

## **Stratégies d'intégration de la production décentralisée à base d'énergie solaire photovoltaïque dans le réseau basse tension fortement surcharge: Application au réseau de distribution BT desservi par la cabine Bosawa, Kimbanseke-Kinshasa**

### **[ Strategies for integrating decentralized production based on photovoltaic solar energy into the heavily overloaded low-voltage network: Application to the LV distribution network served by the Bosawa cabin, Kimbanseke-Kinshasa ]**

*Ndumbi Kapuku Charles and Assani Saidi*

Institut supérieur de techniques appliquées, Domiongo Kasai, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This article aims at proposing integration strategies for the photovoltaic solar power plant in a highly overloaded low voltage distribution network in order to ensure a good energy policy in the electricity distribution network of the city of Kinshasa. The application case was taken to the distribution network served by the BOSAWA booth in the MIKONDO / KIMBANSEKE district. After evaluation of the installed capacity resulting from the deficit rising to 457.82kVA; after projection of the parameters of the current network for a duration of 13 years (from 2018 to 2030) the power was estimated at 863,28kVA. The proposed system will ensure that the energy policy of the city of Kinshasa (distribution network served by the MT / BT BOSAWA substation) can encompass the three components of the operational safety, including: reliability, availability and security in supply of electrical energy in the capital of the Democratic Republic of Congo.

**KEYWORDS:** Strategies, integration, decentralized production, solar energy, photovoltaic, low voltage network, heavily, overloaded.

**RESUME:** Cet article a pour objectif la proposition des stratégies d'intégration de la centrale solaire photovoltaïque dans un réseau de distribution basse tension fortement surchargé en vue d'assurer une bonne politique énergétique (influant sur la diversification des sources primaires d'énergie pour assurer un mix énergétique équilibré et adapté aux usages, aux territoires et aux impacts sur l'environnement) dans le réseau de distribution d'électricité de la ville de Kinshasa en partant du système BT. Le cas d'application était porté au réseau de distribution desservi par la cabine BOSAWA dans le Quartier MIKONDO/KIMBANSEKE. Après évaluation de la puissance installée issue du déficit se levant à 457,82kVA; après projection des paramètres de l'actuel réseau pour une durée de 13 ans (soit de 2018 à 2030) la puissance a été estimée à 863,28kVA. Le système proposé fera que la politique énergétique de la ville de Kinshasa (réseau de distribution desservi par le poste MT/BT BOSAWA) puisse englober les trois composantes de la sûreté de fonctionnement, dont: la fiabilité, la disponibilité et la sécurité dans la fourniture d'énergie électrique dans la capitale de la république démocratique du Congo.

**MOTS-CLEFS:** Stratégies, intégration, production décentralisée, énergie solaire, photovoltaïque, réseau basse tension, fortement, surchargé.

## 1 INTRODUCTION

Le vingt et unième (XXI<sup>e</sup>) siècle signera la fin du cycle des énergies fossiles (pour la plupart de pays du monde), qui vont, progressivement, être remplacées par les énergies renouvelables décarbonées, comme le solaire. Aux côtés des grandes installations, vont voir le jour de multiples productions locales décentralisées. La transition énergétique vers une société moins dépendante des énergies fissiles et fossiles passera par une évolution de l'architecture globale du système énergétique. En effet, mal adapté en l'état à la valorisation des énergies renouvelables, le modèle de production centralisé perdra progressivement de son importance, au profit d'un modèle plus "distribué", connu sous le nom de production décentralisée.

La ville de Kinshasa est alimentée actuellement en antenne à partir des centrales hydroélectriques d'Inga 1,2 et de Zongo situées dans la province de kongo central (ex: Bas-Congo).

La pointe actuelle de la ville de KINSHASA est d'environ 690MW et la demande est estimée à 1320 MW. La demande non satisfaite est estimée à 750 MW qui constituent le déficit à satisfaire. Les centrales hydroélectriques alimentent à 80% l'ensemble de territoire national (RDC) et les centrales thermiques (groupe électrogène) dessert celui-ci à 2%. Malgré les efforts fournis par la société nationale d'électricité pour réduire le taux de perturbation traduisant une fréquence très élevée de coupures dans l'ensemble du réseau, nous constatons que le problème persiste toujours car pendant la période d'étiage (Baisse périodique des eaux ou le plus bas niveau des eaux) les exploitants cherchent à réduire la fourniture d'énergie électrique car les machines ne tourne pas à leur vitesse nominale. Tandis que pour le groupe électrogène l'approvisionnement en carburant devient une casse tête, faute de l'état des infrastructures routières d'où les stratégies d'intégration de la centrale solaire PV (ou soit mix énergétique) feront que le niveau et la qualité de la desserte en énergie électrique soit améliorée.

