

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Réseau électrique

Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme :

MASTER

Thème

**Impact de l'intégration des
sources distribuées dans les
réseaux de distribution**

Présenté par :
HEBBAZ Walid
Soutenu le : 02 Juin 2015

Devant le jury compose de :

Me. BECHA Habiba

Mr. MAHDAD Belkacem

Mr. SALHI Ahmed

M.A.A

M.C.B

M.A.A

President

Encadreur

Examineur

Année universitaire : 2014 / 2015

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Réseau électrique

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme :

MASTER

Thème

Impact de l'intégration des sources distribuées dans les réseaux de distribution

Présenté par :

HEBBAZ Walid

Avis favorable de l'encadreur :

Dr. MAHDAD Belkacem

Avis favorable du Président du Jury

Me. BECHA Habiba

Cachet et signature



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Réseau électrique

Thème :

Impact de l'intégration des sources distribuées dans les réseaux de distribution

Proposé par : HEBBAZ Walid

Dirigé par : Dr. MAHDAD Belkacem

RESUME

Le rôle principal de l'expert chargé de la gestion des réseaux de distribution est d'assurer l'alimentation des consommateurs avec une qualité d'énergie conformes aux normes techniques de base. L'intégration des sources distribuées (solaire, éolienne..) permettent l'amélioration de la qualité de l'énergie fournie aux consommateurs particulièrement dans les cas critiques tels que le surcharge ou les défauts.

D'autre part des problèmes d'ordre techniques et économique se posent qui nécessitent l'analyse détaillé de ces réseaux du point de vue exploitation et protection afin d'assurer la fourniture de l'énergie aux abonnés selon les normes techniques de base. Ce projet de fin d'étude sera consacré à l'analyse des réseaux de distribution en présence des sources distribuées par l'élaboration d'un programme de calcule généralisé.

L'efficacité de la méthode proposée sera validée sur des réseaux de distribution test typique.

ملخص:

إن الدور الرئيسي للمتخصصين في استغلال وتسيير شبكات التوزيع الكهربائية يكمن في ضمان التغذية الكهربائية للمستهلكين وفق نوعية للطاقة متوافقة والمقاييس التقنية. إن إدماج مصادر الطاقة المتجددة في شبكات التوزيع يسمح بتحسين نوعية الطاقة المستهلكة من طرف المستهلكين في حالة التزايد على طلب الطاقة او في حالة حدوث مشكل تقني في الشبكة.

من الجانب التقني والاقتصادي للمشكل نحتاج الى تحليل دقيق للشبكة المستعملة وهذا لضمان التغذية الطاقوية للمستهلكين ضمن معايير الطاقة. نتعرض من خلال هذا المشروع إلى دراسة تحليل شبكة التوزيع الكهربائية مع مراعاة إدماج مصادر الطاقة البديلة من خلال انجاز برنامج شامل للحساب.

Remerciement

En premier lieu, je tiens à remercier «DIEU» qui m'a aidé pour que ce modeste travail soit achevé et pour que nous avons réussi. Et tenons à remercier vivement tous ceux qui nous a orientées et nous a encouragées. Et pensons en particulier à notre encadreur **MAHDAD Belkasem**, d'avoir a bien suivi et dirigé notre travail et de faire profiter de son savoir, ainsi de ses conseils, et pour toute l'aide, les remarques constructive qui de ont d'améliorer ce travail, et qui grâce à lui avons pu réaliser l'objectif. Et précieux remerciements vont au président et membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptent de juger ce travail. Et grands remercient aussi à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation à l'institut d'électrotechnique de Biskra. En fin, je remercie nos amis pour leur aide, leur soutien et leur compréhension.



Je dédie ce modeste travail :

A mon cher père

Tes conseils m'ont suivi permis d'atteindre le bout du chemin.

A ma chère mère

Si je suis arrivée là, c'est bien grâce à toi. Que dieu te donne longue vie

et te protège pour moi.

A mes frères que j'adore :

Abed-elnnour et Takai-edin

A mes belles sœurs :

Rahima, Radja, Housna, Youmna, Latifa,

Djoumana et Doâa. Que dieu vous préserve

A toute ma famille sans exception.

A tous mes camarades

H. Walid

List de figure

Titre de figure :	Page :
Figure I.1 : <i>Structure d'un système énergétique</i>	(3)
Figure I.2 : <i>Architecture générale de réseaux d'énergies électrique</i>	(4)
Figure I.3 : <i>structure topologique des réseaux</i>	(6)
Figure I.4 : <i>schéma d'un Réseau radial</i>	(7)
Figure I.5 : <i>schéma d'un Réseaux bouclés</i>	(8)
Figure I.6 : <i>schéma d'un Réseaux maillés</i>	(9)
Figure I.7 : <i>Structure générale d'un réseau de distribution</i>	(12)
Figure I.8 : <i>alimentation simple antenne d'un poste de livraison HTB</i>	(14)
Figure I.9 : <i>alimentation double antenne d'un poste de livraison HTB</i>	(15)
Figure I.10 : <i>Architecture double antenne-double jeu de barres</i>	(16)
Figure I.11 : <i>Architecture d'un jeu de barres avec une source</i>	(17)
Figure I.12 : <i>Architecture d'un jeu de barres sans couplage avec deux sources</i>	(18)
Figure I.13 : <i>Architecture de deux jeux de barres avec couplage et deux sources</i>	(18)
Figure I.14 : <i>Architecture d'un jeu de barres sans couplage avec trois sources</i>	(19)
Figure I.15 : <i>Architecture de trois jeux de barres avec couplages et trois sources</i>	(19)
Figure I.16: <i>Schémas de neutre en basse tension</i>	(22)
Figure II.1. <i>Schéma bloc d'un générateur Diesel avec ses contrôleurs</i>	(25)
Figure II.2. <i>Principe (a) et cycle thermodynamique (b) d'une turbine à gaz (deux phases adiabatiques et deux phases isobares)</i>	(26)
Figure II.3. <i>Modèles électriques de batteries : a) modèle idéal ; b) modèle linéaire ; c) modèle de Thevenin</i>	(27)
Figure II.4. <i>Structure d'un volant d'inertie</i>	(28)
Figure II.5. <i>Modèle d'un supercondensateur</i>	(29)
Figure II.6. <i>Rapport entre la densité d'énergie et la densité de puissance des systèmes de stockage analysent</i>	(30)
Figure II.7. <i>Différents types de systèmes éolien : a) système éolien a vitesse fixe avec machine asynchrone a cage ; b) système éolien a vitesse variable avec machine asynchrone a doublé alimentation ; c) système éolien a vitesse variable avec machine synchrone a inducteur bobine ou a aimants</i>	(31)

Figure II.8. Courbes puissance/vitesse du vent typiques pour une turbine à vitesse constant contrôle par décrochage aérodynamique (trait discontinu) et pour une turbine à vitesse variable contrôle par angle de calage variable (trait continu).....	(33)
Figure II.9. Diamètre moyen des pales en fonction de la puissance électrique	(33)
Figure II.10. Schéma de principe d'une cellule photovoltaïque.....	(34)
Figure II.11. Schéma bloc d'un générateur photovoltaïque.....	(35)
Figure II.12. Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	(35)
Figure III.1 : Modèles d'un générateur.....	(39)
Figure III.2 : Schéma en pi d'une ligne de transmission.....	(40)
Figure III.3 : Modèle de la charge électrique.....	(40)
Figure III.4 : schéma unifilaire de réseau radial.....	(41)
Figure III.5 : les puissances actives dans le réseau radial.....	(43)
Figure III.6 : Différentes méthodes de résolution du problème de la répartition des charges.....	(44)
Figure III.7 : Organigramme de la méthode Gauss-Seidel.....	(46-47)
Figure III.8 : Représentation géométrique de la méthode de N-R.....	(48)
Figure III.9 : Organigramme de la méthode de N-R.....	(50)
Figure III.10 : Transite de puissance d'une ligne de transmission.....	(52)
Figure III.11 : réseau radial simple a deux jeux de barres.....	(52)
Figure III.12 : l'organigramme de la méthode spéciale.....	(55)
Figure IV.1 : Schéma unifilaire du réseau radial.....	(57)
Figure IV.2. Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 1 :.....	(58)
Figure IV.3 : Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 2.....	(59)
Figure IV.4 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 3.....	(60)
Figure IV.5 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 4.....	(60)
Figure IV.6 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 5.....	(61)
Figure IV.7 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 6.....	(61)
Figure IV.8 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 7.....	(62)
Figure IV.9 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 8.....	(62)
Figure IV.10 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 9.....	(63)
Figure IV.11 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 10.....	(63)
Figure IV.12 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 11.....	(64)
Figure IV.13 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 12.....	(64)
Figure IV.14 : comparaison des tensions aux niveaux des JB pour SD=1MW.....	(66)
Figure IV.15 Variation des pertes actives totale en fonction des puissances générées des SD.....	(67)

Figure IV.16 <i>Variation du cout des pertes d'énergie en fonction de l'emplacement des sources distribuées et les puissances générées.</i>	(68)
Figure IV.17 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 :</i>	(70)
Figure IV.18 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 2</i>	(71)
Figure IV.19 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 3</i>	(72)
Figure IV.20 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 4</i>	(72)
Figure IV.21 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 5</i>	(73)
Figure IV.22 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 6</i>	(73)
Figure IV.23 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 7</i>	(74)
Figure IV.24 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 8</i>	(74)
Figure IV.25 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 9</i>	(75)
Figure IV.26 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 10</i>	(75)
Figure IV.27 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 11</i>	(76)
Figure IV.28 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 12</i>	(76)
Figure IV.29 : <i>comparaissent entre les tensions à niveau des jeux de barres pour SD=1MW</i>	(78)
Figure IV.30 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : compensation au JB 8</i>	(80)
Figure IV. 31 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 2</i>	(81)
Figure IV.32 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 3</i>	(81)
Figure IV.33 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 4</i>	(82)
Figure IV.34 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 5</i>	(82)
Figure IV.35 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 6</i>	(83)
Figure IV.36 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 7</i>	(83)
Figure IV.37 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 8</i>	(84)
Figure IV.38 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 9</i>	(84)
Figure IV.39 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 10</i>	(85)
Figure IV.40 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 11</i>	(85)
Figure IV.41 <i>Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 12</i>	(86)
Figure IV.42 <i>Comparaison entre les tensions aux niveaux des jeux de barres pour le cas normale et avec considérable de compensation shunt</i>	(87)
Figure IV.43 : <i>Schéma unifilaire du réseau radial</i>	(88)
Figure IV.44 : <i>comparaison a niveau de la tension entre le cas normal et avec consécration de bon placement de SD</i>	(91)

List de tableau

Titre de tableau :

Page :

Tableau I.1 : <i>niveaux de tension d'alimentation en fonction de la puissance souscrite</i>	(13)
Tableau I.2 : <i>Régimes de neutre et schémas de raccordement</i>	(20)
Tableau II.1 : <i>Répartition de la production mondiale d'électricité d'origine renouvelable</i>	(24)
Tableau II.2. <i>Principales caractéristiques des systèmes de stockage analysent</i>	(29)
Tableau II.3 : <i>Puissance installée en utilisant l'énergie photovoltaïque</i>	(36)
Tableau IV.1 : <i>caractéristiques techniques des branches : réseau test 12 _Bus</i>	(58)
Tableau IV.2 : <i>les pertes actives totales</i>	(65)
Tableau IV.3 : <i>Comparaison des pertes et coût engendré sans SD et avec SD</i>	(68)
Tableau IV.4 : <i>Comparaison du coût total en fonction de placement et la capacité des SD</i>	(69)
Tableau IV.5 : <i>comparaison des pertes : cas normal, cas avec augmentation de la charge</i>	(77)
Tableau IV.6 : <i>le Coût des pertes totales</i>	(79)
Tableau IV.7 : <i>Comparaison du coût total en fonction de placement et la capacité des SD, Cas avec augmentation de la charge</i>	(79)
Tableau IV.8 <i>Comparaison des pertes actives engendrées : cas normal, et avec intégration des SD en coordination avec la compensation shunt</i>	(86)
Tableau IV.9 : <i>caractéristiques techniques des branches et des charges : réseau test 20 _Bus</i>	(89)
Tableau IV.10 : <i>Les pertes totales avec les tensions minimales pour chaque placement des SD</i>	(90)

