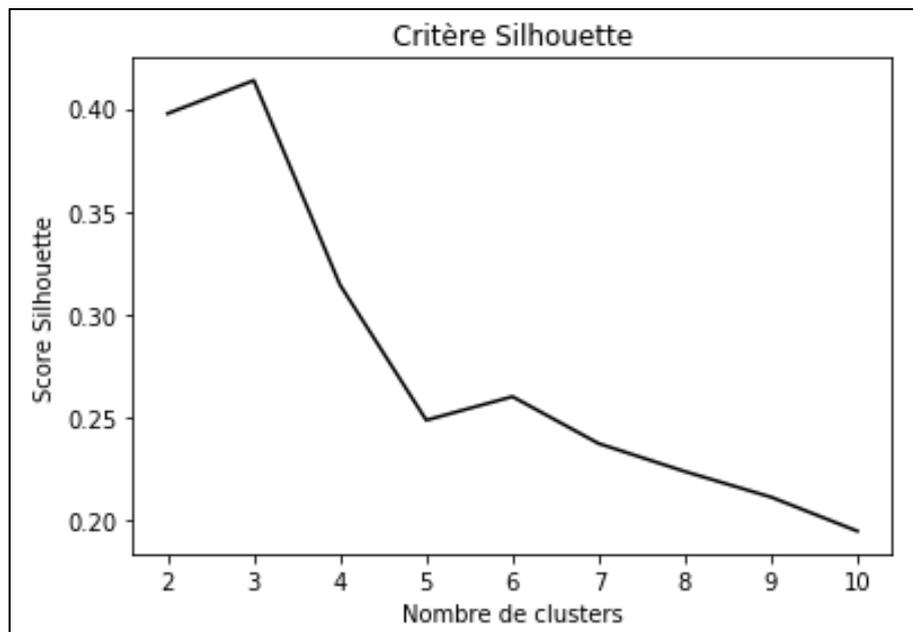
Annexe 5. 2: Critère Silhouette de la catégorie des usines d'épuration des eaux usées



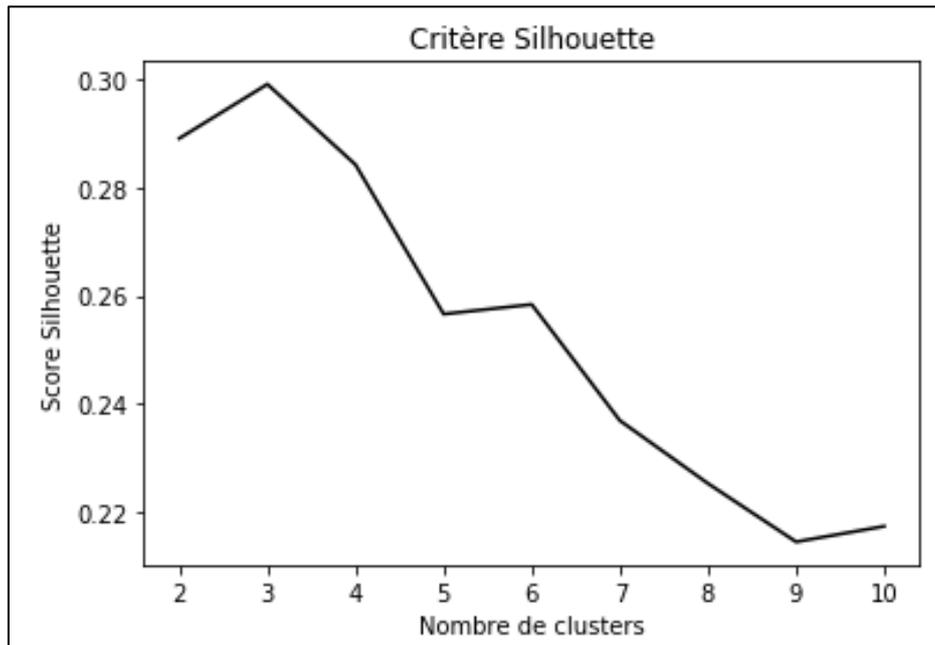
Annexe 5. 3: Critère Silhouette de la catégorie des industries rizicoles



Annexe 5. 4: Critère Silhouette de la catégorie des entreprises d'horticulture



Annexe 5. 5: Critère Silhouette de la catégorie des couvoirs



Annexe 5. 6: Critère Silhouette de la catégorie des entreprises de télécommunication