**Remarque:** Pour satisfaire ses besoins énergétiques, chaque pays utilise dans des proportions différentes les énergies dont il dispose (diversification): c'est ce qu'on appelle le mix énergétique.

Pour chaque région ou chaque pays, la composition du mix énergétique dépend:

- de la disponibilité des ressources exploitables sur le territoire ou de la possibilité d'en importer;
- de l'ampleur et de la nature des besoins énergétiques à couvrir;
- des choix politiques qui découlent du contexte historique, économique et social, démographique, environnemental et géopolitique.

## 2 MÉTHODES ET MATÉRIELS

La démarche méthodologique a consisté à récolter et analyser les données par rapport à la puissance issue du taux de charge de la cabine BOSAWA évalué à 172,67% (celui-ci traduit une forte surcharge du transformateur de puissance). Ces deux moyens nous ont permis à une demande de recherche à la Société Nationale d'Electricité plus précisément dans le centre de vente et service de la commune de KIMBANSEKE (SNEL). Cet échange avec les personnels exploitants de la Société Nationale d'Electricité, nous a permis de murir nos connaissances scientifiques sur la revue de la littérature. Pour la partie expérimentale, nous avons appliqué le calcul analytique manuel.

### 2.1 MATÉRIELS

Nous allons évoquer les différents problèmes relatifs aux stratégies d'intégration de la production décentralisée en base d'énergie solaire photovoltaïque (mix énergétique) dans le réseau basse tension fortement surchargé, la détermination du taux de charge (chaque départ et du poste de transformation MT/BT) et des paramètres de la centrale solaire photovoltaïque y seront évoqués.

La formulation du problème dans cet article est celle de chercher des stratégies d'intégration le générateur solaire PV au réseau BT SNEL en vue de changer la politique énergétique de la RDC en partant de la ville de Kinshasa plus précisément au quartier Mikondo dans la commune de KIMBANSEKE.

Certains règlements d'urbanisme locaux peuvent imposer des critères de performance énergétique et environnementale. Ceux-ci peuvent être insérés dans une obligation de recours aux EnR (énergie renouvelable ministère d'énergie) sur les constructions neuves, exprimée en kWh d'énergie finale / m<sup>2</sup> d'emprise au sol, sans toutefois qu'il soit spécifié la nature de l'énergie renouvelable.

## 2.2 SUJET ET MÉTHODES

Par ailleurs, pour multiplier les stratégies d'intégration de la centrale solaire PV dans le quartier Mikondo, nous avons fait recours aux indications suivantes:

- Le transformateur de puissance de la cabine Bosawa (1 x 630kva),
- Les tensions nominales (primaire et secondaire) 6,6kv/0,4kv soit 6600V/400V;
- Le taux de charge du transformateur fortement surchargé varie de 138,13% à 172,67%;
- Intensités nominales (primaire et secondaire) 55A/910A;
- La longueur de la ligne électrique BT de la cabine au dernier abonné le plus éloigné 700m,
- Le couplage Dyn;
- Le nombre des départs 10;

### PRODUCTION CENTRALISEE ET DECENTRALISEE D'ELECTRICITE

Les énergies classiques sont généralement produites de manière centralisée (peu de centrales, mais grosses): on n'imaginerait pas des barrages hydroélectriques en plaine ni des centrales nucléaires individuelles. Avec le solaire et l'éolien, une production décentralisée est en revanche possible (par ex. panneaux photovoltaïques sur le toit des maisons). Nous pouvons nous poser de questions de savoir, quels sont les avantages et inconvénients des productions centralisée et décentralisée.

Voici ce qui nous vient à l'esprit en termes d'avantages:

#### Avantages d'une production centralisée:

- meilleure rendement (photovoltaïque principalement dans le sud, éolien offshore),
- simplicité de gestion (pas de rachat, pas besoin de smart grid, etc.),
- facilité de mise en place (ressemble à la situation actuelle).