Liste des Symboles et Acronymes :

Symboles	Acronymes
THT	Trié hot tension
HT	Hot tension
MT	Moyenne tension
BT	Base tension
TBT	Trié base tension
E_{cin}	L'énergie stockée en volants d'inertie
J_v	Le moment d'inertie du volant
Ω_v	La vitesse de rotation d'un volant d'inertie
E_{et}	L'énergie stockée dans le supercondensateur
C_{sc}	la capacité du condensateur de stockage
V_{sc}	la tension aux bornes du condensateur
P_t	la puissance extraite du vent (W)
ρ	la densité de l'air (kg/m^3)
π	3.14
R	le rayon de la turbine éolienne (m)
V_v	la vitesse du vent, (m/s)
C_p	le coefficient de puissance
λ	le rapport de vitesse
θ	l'angle de calage des pales ($^\circ$)
I_i	Courant transite
i	Courant de charge
V	La tension (Kv)
l	La longueur (Km)
r_i	Résistance linéique
R_i	Résistance du linge (Ω)
ΔV	La chute de tension (Kv)
Y_{bus}	Maitrise d'admittance
P	La puissance active (Kw)
Q	La puissance réactive (VAR)
ΔP	Les pertes Actives (Kw)

ΔQ	Les pertes réactives
P_{Loss}	Les pertes Actives
Q_{Loss}	Les pertes réactives
ρ	Résistivité du conducteur ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$).
γ	Conductivité du conducteur ($\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$).
S	Section du conducteur en mm^2 .
R	Résistance (Ω)
X	Réactance (Ω)
Z	Impédance (Ω)
$C\Delta P$	Le coût des pertes
CDG	Le coût des sources distribuées
E_c	Le coût de 1 KWh = 0.06 \$/KWh
T	temps moyen de fonctionnement ≈ 8760 h
$G-S$	Gauss-Seidel
$N-R$	Newton-Raphson
$E-P$	Ecoulement de puissance
SD	Source distribuée
JB	Jeu de barre








Symboles	Abréviations
	Générateur de puissance
	Transformateur de puissance
	Masse de terre
	Résistance
	Impédance
	Charge
	Disjoncteur

TABLE DE MATIERES

Titre :

Page :

Dédicace

Remerciement

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des Symboles et Acronymes

Table de matières

Introduction générale

Chapitre I : Généralités sur les réseaux électriques.

I. 1. Introduction	(3)
I. 2. Les plages de tension dans les réseaux	(5)
I. 2. 1. Très Haute Tension(THT)	(5)
I. 2. 2. Haut Tension(HT)	(5)
I. 2. 3. Moyenne Tension(MT)	(5)
I. 2. 4. Base Tension(BT)	(5)
I. 2. 5. Très Basse Tension(TBT)	(5)
I. 3. Structure topologique des réseaux	(5)
I. 3. 1. Réseaux radiaux	(6)
I.3.1.1. Caractéristique	(6)
I. 3. 2. Réseaux bouclés	(7)
I.3.2.1. Caractéristique	(7)
I. 3. 3. Réseaux maillés	(8)
I.3.3.1. Caractéristique	(8)
I. 4. Différents types de réseaux électriques	(9)
I. 4. 1. Réseaux de transport et d'interconnexion	(9)
I. 4. 2. Réseaux de répartition	(9)
I. 4. 3. Réseaux de distribution	(10)
I. 4. 3. 1. Réseaux de distribution à moyenne tension	(10)
I. 4. 3. 2. Réseaux de distribution à basse tension	(10)
I. 5. Structure générale d'un réseau privé de distribution	(11)
I. 6. La source d'alimentation	(13)
I. 7. Architectures des postes de livraison HTB	(13)
I. 7. 1. Simple antenne	(14)
I. 7. 1. 1. Architecture	(14)
I. 7. 1. 2. Mode d'exploitation	(14)
I. 7. 1. 3. Avantages et Inconvénient	(14)
I. 7. 2. Double antenne	(15)
I. 7. 2. 1. Architecture	(15)
I. 7. 2. 2. Mode d'exploitation	(15)
I. 7. 2. 3. Avantages et Inconvénient	(15)
I. 7. 3. Double antenne avec double jeu de barres	(16)
I. 7. 3. 1. Architecture	(16)
I. 7. 3. 2. Mode d'exploitation	(16)
I. 7. 3. 3. Avantages et Inconvénient	(16)
I. 8. Modes d'alimentation des postes HTA	(17)
I.8.1. Un jeu de barres avec une source	(17)
I.8.1.1. Architecture	(17)
I.8.1.2. Fonctionnement	(18)

I.8.2. Un jeu de barres sans couplage avec deux sources	(18)
I.8.2.1. Architecture.....	(18)
I.8.2.2. Fonctionnement.....	(18)
I.8.3. Deux jeux de barres avec couplage et deux sources	(18)
I.8.3.1. Architecture.....	(18)
I.8.3.2. Fonctionnement.....	(19)
I.8.4. Un jeu de barres sans couplage et trois sources	(19)
I.8.4.1. Architecture.....	(19)
I.8.4.2. Fonctionnement.....	(19)
I.8.5. Trois jeux de barres avec couplages et trois sources	(19)
I.8.5.1. Architecture.....	(19)
I.8.5.2. Fonctionnement	(20)
I. 9. Régime de neutre	(20)
I.9.1. Neutre moyenne tension	(20)
I.9.2. Neutre basse tension.....	(21)
I. 10. Conclusion	(23)

Chapitre II : Les moyens de productions décentralisées.

II. 1. Introduction	(24)
II. 2. Les groupes Diesel	(25)
II. 3. Les microturbines	(25)
II. 4. Les moyens de stockage	(26)
II. 4. 1. Les batteries	(26)
II.4.1.1. Les modelés des batteries.....	(27)
II. 4 .2. Les volants d'inertie	(28)
II. 4. 3. Les super-condensateurs	(28)
II. 4. 4. Comparaison des moyens de stockage	(29)
II. 5. Les générateurs éoliens	(30)
II. 6. Les panneaux photovoltaïques	(34)
II.7. Conclusion	(36)

Chapitre III : Méthodes d'analyse de l'écoulement de puissance.

III. 1. Introduction	(37)
III. 2. But de l'étude de l'écoulement de puissance	(37)
III. 3. Concept général de l'Écoulement de puissance	(37)
III. 4. Classification des variables de l'écoulement de puissance	(37)
III. 4. 1. Les variables de perturbation ou non contrôlables	(38)
III. 4. 2. Les variables de contrôle et d'état	(38)
III. 5. Classification des jeux de barres	(38)
III. 5. 1. Jeu de barre de référence	(38)
III. 5. 2. Jeu de barre de générations (de contrôle) (PV bus)	(39)
III. 5. 3. Jeu de barre de charge (PQ bus)	(39)
III. 6. Modélisation des composants du réseau électrique	(39)
III. 6. 1. Générateurs	(39)
III. 6. 2. Lignes de transmission	(39)
III. 6. 3. Charge électrique	(40)
III. 7. Étude du réseau de distribution radial	(41)
III. 7. 1. Méthode simplifié	(41)
III. 7. 2. Algorithme de résolution du problème de l'écoulement de puissance	(44)
III. 7. 2. 1. Historique	(44)
III. 7. 2. 2. Méthode de Gauss-Seidel	(45)
III. 7. 2. 2. 1. Application de G-S dans l'E.P	(45)
III. 7. 2. 2. 2. Organigramme de la méthode Gauss-Seidel.....	(45)
III. 7. 2. 3. Méthode de Newton-Raphson	(47)

III. 7. 2. 3. 1. Représentation géométrique de la méthode de N-R.....	(47)
III. 7. 2. 3. 2. Algorithme de N-R dans un système de dimension n	(48)
III. 7. 2. 3. 3. Arrêt des opérations	(48)
III. 7. 2. 3. 4. L'application de la méthode de N-R, au problème de l'écoulement de puissance ..	(49)
III. 7. 2. 3. 5. Les puissances transites et les pertes.....	(51)
III. 7. 2. 4. Méthode spéciale	(52)
III. 7. 2. 4. 1. Modélisation mathématique d'un réseau de distribution radial.....	(53)
III. 8. Conclusion	(56)

Chapitre IV : Tests et application.

IV. 1. Introduction	(57)
IV. 2. Tests et application	(57)
IV. 2. 1. Description du réseau test I (12 jeux de barres)	(57)
IV. 2. 1. 1. Cas 1 : cas normal sans intégration des SD.....	(58)
IV. 2. 1. 2. Cas 2 : avec considération des SD.....	(59)
IV. 2. 1. 3. Cas 3 : Effet de l'augmentation des charges.....	(69)
IV. 2. 1. 4. Cas 4 : avec compensation.....	(80)
IV. 2. 2. Description du réseau test II (20 jeux de barres)	(88)
IV. 3. Conclusion	(91)

Conclusion générale

Bibliographique

Introduction générale

L'énergie électrique est un facteur essentiel pour le développement et l'évolution des sociétés humaines que cela soit sur le plan de l'amélioration des conditions de vie, ou sur le développement des activités industrielle. Un système électrique est composé de trois segments principale bien coordonnés, la production, le réseau et les consommateurs. Au niveau du réseau on parle généralement d'un réseau de transport et réseau de distribution car ils diffèrent dans leur topologie, niveaux de tension, dimension, exploitation, etc..[6]. L'électricité ne peut pas être stockée et la demande d'électricité varie à tout instant, donc le rôle principal de toute entreprise de production et de distribution d'énergie électrique est d'assurer la couverture des puissances demandées par les utilisateurs [11].

Les réseaux de distribution représentent la dernière phase dans la chaîne du système énergétique, qui consiste à assurer la livraison de l'énergie au dernier consommateur selon les indices de qualité de l'énergie. La planification des réseaux de distribution à court termes et long terme est une tâche très importante, cette tâche devient de plus en plus importante avec la disponibilité des sources renouvelables en particulier les sources photovoltaïques, et les sources éoliennes.

De nombreux pays ont encouragés massivement l'intégration des sources distribués dans leurs réseaux de distribution. En général cette énergie est destinée à être produite localement, près des centres de consommations. Les travaux de recherches ont démontrés que la production décentralisée introduit des changements importants sur l'exploitation et la protection des réseaux de distribution existant.

C'est dans ce contexte que s'articule notre travail, ce projet de fin d'étude consiste principalement à l'étude et l'analyse de l'impact de l'intégration des sources distribuée dans les réseaux de distribution. La stratégie proposée base sur l'aspect heuristique par utilisation d'une méthode itérative qui est la méthode de Newton-Raphson pour déterminer le placement optimal des sources distribuées pour minimiser les pertes active totales, minimiser le coût des pertes actives et aussi assurer une répartition des tensions aux niveaux des jeux barres dans les limites admissibles. L'efficacité de la méthodologie généralisée proposé est validée sur deux réseaux tests.

Le présent mémoire est structuré comme suit :

- Le premier chapitre traite des généralités sur les réseaux électriques en particulier les réseaux électriques de distribution.

- Le deuxième chapitre présente les moyens de production émergents.
- Le troisième chapitre traite des différentes méthodes utilisées pour l'analyse de l'écoulement de puissance dans le réseau électriques.
- Dans le dernier chapitre, on présente les discussions sur les différents résultats obtenus du point de vue technique et économique.

Ce travail se termine par une conclusion générale dans laquelle on résume les principaux résultats obtenus et on énumérera les perspectives de ce travail.

I.1. Introduction :

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité.