#### Avantages d'une production décentralisée:

- moins de pertes de charge (production sur place),
- moins de lignes haute tension moches et dangereuses,
- meilleure robustesse (même si un arbre tombe sur une ligne, on ne perd pas tout accès à l'électricité),
- réseau moins encombrant.

### Production décentralisée d'énergie électrique

La production décentralisée fonctionne à rebours du modèle classique, où une grande centrale alimente en énergie tout un territoire. Elle consiste en de très nombreuses petites unités de petite capacité, raccordées au réseau de distribution électrique, pour produire une énergie renouvelable et locale. Un tel mode de production est plus respectueux de l'environnement et des besoins locaux en énergie, car basé sur les énergies renouvelables.

### Solutions pour développer la production décentralisée

En collaboration avec la commission électrotechnique internationale (CEI) et d'autres innovateurs, nous préconisons la mise en place des solutions de stockage et d'effacement électrique pour remédier à l'intermittence de la production décentralisée:

- L'effacement électrique consiste pour un client à réduire sa consommation aux heures de pointe, en échange d'une contrepartie.
- Le stockage permet de conserver l'énergie renouvelable accumulée pour assurer la constance de la fourniture d'énergie. Parmi les technologies mises au point par les ingénieurs, le «Power to Gas» est une solution d'avenir. Il consiste à stocker la surproduction d'énergie renouvelable en la transformant en hydrogène ou en méthane de synthèse.

Aussi appelé production distribuée (calque de l'anglais), la production décentralisée est la production d'énergie électrique à l'aide d'installations de petite capacité raccordées au réseau électrique à des niveaux de tension peu élevée: basse ou moyenne tension.

Bien que la dénomination ne fasse pas référence à l'énergie primaire du générateur, la production décentralisée est fréquemment associée ou parfois confondue avec certains types de production électrique, notamment:

- La géothermie
- La petite hydraulique
- La biomasse
- Le solaire
- L'éolien

Elle se distingue de la production dite centralisée réalisée au moyen de grosses centrales thermiques (nucléaires ou conventionnelles) ou hydraulique, connectées à un réseau de transport et de distribution de grande ampleur, faisant le plus souvent intervenir différents acteurs au long de la chaîne de valeur.

### **Limites de raccordement**

Pour certaines applications la commission électrotechnique internationale fixe les puissances limites de référence pour chaque niveau de tension:

- BT monophasé pour une production inférieure à 18 kVA;
- BT triphasée pour une production inférieure à 250 kVA voire jusqu'à 800kVA;
- HTA pour une production inférieure à 12 MW;
- HTB au-delà.

### **Aspects techniques**

L'efficacité de la production décentralisée est directement dépendante de l'évolution des réseaux de transport d'énergie intelligents de type Smart grid, capables de gérer la variété et la variabilité des sources. En l'état actuel de la technique, la production décentralisée présente, par rapport à la production centralisée, les caractéristiques suivantes:

### **Avantages**

- Possibilité d'alimenter en électricité des sites de consommation très éloignés du réseau existant, et dont les consommations ne justifient pas des installations de production de forte puissance.
- Valorisation de sources d'énergie primaire fatale (solaire, éolien) ou dérivée (chaleur produite à d'autres fins).
- Autonomie partielle du système local en cas d'incident majeur sur le réseau.

### **Inconvénients**

- Participation faible ou nulle au réglage de la fréquence et de la tension du réseau électrique.
- Faible capacité à participer à la reconstitution du réseau, risque d'îlotage non maîtrisé.
- Pour certaines énergies comme l'éolien ou le solaire, forte intermittence, faible prévisibilité, commandabilité faible ou nulle.

### **Aspects économiques et financiers**

Les énergies décentralisées sont bien adaptées pour approvisionner les sites difficilement raccordables au réseau (sites isolés en montagne, îles...). Cependant, en l'état actuel de la technique, ces modes de production ont une rentabilité plus faible que les équipements de grande taille, pour les zones bien interconnectées au réseau.

Pour celles de ces énergies qui s'appuient sur une énergie primaire renouvelable (éolien, solaire, hydraulique), les gouvernements de la plupart des pays développés mettent en place des dispositifs d'aide dont le coût est supporté par les usagers du système électrique et ce système commence déjà à s'étendre dans les pays d'Afrique de l'ouest et du centre.

La production décentralisée ou production distribuée (calque de l'anglais "distributed generation") ne présente pas de définition universelle.

Toutefois, elle se caractérise par deux éléments structurants; Il s'agit d'une production d'énergie:

- à petite échelle
- située à proximité du consommateur final

Rappelons que la production distribuée s'oppose ainsi à la production dite centralisée, réalisée au moyen d'installations de grandes capacités (les centrales nucléaires ou les grands barrages hydroélectriques par exemple), et organisée autour de grands réseaux de transport (gazoducs, oléoducs ou liaisons très haute tension THT transfrontaliers).

### Pourquoi la production décentralisée est-elle l'avenir de la production?

La transition énergétique, que nous évoquons en introduction, est évidemment l'une des raisons de ce changement de paradigme. La grande majorité des sources d'énergie renouvelables est intrinsèquement "décentralisée" car largement répartie dans le monde. Par ailleurs, les capacités de production des installations dédiées aux ENR sont généralement bien inférieures à leurs consœurs fissiles et fossiles (centrales nucléaires, centrales à flamme ou thermique, etc.).

Cependant, cette transition annoncée n'est pas l'unique moteur du changement de paradigme productif. La continuité d'alimentation est un enjeu social et économique pour les territoires. Aux heures de pointe, la production de l'électricité par les sources d'énergie décentralisées joue un rôle très important de manière où elles injectent une quantité d'énergie en vue de palier au déficit énergétique. Une grande installation qui consomme l'énergie électrique de façon excessive, reste exposée à des risques élevés de coupure d'électricité. Le développement de la production décentralisée y est perçu comme un gage de sécurité. Plus généralement, produire localement génère de l'activité économique et améliore le « PIB » du territoire en diminuant le volume de ses « importations » d'énergie.

### Détermination des paramètres de l'ensemble du système et relevé du déficit

Ces paramètres peuvent être calculés en fonction de la charge atteinte

#### Calcul du taux de charge

Le taux de charge détermine le régime de fonctionnement d'une cabine, c'est-à-dire qu'elle fonctionne à sa charge nominale (80%) ou elle dépasse cette charge, d'où la nécessité de procéder au délestage (suppression d'une partie d'abonnés dans le réseau en vue de garantir un bon fonctionnement du système). L'actuel taux de charge de la cabine BOSAWA se présente de la manière indiquée sur le tableau 1.

Tableau 1. Relevés des valeurs de courants

phases / départs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
R	35	150	185	159	165	189	69	65	145	145	1327A
S	85	199	185	125	201	194	188	187	197	190	1751A
T	78	165	146	165	245	156	202	107	187	185	1636A
Section (mm <sup>2</sup> )	35	70	95	95	70	70	95	95	70	70	4714A
I <sub>n</sub> cable	85A	150A	180A	180A	150A	150A	180A	180A	150A	150A	

#### Calcul de taux de charge dans chaque départ

$$1) \quad I_{\text{moy}} = \frac{R+S+T}{3} \quad (1)$$

$$I_{\text{moy}} = \frac{35+85+78}{3} = 66 \text{ A}$$

$$T(x) = \frac{i_{\text{moy}}}{I_{\text{n admissible}}} \% = \frac{66 \times 100}{85} = 77,64\%$$

$$2) \quad I_{\text{moy}} = \frac{150+199+165}{3} = 171,33 \text{ A}$$

$$T(x) = \frac{171,33 \times 100}{150} = 114,22\%$$

$$3) I_{\text{moy}} = \frac{185+185+145}{3} = 175 \text{ A}$$

$$T(x) = \frac{175 \times 100}{180} = 95,56\%$$

$$4) I_{\text{moy}} = \frac{195+125+165}{3} = 149,67 \text{ A}$$

$$T(x) = \frac{149,67 \times 100}{180} = 83,15\%$$

$$5) I_{\text{moy}} = \frac{165+201+245}{3} = 203,67 \text{ A}$$

$$T(x) = \frac{203,67 \times 100}{150} = 135,78\%$$

$$6) I_{\text{moy}} = \frac{189+194+156}{3} = 179,67 \text{ A}$$

$$T(x) = \frac{179,67 \times 100}{150} = 119,78\%$$

$$7) I_{\text{moy}} = \frac{69+188+202}{3} = 153 \text{ A}$$

$$T(x) = \frac{153 \times 100}{180} = 85\%$$

$$8) I_{\text{moy}} = \frac{R+S+T}{3} = \frac{65+187+107}{3} = 119,66 \text{ A}$$