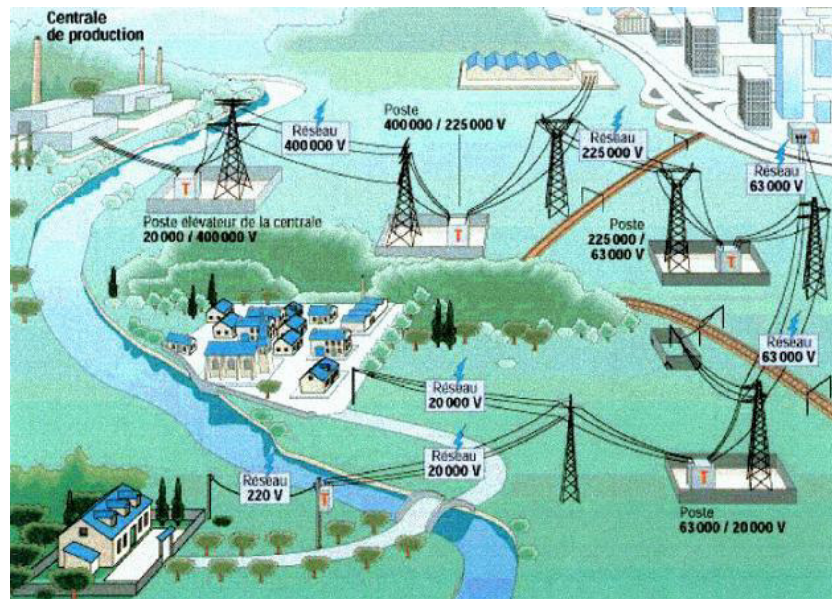


Figure I.1 : Structure d'un système énergétique.

Il est constitué des lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production - transport - consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble.

Un réseau électrique doit satisfaire les exigences suivantes :

- Assurer au client la puissance dont il a besoin.
- Fournir une tension stable dont les variations n'excèdent pas 10% de la tension nominale.
- Fournir une fréquence stable.
- Fournir l'énergie avec prix acceptable.
- Maintenir des normes de sécurité rigoureuses.
- Veiller à la protection de l'environnement.

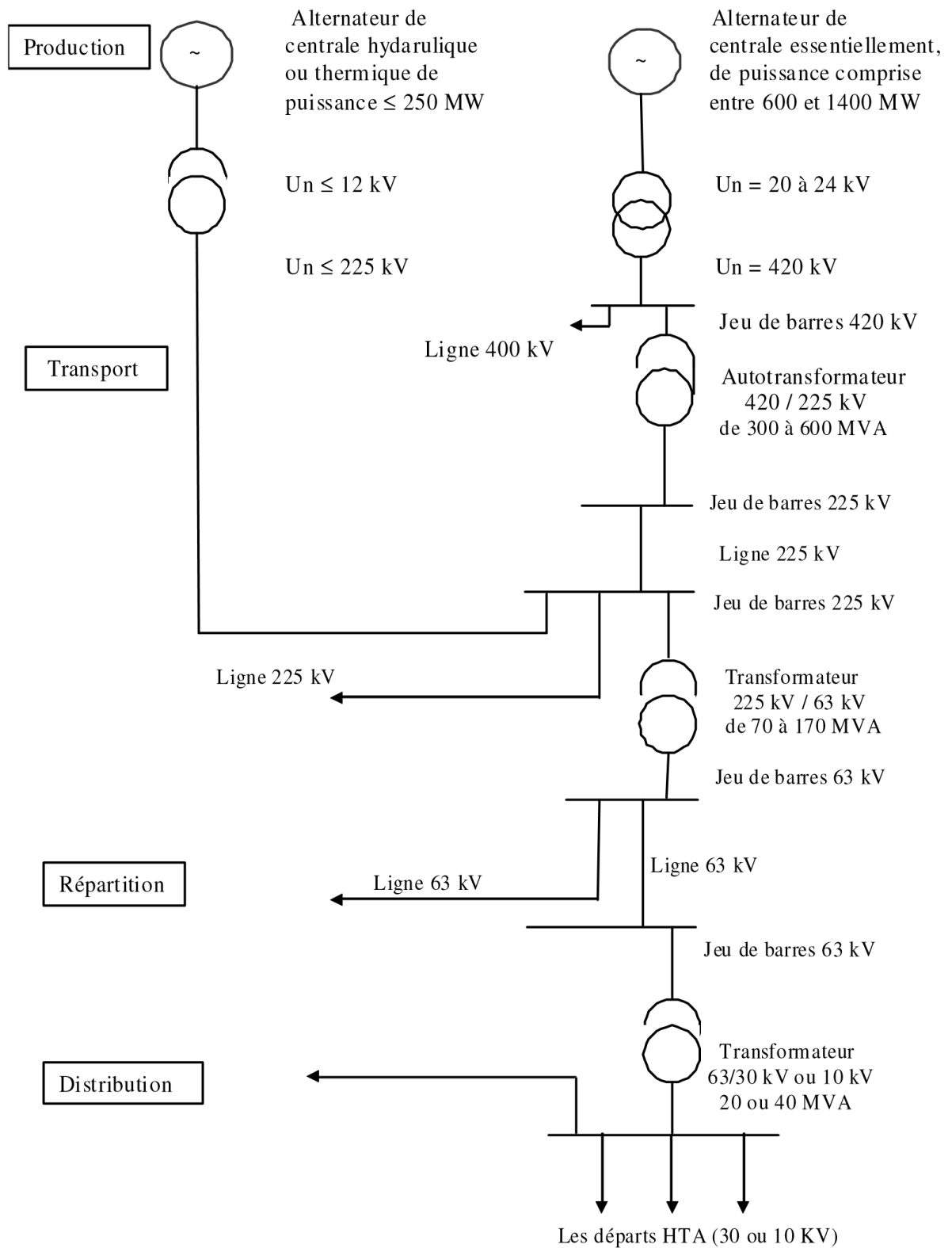


Figure I.2 : Architecture générale de réseaux d'énergies électrique [4].



I.2. Les plages de tension dans les réseaux [2] :

L'échelle des tensions utilisées dans le réseau d'énergie est très vaste ou peut distinguer les plages suivantes :

I.2.1. Très Haute Tension(THT) :

Sont des tensions égales ou supérieure à 300KV, le rôle de c'est réseaux et le transport port et répartir des grandes puissances à des grandes distances, la tension la plus utilisée dans ce cas et 220KV-400KV.

I.2.2. Haut Tension(HT) :

Des tensions entre 60-90-110KV actuellement utilisées pour transporter et répartir les grandes puissances dans les centres de consommation principales.

I.2.3. Moyenne Tension(MT) :

Les niveaux de tension(MT) comprises entre 1KV-35KV sont utilisés surtout dans les réseaux de distribution, Mais en remarquant que l'utilisation inférieure à 10KV et plus utilisé surtout dans les réseaux urbain et région industrielles, mais le développement de la demande est l'augmentation des distance des réseaux de transport et le besoin de transporté une grande puissance dans les réseaux MT, l'échélement des tensions sont augmenté de 6KV jusqu'à 15-20-30KV et 60KV.

I.2.4. Base Tension(BT) :

Il existe deux types de tension BT

- La tension entre 121V-220V

Ce type de tension utilisée pour l'alimentation de tous les appareils domestiques et industriels.

- La tension entre 500V-600V

Ce type de tension utilisée pour l'alimentation des réseaux industriels à l'intérieur des usines à cause de l'utilisation de grande puissance de certaines machines.

Mais en générale en remarque que la majorité des pays utilisent la tension standard 220V entre phase et neutre.

I.2.5. Très Basse Tension(TBT) :

Sont des tensions à 50V utilisées aux alimentations des petits appareils domestique et électrique.

I.3. Structure topologique des réseaux [2] :

Les réseaux doivent assurer le transit de l'énergie électrique avec une sécurité suffisante, cette sécurité d'alimentation est augmentée soit :

- Par les lignes avec appareillages plus solides.
- Par des circuits plus nombreux.

Alors il y'a donc un compromis à réaliser entre le coût des investissements supplémentaires et la valeur de ce qu'ils permettent de sauver ce qui conduit à des topologies des réseaux différents.

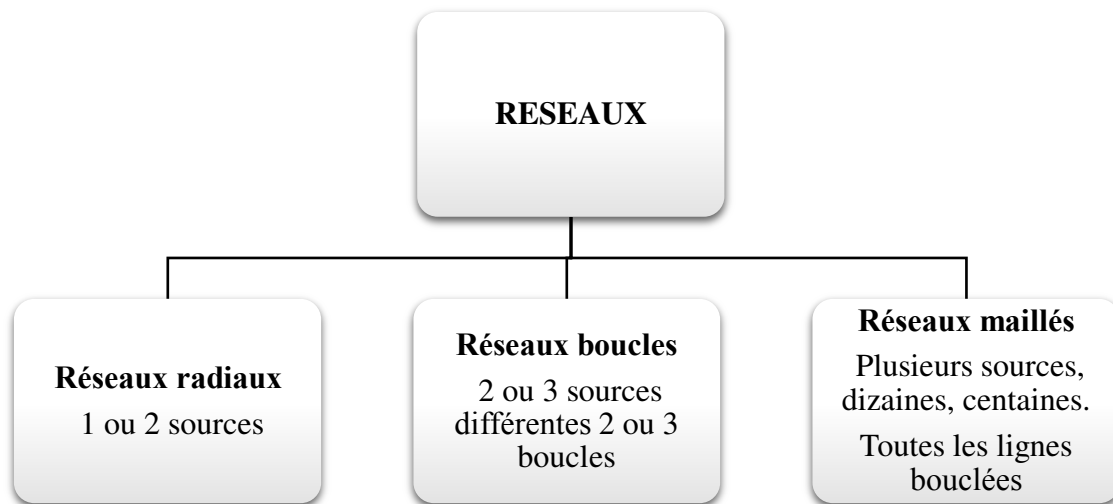


Figure I.3 : *structure topologique des réseaux.*

I.3.1. Réseaux radiaux :

En milieu rural, on trouve des architectures arborescentes bouclées mais exploitées en radial.

Les boucles peuvent se situer entre les postes (HT/MT) ou entre départs voisins (du même poste source).

I.3.1.1. Caractéristique :

❖ Points forts :

- simplicité.
- Exploitation.
- coûts d'installation.

❖ Points faibles :

- qualité de service.

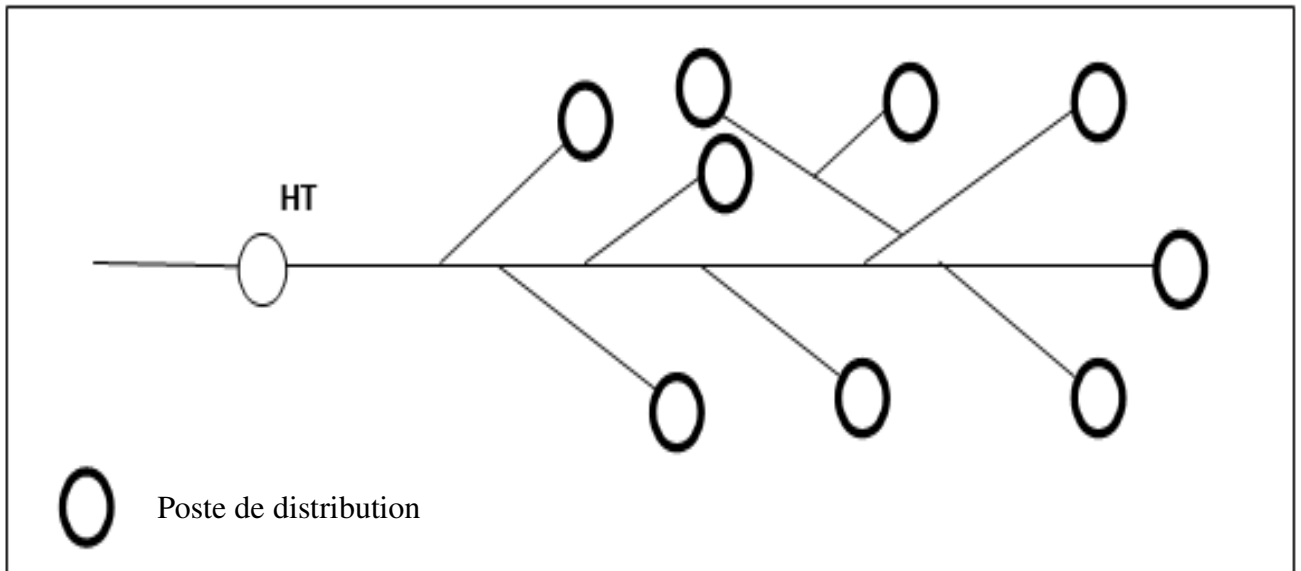


Figure I.4 : schéma d'un Réseau radial.

I.3.2. Réseaux bouclés :

Cette structure est pratique lorsque le centre de gravité des charges est excentré par rapport au poste source, dans ce cas, on alimente un poste nommé poste tête de pétales par un ou deux départs issus du poste source (HT/MT).

Par ailleurs, la puissance des câbles est limitée à la puissance maximale divisée par deux pour que ceux-ci puissent tenir en cas de défaut, contrairement à la maille, il n'y a plus de liaisons entre les boucles.

I.3.2.1. Caractéristique :

❖ **Points forts :**

- simplicité.
- qualité de service.

❖ **Points faibles :**

- exploitation avec les manœuvres plus nombreuses.
- coûts d'installation

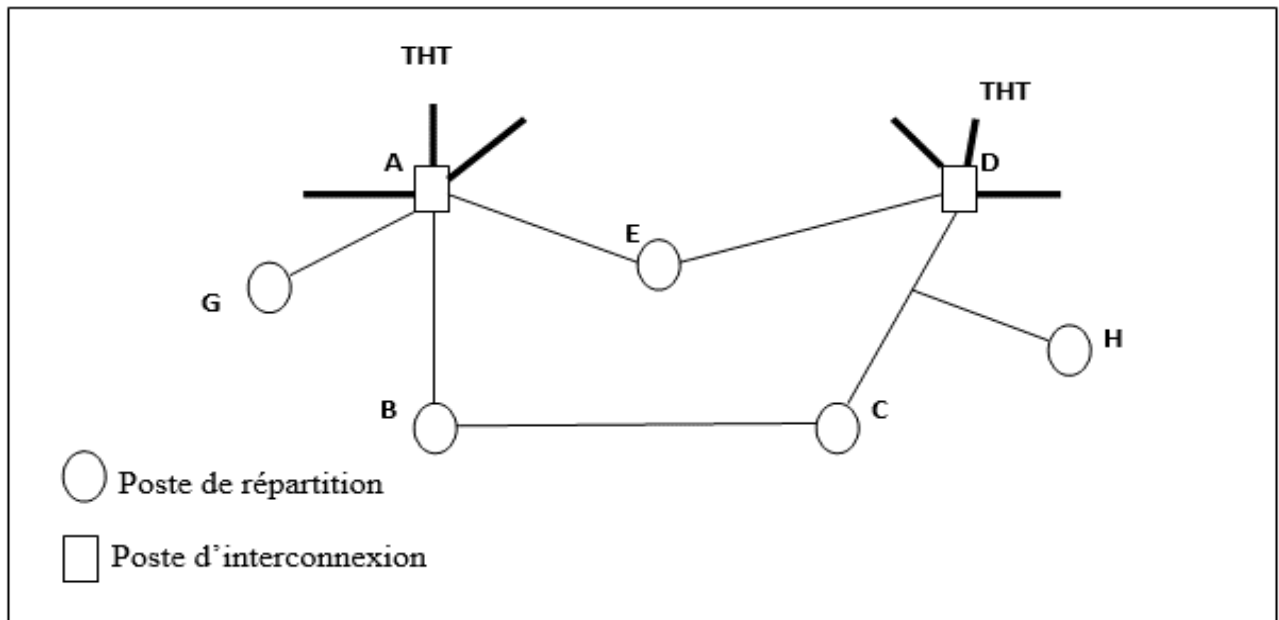


Figure I.5 : Schéma d'un réseau bouclé.

I.3.3. Réseaux maillés :

Cette structure est composée de boucles alimentées directement par les sources (HT/MT) ou via des postes têtes de boucle reliés aux sources (HT/ MT) par des conducteurs de section importante appelés câbles de structure. Les postes têtes de boucle ont la même structure que les postes source sauf qu'il n'y a pas de transformateur (HT/MT).

Des liaisons inter-boucles permettent le transfert de la charge d'une boucle sur l'autre en cas de perte d'un câble de structure.

I.3.3.1. Caractéristiques :

❖ Points forts :

- qualité de service.
- Continuité de service.

❖ Points faibles :

- exploitation avec les manœuvres plus nombreuses.
- coûts d'installation.
- Complexe.

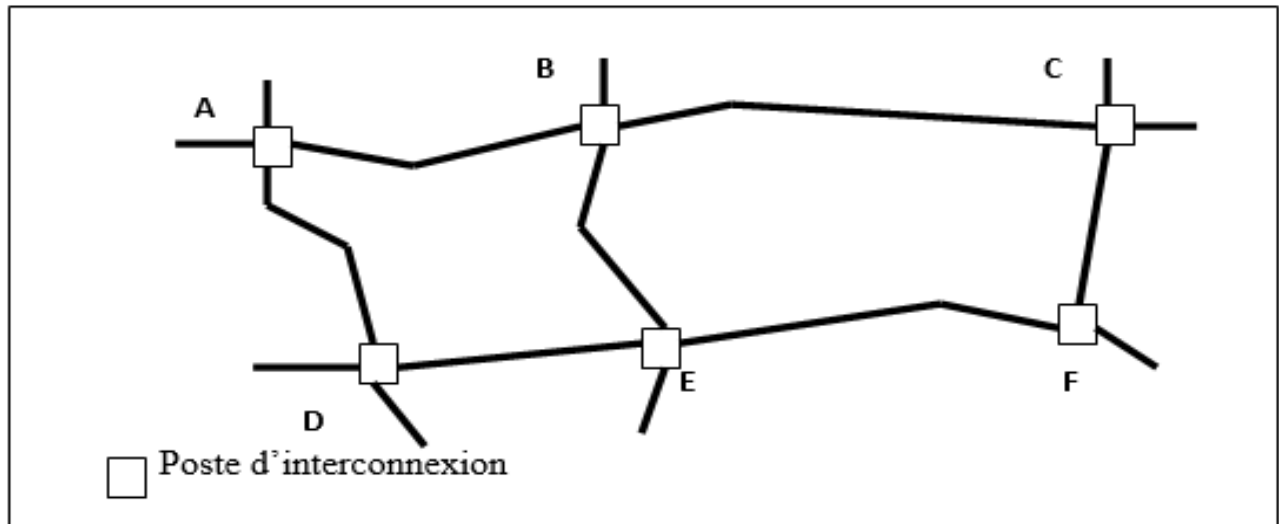


Figure I.6 : schéma d'un Réseaux maillés.

I.4. Différents types de réseaux électriques [4] :

Les réseaux électriques sont partagés en trois types :

I.4.1. Réseaux de transport et d'interconnexion :

Les réseaux de transport et d'interconnexion ont principalement pour mission :

De collecter l'électricité produite par les centrales importantes et de l'acheminer par grand flux vers les zones de consommation (fonction transport).

De permettre une exploitation économique et sûre des moyens de production en assurant une compensation des différents aléas (fonction interconnexion).

La tension est 150 kV, 220 kV et dernièrement 420 kV, Neutre directement mis à la terre, Réseau maillé.

I.4.2. Réseaux de répartition :

Les réseaux de répartition ou réseaux Haute Tension ont pour rôle de répartir, au niveau régional, l'énergie issue du réseau de transport. Leur tension est supérieure à 63 kV selon les régions.

Ces réseaux sont, en grande part, constitués de lignes aériennes, dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres. Leur structure est, soit en



boucle fermée, soit le plus souvent en boucle ouverte, mais peut aussi se terminer en antenne au niveau de certains postes de transformation.

En zone urbaine dense, ces réseaux peuvent être souterrains sur des longueurs n'excédant pas quelques kilomètres.

Ces réseaux alimentent d'une part les réseaux de distribution à travers des postes de transformation HT/MT et, d'autre part, les utilisateurs industriels dont la taille (supérieure à 60 MVA) nécessite un raccordement à cette tension.

- La tension est 90 kV ou 63 kV.
- Neutre à la terre par réactance ou transformateur de point neutre.
- Limitation courant neutre à 1500 A pour le 90 kV.
- Limitation courant neutre à 1000 A pour le 63kV.
- Réseaux en boucle ouverte ou fermée.

I.4.3. Réseaux de distribution :

Les réseaux de distribution commencent à partir des tensions inférieures à 63 kV et des postes de transformation HTB/HTA avec l'aide des lignes ou des câbles moyenne tension jusqu'aux postes de répartition HTA/HTA. Le poste de transformation HTA/BTA constitue le dernier maillon de la chaîne de distribution et concerne tous les usages du courant électrique.

4.3.1 Réseaux de distribution à moyenne tension :

- HTA (30 et 10 kV le plus répandu).
- Neutre à la terre par une résistance.
- Limitation à 300 A pour les réseaux aériens.
- Limitation à 1000 A pour les réseaux souterrains.
- Réseaux souterrains en boucle ouverte.

4.3.2 Réseaux de distribution à basse tension :

- BTA (230 / 400 V).
- Neutre directement à la terre.
- Réseaux de type radial, maillés et bouclés.



I.5. Structure générale d'un réseau privé de distribution [1] :

Dans le cas général avec une alimentation en HTB, un réseau privé de distribution comporte

(Voir **figure I.7**) :

- un poste de livraison HTB alimenté par une ou plusieurs sources, il est composé d'un ou plusieurs jeux de barres et de disjoncteurs de protection.
- une source de production interne.
- un ou plusieurs transformateurs HTB / HTA.
- un tableau principal HTA composé d'un ou plusieurs jeux de barres.
- un réseau de distribution interne en HTA alimentant des tableaux secondaires ou des postes HTA / BT.
- des récepteurs HTA.
- des transformateurs HTA / BT.
- des tableaux et des réseaux basse tension.
- des réceptrices basses tensions.