$$T(x) = \frac{119,66 \times 100}{180} = 66,48\%$$

$$9) I_{\text{moy}} = \frac{145+197+187}{3} = 176,33 \text{ A}$$

$$T(x) = \frac{176,66 \times 100}{150} = 117,55\%$$

$$10) I_{\text{moy}} = \frac{165+190+185}{3} = 180 \text{ A}$$

$$T(x) = \frac{180 \times 100}{150} = 120\%$$

$$I_{\text{moy}} = \frac{1327+1751+1636}{3} = 1571,33 \text{ A}$$

$$T(x) = \frac{I_{\text{moy}}}{I_{\text{in transfo}}} \% \quad (2)$$

$$= \frac{1571,33 \times 100}{910} = 172,67\%$$

Le taux de charge peut se calculer encore en fonction de 80% tel que recommandé par la norme de la CEI.

$$T(x) = \frac{1571,33 \times 80}{910} = 138,13\%$$

Le taux de charge de cette cabine est de l'ordre de 172,67% qui dépasse très largement la valeur conventionnelle prévue qui nous donne 138,13%.

Cependant face à tous ces problèmes évoqués liés à une charge exagérée dans le poste MT/BT de BOSAWA, nous proposons directement des solutions en vue d'améliorer la desserte en énergie électrique dans la ville de Kinshasa tout en agissant sur sa

politique énergétique (La **politique énergétique** est la politique adoptée par une entité vis-à-vis de la gestion de l'énergie. Elle a notamment une dimension géopolitique).

### Calcul de deux puissances apparentes issues de deux taux de charge à 80% et à plus de 100% (à surcharge)

Pour déterminer les deux puissances issues de deux taux de charge, nous pouvons appliquer la formule ci-dessous:

$$S (tx) = S_n \times tx/100 \quad (3)$$

- S (tx): la puissance apparente issue de taux de charge (kVA)
- S<sub>n</sub>: puissance apparente nominale (kVA)
- Tx: taux de charge (%)

$$S (tx) 1 = 630 \times 172,67/100$$

$$S (tx) 1 = 1087,82 \text{ kVA}$$

Par rapport à 80%

$$S (tx) = 630 \times 138,13/100$$

$$S (tx) 2 = 870 \text{ kVA}$$

La puissance apparente excédentaire issue de ce taux de charge est de:

$$S_{exc} (tx) = S (tx) 1 - S (tx) 2 \quad (4)$$

Or S<sub>exc</sub> (tx): la puissance apparente excédentaire issue du taux de charge de la dite cabine (kVA).

$$S_{exc} (tx) = 1087,82 \text{ kVA} - 870 \text{ kVA}$$

$$S_{exc} (tx) = 217,82 \text{ kVA}$$

La projection et dimensionnement de la centrale solaire PV se fera en fonction de la puissance restante ou excédentaire obtenue en tenant compte du taux de charge le plus élevé soit: 172,67% pour une puissance de 457,82kVA (obtenue de la manière suivante: 1087,82-630 qui donne 457,82kVA).

**Tableau 2. Etat de lieux des paramètres électriques du réseau de distribution BOSAWA**

N°	Puissance nominale de la cabine	Taux de charge recommandé	Puissance issue du taux de charge la plus élevé	Taux de charge (fortement surchargé)	Nombre des départs BT	Puissance du déficit
1	630kVA	80%	1087,82kVA	172,67%	10	457,82kVA

### Calcul de la puissance apparente future

$$\text{On sait que } S_f = S_o (1+a)^t \quad (5)$$

- S<sub>f</sub>: Puissance apparente future (kVA)
- S<sub>o</sub>: Puissance apparente initiale (kVA)
- a: taux d'accroissement (%)
- t: nombre d'années de projection (durée de projection)

Calculons  $t \rightarrow t = t_f - t_0$  (6)

D'où:  $t_f = 2030$

$t_0 = 2018$

$t_f = 2030 - 2018$

$t = 13$  ans

$S_f = 457,82 (1+0,05)^{13}$

$S_f = 863,28$  kVA

### **Dimensionnement d'un système photovoltaïque à connecter au réseau électrique**

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque est essentiel pour son bon fonctionnement et pour la satisfaction de l'utilisateur.