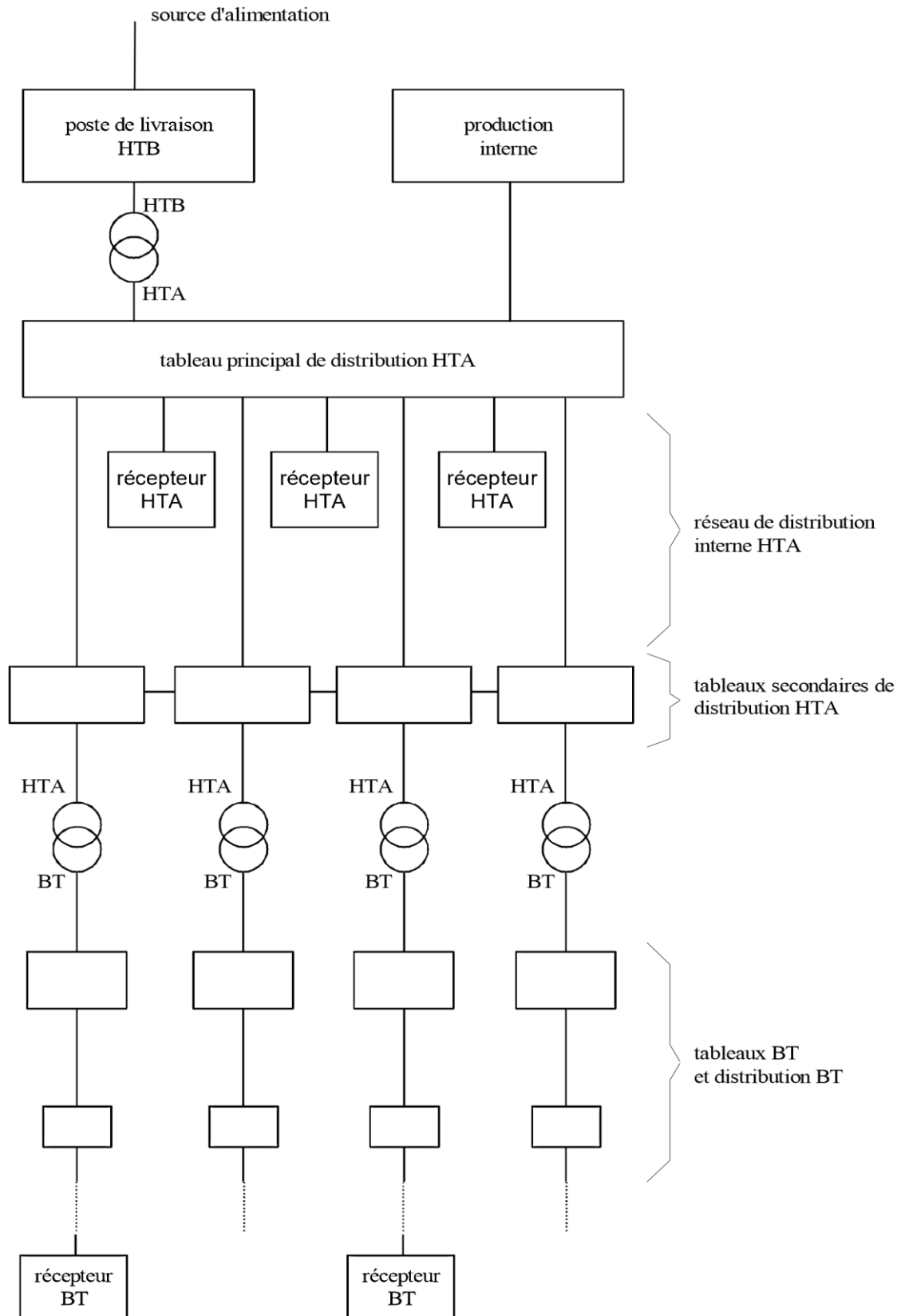


Figure I.7 : Structure générale d'un réseau de distribution [1] :

I.6. La source d'alimentation :

En France, l'alimentation des réseaux industriels peut être réalisée, soit :

- en HTB, ce qui signifie que la tension est supérieure à 50 kV, en général 63 kV, 90 kV ou 225 kV.
- en HTA, ce qui signifie que la tension est comprise entre 1 kV et 50 kV, en général 5,5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV ou 33 kV.
- en BTA, ce qui signifie que la tension est inférieure à 1 kV, en général 400 V.

La tension de la source d'alimentation est liée à la puissance de livraison. Le **tableau 1-1** indique les niveaux de tensions d'alimentation usuellement choisis en France en fonction de la puissance souscrite.

Tension d'alimentation	Puissance de livraison			
	0	250 KVA	10000 KVA	40000 KVA
BTA				
HTA				
HTB 63 KV ou 90 KV				
HTB 250 KV				

Tableau I.1 : niveaux de tension d'alimentation en fonction de la puissance souscrite [1].

I.7. Architectures des postes de livraison HTB [4] :

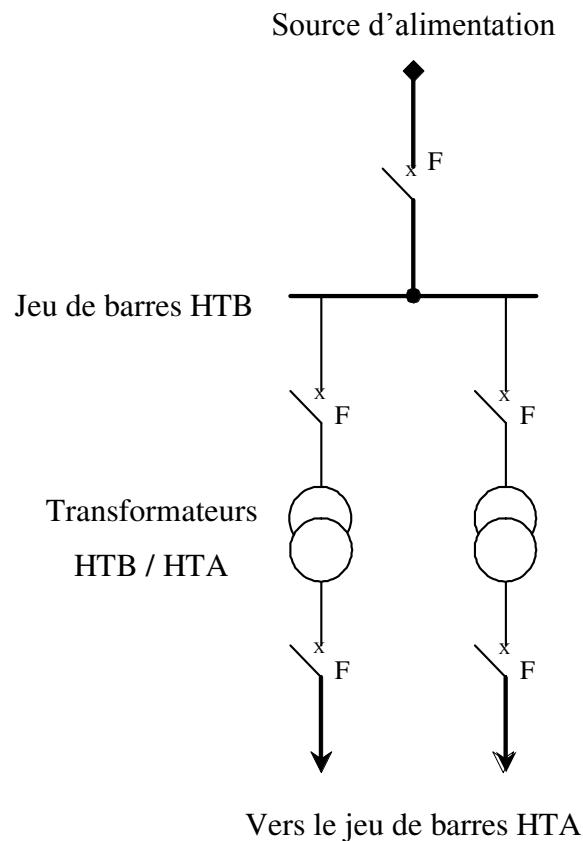
Ils concernent généralement les puissances supérieures à 10 MVA. L'installation du poste de livraison est comprise entre :

- D'une part, le point de raccordement au réseau de distribution HTB.
- D'autre part, la borne aval du ou des transformateurs HTB / HT.
- Indice **O** pour « position ouvert » et **F** pour « position fermé ».

Les schémas électriques des postes de livraison HTB les plus couramment rencontrés sont les suivants :

7.1 Simple antenne :

7.1.1. Architecture :



FigureI.8 : *alimentation simple antenne d'un poste de livraison HTB.*

7.1.2. Mode d'exploitation :

- **Normal :**
 - Les transformateurs HTB/HTA sont alimentés par un seul jeu de barre HTB.
- **Perturbé :**
 - En cas de perte d'une source d'alimentation, les transformateurs HTB/HTA sont mis hors service.

7.1.3. Avantages et Inconvénient :

- *Avantage :* Coût minimal.
- *Inconvénient :* Disponibilité faible.

7.2. Double antenne :

7.2.1. Architecture :

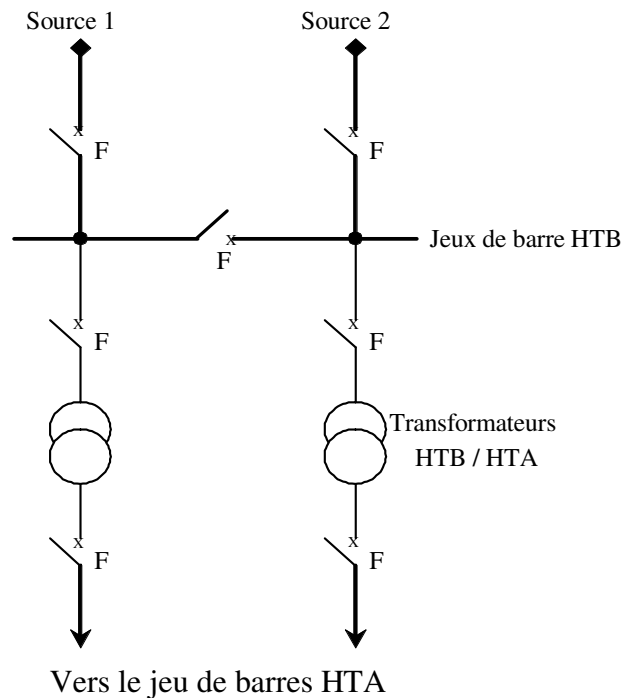


Figure I.9 : alimentation double antenne d'un poste de livraison HTB.

7.2.2. Mode d'exploitation :

- **Normal :**
 - Les deux disjoncteurs d'arrivée des sources sont fermés, ainsi que le sectionneur de couplage.
 - Les transformateurs sont donc alimentés par les 2 sources simultanément.
- **Perturbé :**
 - En cas de perte d'une source, l'autre source assure la totalité de l'alimentation.

7.2.3. Avantages et Inconvénient :

- **Avantage :**
 - Bonne disponibilité, dans la mesure où chaque source peut alimenter la totalité du réseau.
 - Maintenance possible du jeu de barres, avec un fonctionnement partiel de celui-ci.
- **Inconvénients :**
 - Solution plus coûteuse que l'alimentation simple antenne.
 - Ne permet qu'un fonctionnement partiel du jeu de barres en cas de maintenance de celui-ci.

7.3. Double antenne avec double jeu de barres :

7.3.1. Architecture :

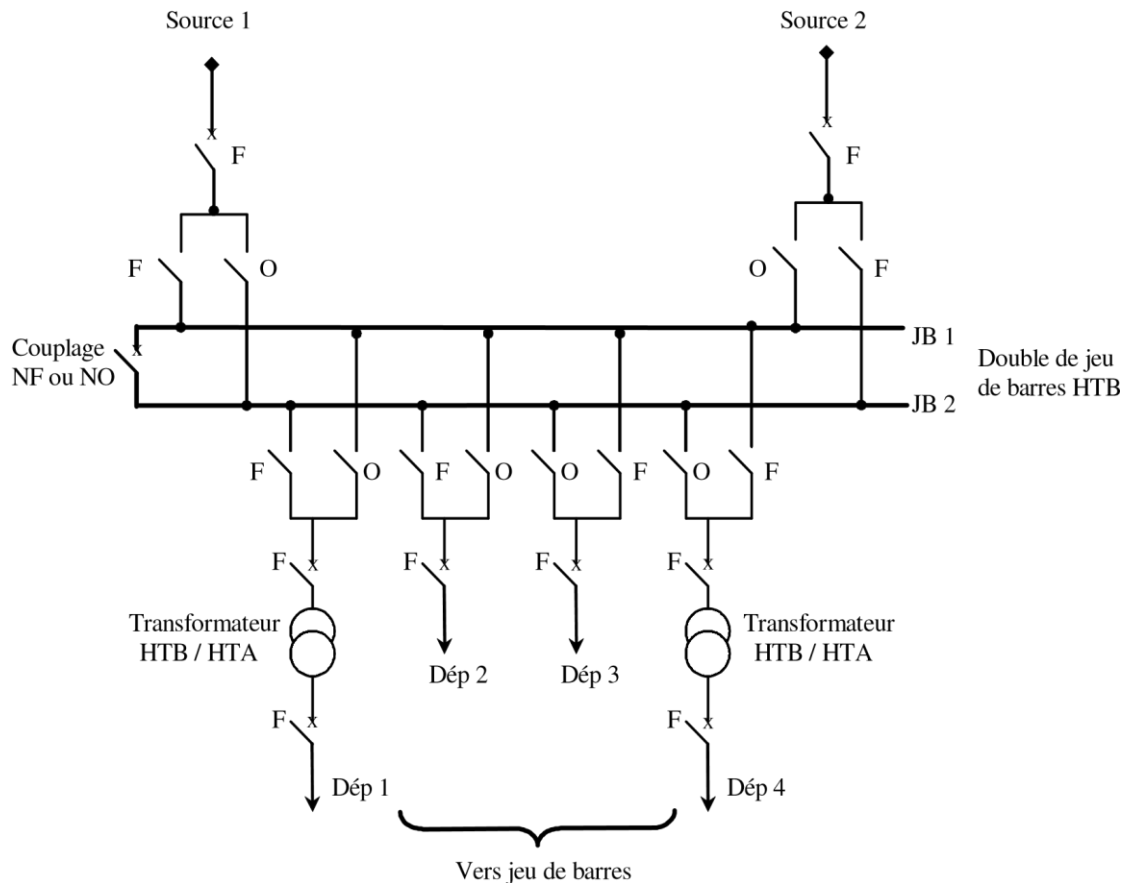


Figure I.10 : Architecture double antenne-double jeu de barres.

7.3.2. Mode d'exploitation :

- **Normal :**
 - La source 1 alimente, par exemple, le jeu de barres JB1 et les départs Dép 1 et Dép 2.
 - La source 2 alimente, par exemple, le jeu de barres JB2 et les départs Dép 3 et Dép 4.
 - Le disjoncteur de couplage peut être maintenu fermé ou ouvert.
- **Perturbé :**
 - En cas de perte d'une source, l'autre source assure la totalité de l'alimentation.
 - En cas de défaut sur un jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), le disjoncteur de couplage est ouvert et l'autre jeu de barres alimente la totalité des départs.

7.3.3. Avantages et Inconvénient :

- **Avantage :**
 - Bonne disponibilité d'alimentation.
 - Très grande souplesse d'utilisation pour l'affectation des sources et des charges, et

pour la maintenance des jeux de barres.

- Possibilité de transfert de jeu de barres sans coupure (lorsque les jeux de barres sont couplés, il est possible de manœuvrer un sectionneur si son sectionneur adjacent est fermé).

- **Inconvénient :**

- Surcoût important par rapport à la solution simple jeu de barres.

I.8. Modes d'alimentation des postes HTA [1] :

Nous allons identifier les principales solutions d'alimentation d'un tableau HTA, indépendamment de son emplacement dans le réseau.

Le nombre de sources et la complexité du tableau diffèrent suivant le niveau de sûreté de fonctionnement désiré.

Les schémas sont classés dans un ordre tel que la sûreté de fonctionnement s'améliore tandis que le coût d'installation augmente.

I.8.1. Un jeu de barres avec une source :

I.8.1.1. Architecture :

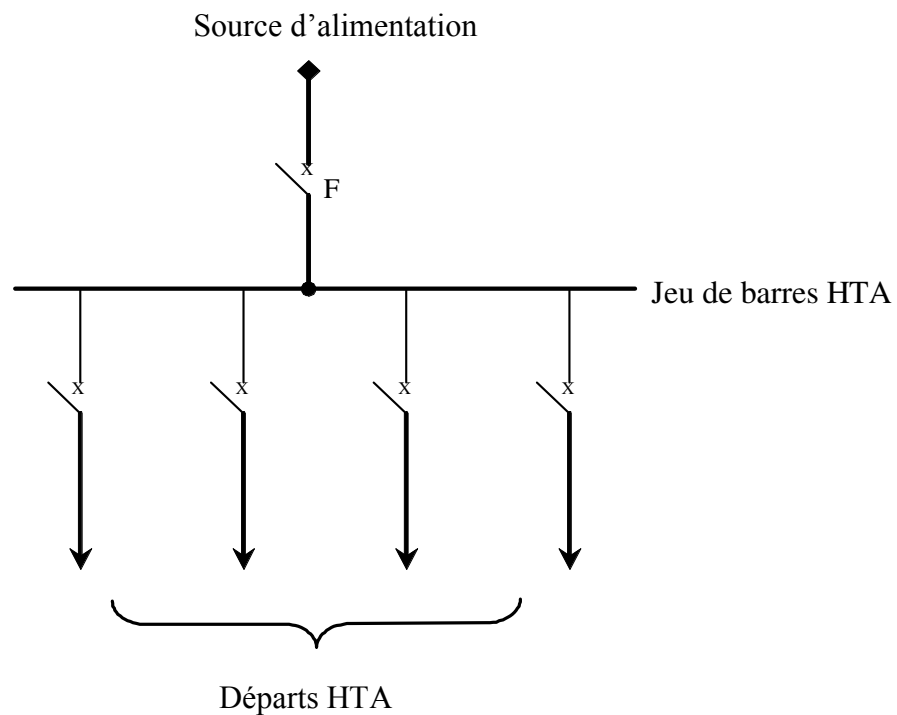


Figure I.11 : Architecture d'un jeu de barres avec une source.

I.8.1.2 Fonctionnement :

- En cas de perte de la source d'alimentation, le jeu de barres est hors service jusqu'à l'opération de réparation.

I.8.2. Un jeu de barres sans couplage avec deux sources :

I.8.2.1. Architecture :

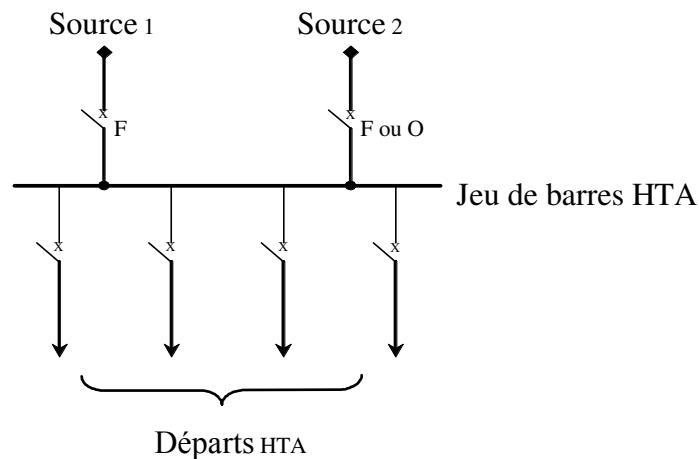


Figure I.12 : Architecture d'un jeu de barres sans couplage avec deux sources.

I.8.2.2. Fonctionnement :

- Les deux sources peuvent fonctionner en parallèle ou l'une en secours de l'autre. En cas de défaut sur le jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), les départs ne sont plus alimentés.

I.8.3. Deux jeux de barres avec couplage et deux sources :

I.8.3.1. Architecture :

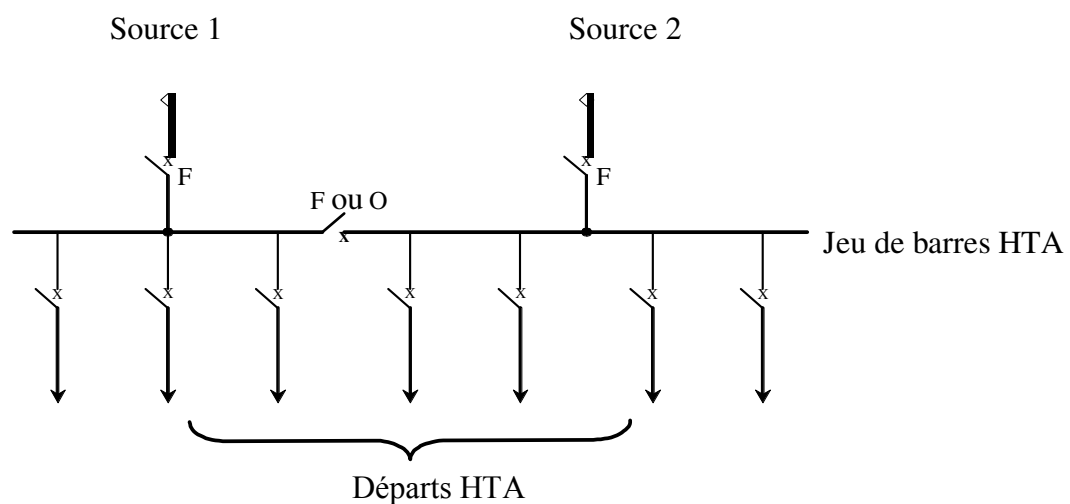


Figure I.13 Architecture de deux jeux de barres avec couplage et deux sources.

I.8.3.2. Fonctionnement :

- Le disjoncteur de couplage peut être maintenu fermé ou ouvert.
- S'il est ouvert, chaque source alimente un jeu de barres. En cas de perte d'une source, le disjoncteur de couplage est fermé et l'autre source alimente les deux jeux de barres.
- En cas de défaut sur un jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), une partie seulement des départs n'est plus alimentée.

I.8.4. Un jeu de barres sans couplage et trois sources :

I.8.4.1. Architecture :

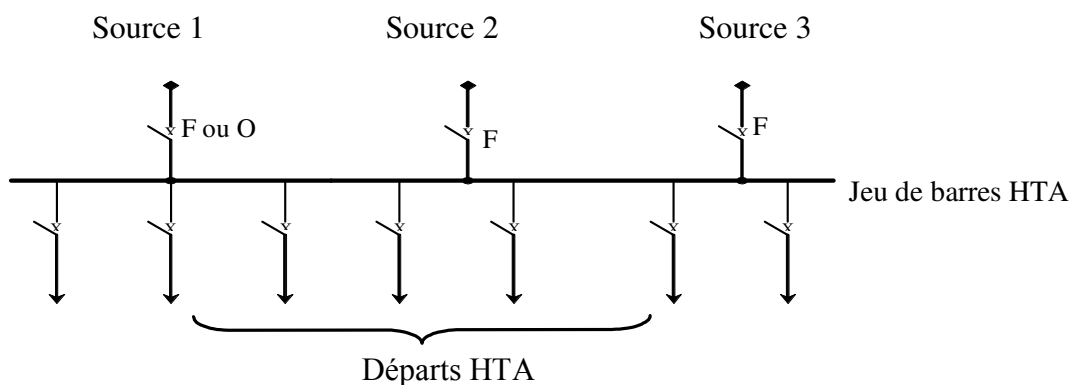


Figure I.14 : Architecture d'un jeu de barres sans couplage avec trois sources.

I.8.4.2. Fonctionnement :

- Les 3 sources peuvent fonctionner en parallèle ou l'une en secours des deux autres.
- En cas de défaut sur le jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), les départs ne sont plus alimentés.

I.8.5. Trois jeux de barres avec couplages et trois sources :

I.8.5.1. Architecture :

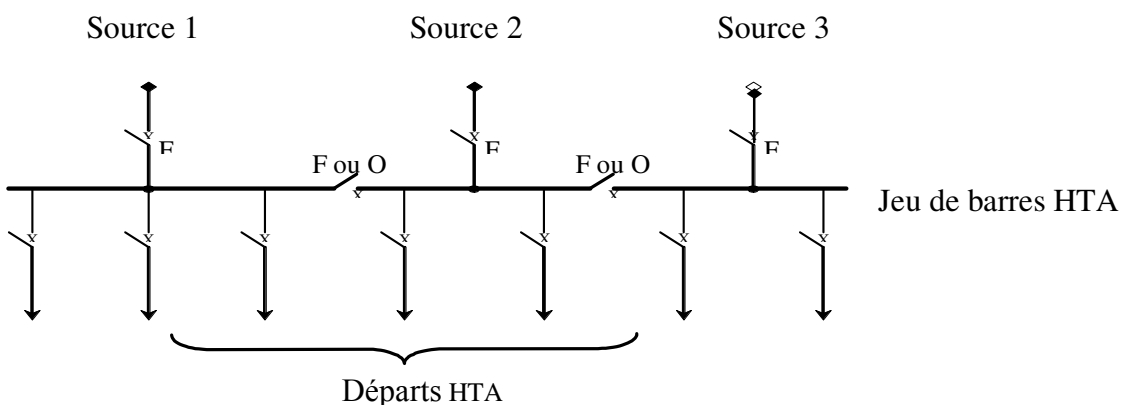


Figure I.15 : Architecture de trois jeux de barres avec couplages et trois sources.

I.8.5.2 Fonctionnement :

- Les 2 disjoncteurs de couplage peuvent être maintenus ouverts ou fermés.
- S'ils sont ouverts, chaque source alimente sa section de barres. En cas de perte d'une source, le disjoncteur de couplage associé est fermée, une source alimente 2 sections de barres et l'autre 1 section de barres.
- En cas de défaut sur une section de barres (ou maintenance de celle-ci), une partie seulement des départs n'est plus alimentée.

I.9. Régime du neutre [6] :

On appelle régime de neutre la façon le neutre d'une installation est relié à la terre si celui-ci l'est effectivement. Il faut dès lors faire attention à ne pas confondre les régimes de neutre basse tension et moyenne tension.

I.9.1. Neutre moyenne tension :

Les premiers systèmes de distribution moyenne tension, au début du vingtième siècle, étaient constitués de réseaux triphasés courts. Le neutre du réseau, même lorsqu'il était isolé. En cas de rupture en un point de l'isolement entre une phase et une masse reliée à la terre, il ne se passait en général rien, sinon un très léger arc grêle au niveau de ce point de défaillance du au retour de courant par la très faible capacité du réseau. Dans la plupart des cas, la défaillance était momentanée et le défaut s'éteignait de lui-même.

Régime de neutre	Schéma de raccordement	Pays
Bobine de compensation (Bobine de Petersen)		Allemagne Grande-Bretagne (rural) France (compensation partielle)
Neutre impédant		Belgique France (30 à 40 Ω) Grande-Bretagne(Urbain) Irlande Suède Finlande

Tableau I.2 : Régimes de neutre et schémas de raccordement [6].



Le courant de défaut finit par augmenter suffisamment pour constituer un risque pour le public ou pour l'exploitant par les élévations locales de potentiel qui en résultait.

En France, le neutre fut rend à la terre à travers une impédance réduisant le courant de défaut a une valeur raisonnable.