Les méthodes de dimensionnement diffèrent essentiellement selon le type de raccordement, c'est à dire si le système est connecté au réseau électrique (réseau public SNEL ou autre) ou s'il en est indépendant ou "isolé".

Dans tous les cas il est nécessaire de connaître:

1. le besoin, la démarche
2. Le gisement d'énergie solaire du lieu concerné
3. le choix des modules photovoltaïques, leur implantation et la structure support
4. le choix des composants électriques assurant la régulation et la protection du système et des usagers
5. la mise en œuvre: câblage, maintenance

Le dimensionnement est facilité par différents outils logiciels plus ou moins gratuits et plus ou moins performants. Pour pouvoir dimensionner un générateur photovoltaïque connecté au réseau ou un générateur photovoltaïque isolé (ou éventuellement hybride)

### **Système photovoltaïque connecté au réseau: principe et types de raccordement**

Un système photovoltaïque connecté au réseau est raccordé au réseau de distribution d'électricité doit comprendre les principaux composants:

1. panneaux photovoltaïques;
2. un ou plusieurs coffrets de protection électrique coté courant continu "coffrets DC", ils contiennent des fusibles, interrupteurs sectionneurs, parafoudres;
3. des câbles solaires;
4. un ou plusieurs onduleurs qui convertissent l'énergie continue en courant alternatif synchronisé au réseau (220V, 50 Hz pour le réseau de distribution de Kinshasa);
5. un coffret de protection coté alternatif "coffret AC" avec disjoncteur et parafoudre;
6. Eventuellement un système de supervision et surveillance

### **Différents modes de raccordement du système au réseau de distribution**

Il existe deux types de raccordements au réseau, à savoir:

- Connexion avec injection de la totalité de la production photovoltaïque;
- Connexion avec injection du "surplus" de la production photovoltaïque.

Il existe aussi les systèmes connectés au réseau "sécurisés" équipés d'un système de stockage (batterie d'accumulateurs) auquel est connecté l'onduleur qui peut alimenter directement le circuit en aval du compteur électrique de la maison ou du bâtiment concerné.

**Détermination des paramètres de la centrale PV devant être connecté au réseau de distribution**

On sait que,  $P=S \times \cos\phi$  (7)

$$=863,28 \times 0,8$$

$$P=690,62kW \text{ soit } 690620 \text{ W}$$

Considérons le temps que notre système sera connecté au réseau à cinq (5) heures soit de 13h à 17h. Il ya possibilité de l'intégrer même avant ou après midi, car il n'y a pas le stockage pouvant servir d'autonomie pendant la nuit.

**a. Déterminons l'énergie à consommer (Ec)**

$$E_c = P \times t \quad (8)$$

D'où  $E_c$ : énergie à produire (Wh);  $P$ : la puissance installée (W);  $t$ : temps (h)

$$E_c = 690620 \times 5$$

$$E_c = 3453100Wh$$

**b. Détermination de l'énergie à produire (Ep)**

$$E_p = E_c / k \quad (9)$$

D'où  $k$ : représente le coefficient de module dont la valeur est 0,43

$$E_p = 3453100 / 0,43$$

$$E_p = 8030465,1Wh/j$$

**c. Détermination de la puissance crête (Pc)**

$$P_c = E_p / I_r \quad (10)$$

Avec  $I_r$ : irradiation ou ensoleillement moyen dont la valeur est estimée à  $4,614kWh/m^2/j$

$$P_c = 8030465,1 / 4,614$$

$$P_c = 1740456,2Wc$$

**d. Détermination de nombre de panneaux solaires (Np)**

Le choix de la puissance unitaire de panneau est de 400Wc, 48V.

$$N_p = P_c / P_u \quad (11)$$

D'où  $N_p$ : nombre de panneaux solaires,  $P_c$ : puissance crête (Wc),  $P_u$ : puissance unitaire de panneau (Wc).

$$N_p = 1740456,1 / 300$$

$$N_p = 5802$$

**d.1. Nombre de modules en série**

Soit  $N_{ms}$  le nombre de modules en série.

$$N_{ms} = \frac{U_n}{U_m} \quad (12)$$

Avec:  $U_n$ : tension nominale du champ solaire PV,  $U_n=400V$  DC

$U_m$ : La tension nominale du module choisi est de 24 V DC).