Aujourd'hui, pour certaines lignes HTA la tendance s'inverse et on commence à relier le neutre via une bobine de Petersen (méthode allemande). On accorde alors la bobine reliée au neutre avec la capacité des lignes du réseau ce qui permet, en cas de défaut fugitif, d'avoir auto-extinction de ce dernier.

I.9.2. Neutre basse tension :

Le choix initial du régime de neutre basse tension, une fois qu'il a été arrêté, conditionne pratiquement tout le système. C'est ce qui explique qu'une fois celui-ci choisi, le distributeur ne peut pratiquement plus en changer.

Un régime de neutre basse tension est caractérisé par deux ou trois lettres

- la première se rapporte au raccordement du neutre de la source par rapport à la terre :
 - T, pour la liaison directe.
 - I, pour l'absence de liaison ou pour une liaison impédance.
- la seconde indique le type de raccordement des masses de l'installation :
 - T, pour un raccordement à la terre locale.
 - N, pour un raccordement au neutre.
- la troisième intervient dans le cas d'un schéma TN et indique l'état des conducteurs de protection et de neutre :
 - C, pour des conducteurs confondus sous le nom de PEN.
 - S, pour des conducteurs séparés sous le nom de PE et N.

Ainsi, on distingue quatre schémas possibles de régimes de neutre en basse tension comme le montre la **figure 16**.

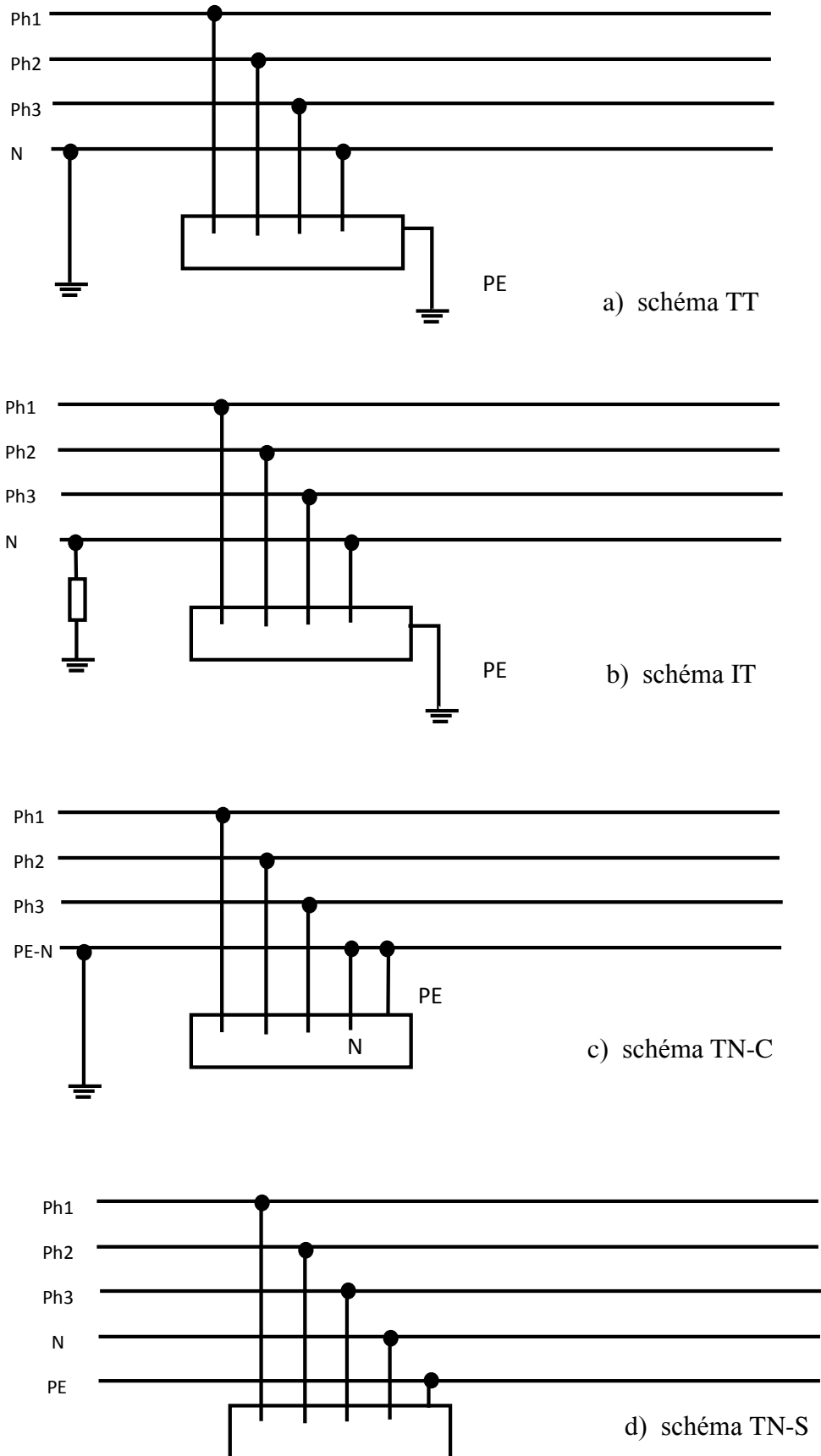


Figure I.16: Schémas de neutre en basse tension [6].



I.10. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exposé les différentes architectures des réseaux électriques, les architectures de différentes postes de livraison HTB et HTA, et le régime du neutre.

Dans le chapitre qui suit nous allons présenter les différentes sources de production décentralisées et comment sont intégrées dans les réseaux électriques.



II.1. Introduction :

Depuis la généralisation de l'utilisation de l'électricité, la consommation énergétique n'a cessé d'augmenter. Actuellement, les principales sources d'énergies proviennent des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel etc.....). Cependant, depuis les crises successives du pétrole des années 70, le problème de la conversion et du stockage de l'énergie a conduit à la recherche et au développement de nouvelles sources d'approvisionnement.

Cependant, pour remédier à cela, de nouvelles énergies dites « énergies renouvelables », ont émergés. Parmi celles-ci, l'énergie solaire est la mieux partagée par tous les habitants du globe terrestre [9].

Les sources décentralisées de production émergentes sont scindés en deux grands groupes des systèmes de génération à base de renouvelable et des systèmes de soutien programmables et contrôlables.

Ces systèmes de soutien sont l'élément clé pour améliorer l'intégration. Parmi ces systèmes de soutien on trouve les systèmes de génération (les générateurs Diesel, les micro-turbines, entre autres) et les systèmes de stockage (les batteries, les volants d'inertie, les supercondensateurs, entre autres).

Les générateurs d'origine renouvelable sont les générateurs dont la source primaire est inépuisable. L'avantage principal de ces énergies est le fait qu'elles soient propres, c'est-à-dire, qu'elles supposent avoir un faible impact environnemental. Leur principale limitation est leur caractère intermittent car la puissance de sortie dépend en tout instant de la disponibilité de la source primaire. On peut citer l'hydro-électricité, la biomasse, la valorisation déchets et sous-produits industriels, la géothermie, etc. mais les générateurs d'origine renouvelable les plus répandus (sources primaire réparties et disponible largement) et les mieux adaptés aux réseaux de distribution sont les générateurs éoliens et les générateurs photovoltaïques [6].

Les énergies renouvelables sont utilisées localement au plus proche de la consommation. Le **tableau II.1** montre la répartition de la production mondiale d'électricité d'origine renouvelable [8].

Energie renouvelable	Production mondiale
Hydraulique	2536 TWh (93.7 %)
Biomasse	123 TWh (4.6 %)
Géothermie	38.5 TWh (1.4 %)
Eolien	8.3 TWh (0.3 %)
Solaire	1.1 TWh (0.04 %)

Tableau II.1 : Répartition de la production mondiale d'électricité d'origine renouvelable [8].

II.2. Les groupes Diesel [6] :

Les générateurs Diesel sont équipés d'un moteur Diesel qui transforme par combustion interne l'énergie du combustible (fuel) en énergie mécanique et d'un générateur synchrone (à rotor bobine) qui transforme cette énergie mécanique en énergie électrique. Ils existent différents types de machines Diesel qui va de quelques kVAs jusqu'à quelques dizaines de MVAs. Leur rendement électrique avoisine le 35-40 %.

Les générateurs Diesel présentent des dynamiques élevées et sont bien adaptés aux applications où des demandes soudaines de puissance sont prévues.

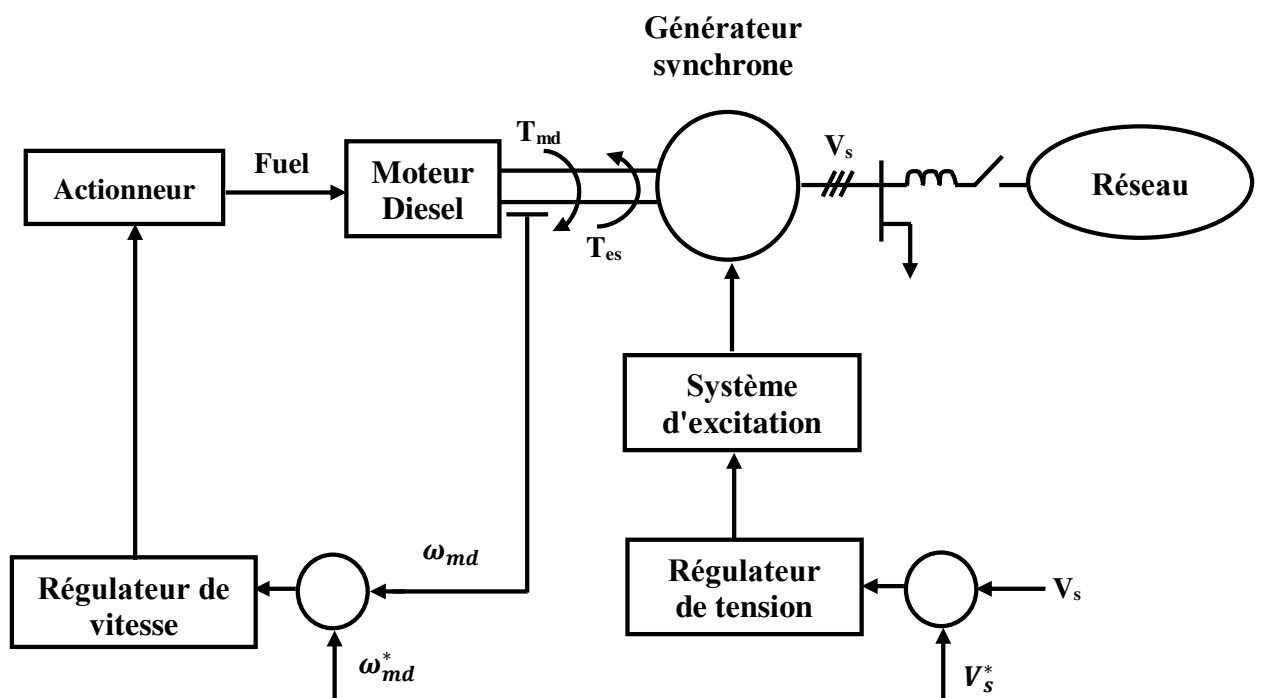


Figure II.1. Schéma bloc d'un générateur Diesel avec ses contrôleurs.

II.3. Les microturbinés [6] :

Les mini et les micro-turbines à gaz sont de très petites turbines à combustion. Elles sont issues d'applications aéronautiques (aussi nommées applications aérodérivatives type turbine d'hélicoptère). Leur gamme de puissance s'étend de 30 kW à quelques centaines de kW. Leur rendement électrique est de l'ordre de 20 à 30 % suivant leur charge.