**Dans ces conditions,**

$$N_{ms} = \frac{400}{24} = 17 \text{ Modules PV de } 300 \text{ Wc}$$

#### **d.2. Nombre de strings de modules en parallèle**

Soit  $N_{smp}$  le nombre de strings de modules en parallèle.

$$N_{smp} = \frac{N_{min}}{N_{ms}} \quad (13)$$

Avec ( $N_{min}$ : Nombre minimal de modules PV) et ( $N_{ms}$ : Nombre de module en série).

$$N_{smp} = \frac{5802}{17} = 342 \text{ Strings de modules PV de } 300 \text{ Wc en parallèle.}$$

**Constat :**

Le nombre maximal de modules étant:

$$N_{max} = N_{ms} \times N_{smp} \quad (14)$$

$$N_{max} = 17 \times 342 = 5814 \text{ Modules PV de } 300 \text{ Wc.}$$

#### **e. Calcul de la puissance de l'onduleur (kVA)**

Connaissant  $S = 863,28 \text{ kVA}$

$$S (\text{onduleur}) = S \times k \quad (15)$$

$$S = 863,28 \text{ kVA} \times 1,2$$

$S = 1036 \text{ kVA}$  soit  $1100 \text{ kVA}$  valeur normalisée de la puissance; Coté DC:  $400V$ ; AC:  $400V$  ( $380V$ ) et  $220V$ .

Le nombre des onduleurs est donné à partir de la relation ci – après:

$$N_{onPh} = \frac{P_p}{P_o} \quad (16)$$

Avec :

- $N_{onPh}$ : Nombre des onduleurs Photovoltaïques;
- $P_p$ : Puissance de pic des onduleurs;
- $P_o$ : Puissance de l'onduleur.

$$N_{onPh} = \frac{1036}{25} = 41,44 \text{ environs } 42 \text{ onduleurs auxiliaires de } 25 \text{ kVA.}$$

### Exemples de méthodes d'intégration

Chaque chaîne si elle est composée au minimum de 4 modules et au maximum de 12 modules en série, on aura une intégration telle que:

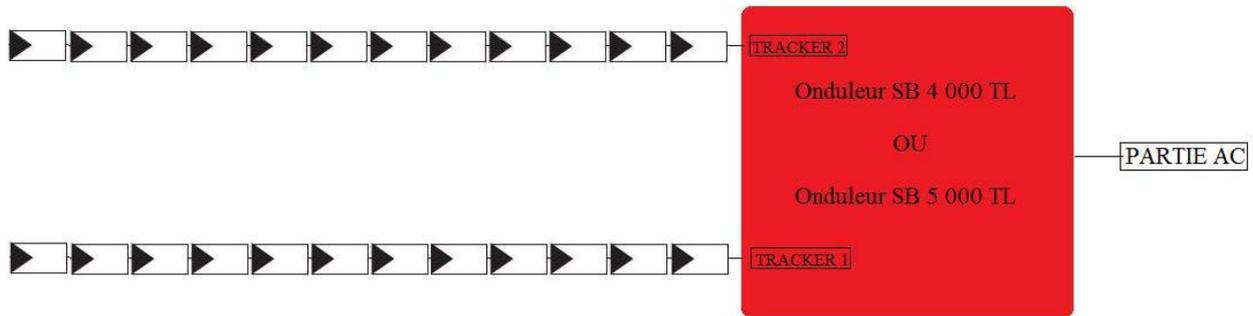


Fig. 1. Configuration maximale des modules par tracker

Soit encore

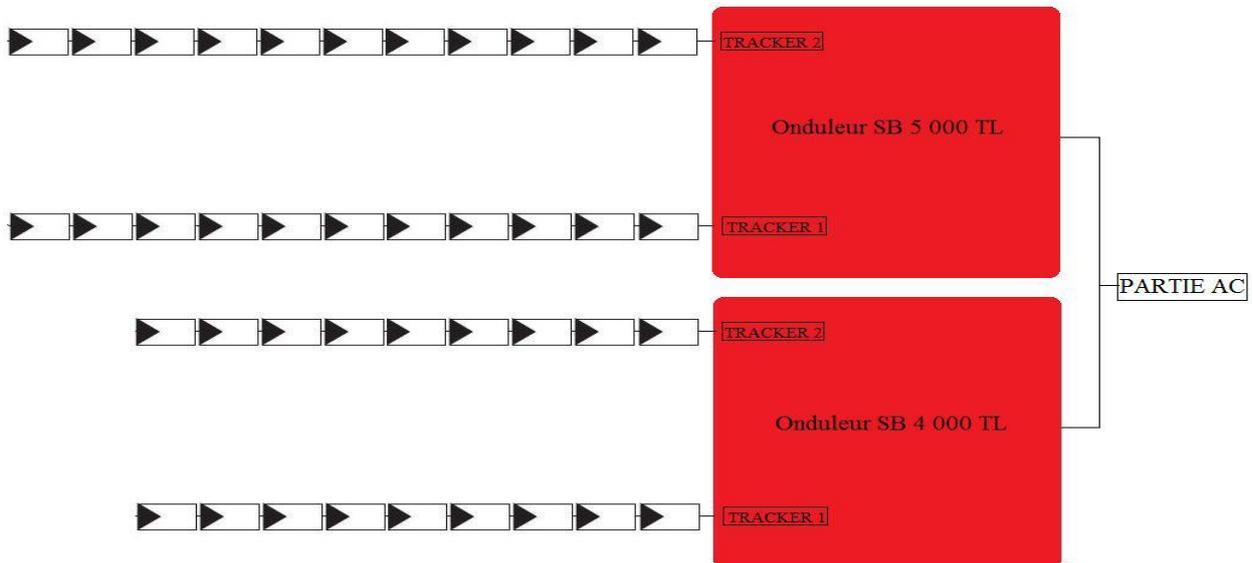


Fig. 2. Schéma électrique de l'installation

### Interprétation des résultats

Notre système proposé est constitué de:

- 5802 panneaux solaires de 300Wc 24V;
- 1 onduleur principal de 1100kVA;
- 42 onduleurs PV de 25kVA, D.C, 400V AC, 3 phases+N+T, 50HZ;
- Ceci pour compenser à un déficit de 863,28kVA jusqu'à l'horizon 2030, une possibilité et d'intégrer cette centrale à proximité du poste de distribution MT/BT tout en visant une synchronisation de phases entre le réseau normal (SNEL) et la dite centrale;
- Nous optons pour deux stratégies principales, soit par l'utilisation d'un onduleur principal ou soit encore par plusieurs (44) onduleurs de 25kVA mais le champ PV reste constant

### **3 CONCLUSION**

Au terme de notre étude portant sur les stratégies d'intégration de la centrale solaire PV dans le réseau BT fortement surchargé, nous avons montré l'état actuel du réseau de distribution desservi par le poste MT/BT BOSAWA en partant du taux de charge qui est le paramètre clé. Afin nous sommes procédé au dimensionnement de paramètres de la centrale solaire PV en vue d'intégrer notre système au réseau BT. Nous restons ouverts aux remarques et suggestions en vue d'améliorer cet article néanmoins il donne une ouverture dans le domaine des réseaux électriques.

### **REMERCIEMENTS**

Nous remercions le professeur BANDEKELA KAZADI André pour le conseil et soutien dans la réalisation de cet article. Nous sommes redevable à madame NGALULA Horline pour ses encouragements; sans oublier nos enfants NTUMBA NDUMBI Orcharlene et Charvie TSHALU NDUMBI.

### **REFERENCES**

- [1] Centre national d'information et de ressources sur le photovoltaïque [archive] (France).
- [2] Comment mener à bien son projet photovoltaïque [archive], [PDF].
- [3] Le guide du photovoltaïque [archive]. La Librairie des énergies renouvelables (composants, logiciels, fixation, intégration, site isolé, mise en service, exploitation, marché, économie, écologie, marketing), version septembre 2014.
- [4] Carte des installations d'électricité d'origine photovoltaïque en France et données de production [archive].
- [5] Rapport mensuel de la snel, 2018.
- [6] Le photovoltaïque est loin d'être mort [archive] 2013.
- [7] Guide des producteurs d'électricité d'origine photovoltaïque [archive], [PDF].
- [8] Baromètre photovoltaïque EurObserv'ER [archive] - 2013 [PDF].
- [9] Notes de cours de PTDEE NDAYE B. 2017.
- [10] Notes de cours schemas electriques Yaba L, 2018.
- [11] Choix d'un transformateur HTA/BT MELEC, version avril 2016.
- [12] J.L Lilien « Manuel de travaux pratique, transport et distribution de l'énergie électrique », université de liège, Belgique, 1999 -2000.