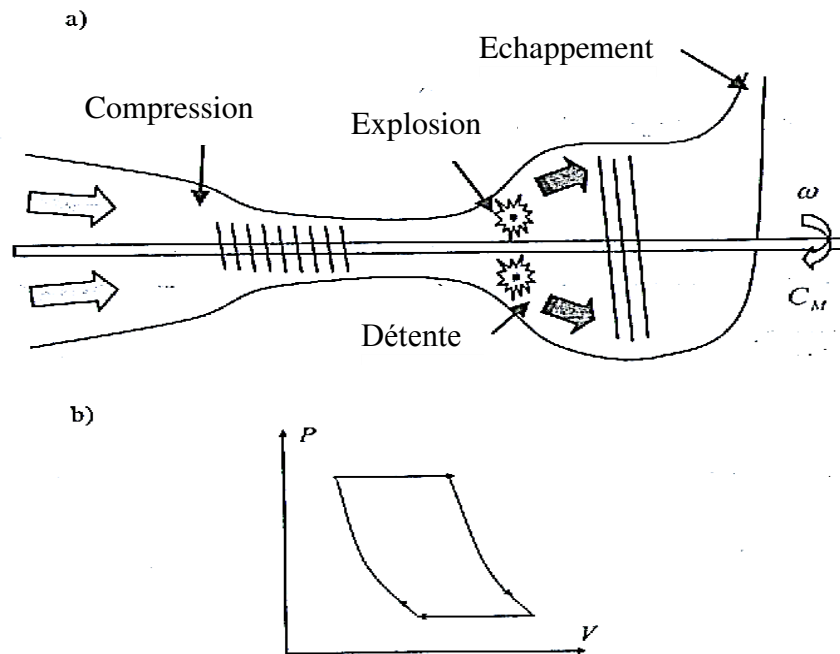


Figure II.2. Principe (a) et cycle thermodynamique (b) d'une turbine à gaz (deux phases adiabatiques et deux phases isobares).

II.4. Les moyens de stockage [6] :

L'énergie électrique ne peut pas être stockée directement de manière efficace et en quantité importante. Cependant, il existe plusieurs technologies de stockage qui emmagasinent indirectement l'énergie électrique sous une autre forme d'énergie (chimique, cinétique, etc.) et qui sont très utiles dans de nombreuses applications électriques.

Différents moyens de stockage peuvent être utilisés dans les réseaux de distribution. Les technologies les plus développées sont les batteries électrochimiques, les volants d'inertie et les super condensateurs.

II.4.1. Les batteries :

Dans les batteries, l'énergie est stockée sous forme électrochimique. Elles sont composées de deux électrodes séparées par un électrolyte et des interfaces dans les quelles interviennent des réactions d'oxydation ou de réduction qui cèdent ou absorbent des électrons. Les ions ainsi générés circulent dans l'électrolyte.

Les systèmes de batteries sont constitués d'un ensemble des modules de batteries à basse tension/puissance qui se connecte en parallèle ou en série pour obtenir les caractéristiques électriques désirées.

La quantité d'énergie stockée est donc obligatoirement limitée par la taille des batteries.

Les batteries stockent des charges en continu. Par conséquent, il est nécessaire de réaliser une conversion DC/AC pour interfacier une batterie avec un système à courant alternatif.

II.4.1.1. Les modèles des batteries :

Pour la représentation du comportement d'une batterie, il existe différents modèles.

- Le modèle à utiliser dépendra de l'étude à réaliser et de son objectif. Le plus simple, le modèle idéal (**figure II.4a**), représente la batterie comme une source de tension constante et il ne prend pas en compte les caractéristiques internes de la batterie (la tension ne dépend donc pas du courant fourni).

Cette démarche est utilisée lorsque dans la période d'analyse, la tension aux bornes de la batterie peut être considérée comme constante.

- Le modèle linéaire (**figure II.4b**) considère la résistance interne de la batterie. La tension E_b et la résistance R_b dépendent entre autres de l'état de décharge de la batterie.
- Le modèle de Thévenin (**figure II.4c**) est un modèle plus précis et considère la tension à vide (E_b), la résistance interne (R_{b2}) et la surtension (combinaison parallèle de C_b et R_{b1}). L'utilisation de ce modèle est nécessaire par exemple pour la conception optimale de l'interface de la batterie.

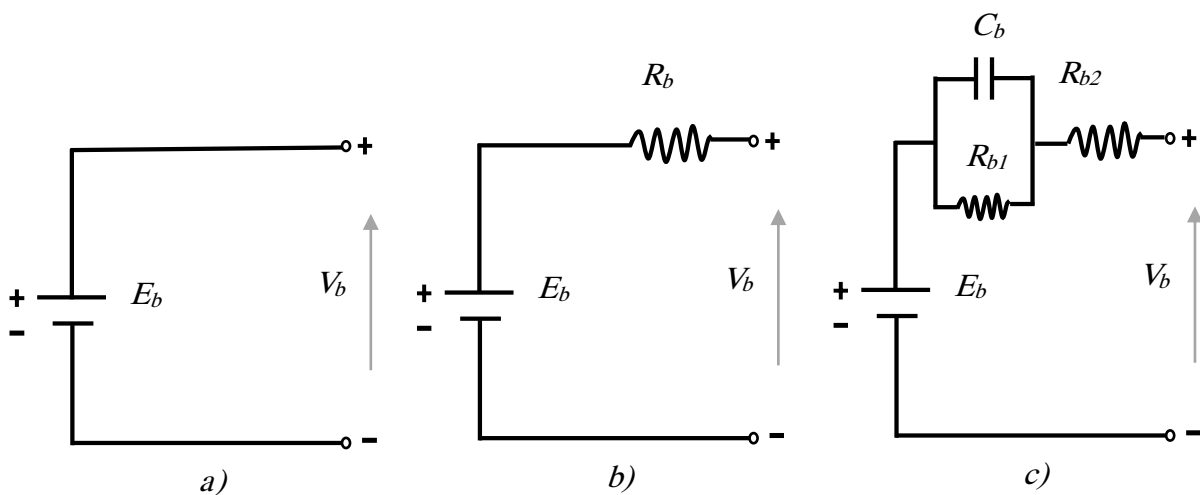


Figure II.3. Modèles électriques de batteries : a) modèle idéal ;
b) modèle linéaire ; c) modèle de Thevenin.

II.4.2. Les volants d'inertie :

Les volants d'inertie stockent l'énergie électrique sous forme d'énergie cinétique. Ils sont couplés à une machine électrique qui est connectée au système au travers d'un convertisseur de puissance comme on peut le voir dans la (figure II.4.).

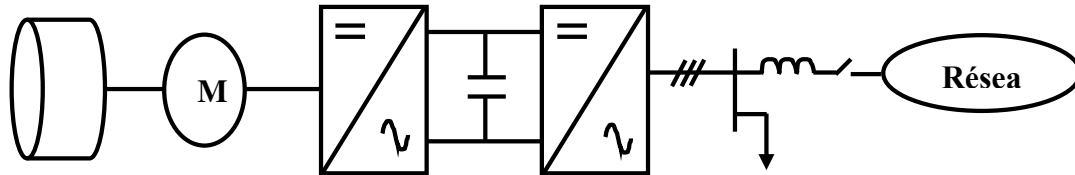


Figure II.4. Structure d'un volant d'inertie.

L'énergie stockée dépend du moment d'inertie du volant et du carré de la vitesse de rotation comme on peut le voir dans (II.1). Pour cela, ils travaillent avec des vitesses de rotation très élevées, autour de 90 000 tr/min :

$$E_{cin} = \frac{1}{2} J_v \Omega_v^2 \quad (II.1)$$

II.4.3. Les super-condensateurs :

Les supercondensateurs stockent l'énergie électrique sous forme d'énergie électrostatique. L'énergie stockée dépend de la capacité du condensateur et de la carré de la tension aux bornes du condensateur comme on peut le voir dans (II.2) :

$$E_{el} = \frac{1}{2} C_{sc} V_{sc}^2 \quad (II.2)$$

Ou :

C_{sc} La capacité du condensateur de stockage

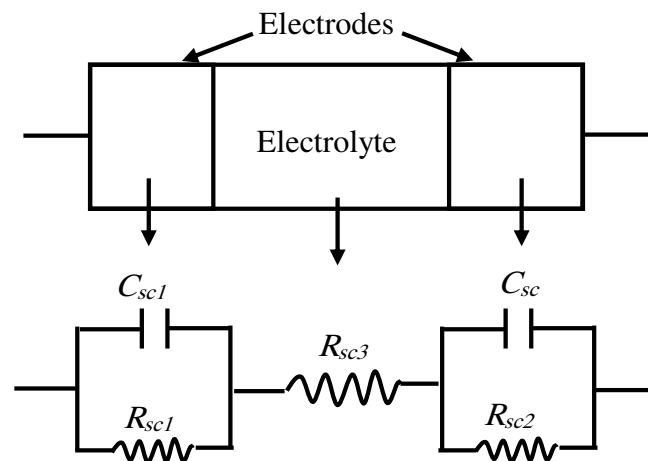
V_{sc}^2 La tension aux bornes du condensateur.

Le principe des super condensateurs est voisin de celui des condensateurs mais le film diélectrique est remplacé par un électrolyte conducteur ionique dans lequel le déplacement des ions s'effectue le long d'une électrode conductrice à très grande surface spécifique.

On obtient ainsi de meilleures énergies volumiques que dans les condensateurs mais avec une constante de temps de décharge plus élevée à cause de la lenteur de l'emplacement des ions dans l'électrolyte. La tension par élément est limitée à 2,5 ou 3 V (modules jusqu'à 1 500 F) et cela

nécessite généralement une mise en série des éléments pour atteindre des tensions supérieures. A la différence des dispositifs électrochimiques, il n'y a pas de réaction chimique, ce qui accroît considérablement la cyclabilité (1 000 fois celle d'une batterie au plomb). Les supercondensateurs sont adéquats pour les applications où des pics d'énergie sont nécessaires comme la qualité de l'énergie ou la traction.

Le modèle équivalent simplifié d'un supercondensateur par rapport aux éléments structuraux réels est illustré par la (figure II.5). La structure d'un supercondensateur est équivalente à la connexion



série de deux condensateurs connectés par la résistance de l'électrolyte.

Figure II.5. Modelé d'un supercondensateur

II.4.4. Comparaison des moyens de stockage [6] :

Le tableau II.2 résume les caractéristiques principales des systèmes de stockage analysés précédemment.

	Batteries	Volants d'inertie	Super condensateurs
Plage de puissance	Jusqu'à dizaines de MW	10 KW	10 KW – 1 MW
Temps de décharge	Heures	Seconds-Minutes	Seconds
Rondement	70% - 90%	90%	95%

Tableau II.2. Principales caractéristiques des systèmes de stockage analysés [6].

La **figure II.6** montre le rapport entre la densité d'énergie et la densité de puissance des systèmes de stockage analysés. On peut ainsi observer que les batteries ont la densité d'énergie la plus élevée mais la densité de puissance la plus faible. Au contraire, les supercondensateurs ont une densité de puissance plus élevée mais une densité d'énergie plus faible.

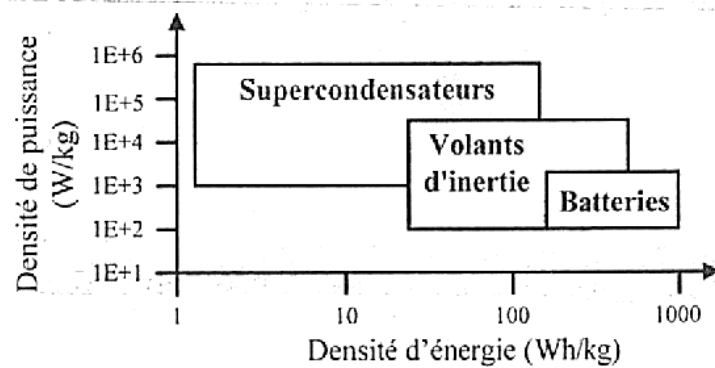


Figure II.6. Rapport entre la densité d'énergie et la densité de puissance des systèmes de stockage analysés [6].

II.5. Les générateurs éoliens [6] :

Les systèmes éoliens transforment l'énergie cinétique du vent en énergie électrique à travers des aérogénérateurs. Les générateurs éoliens peuvent être connectés au réseau individuellement ou ils peuvent être groupés pour former des parcs éoliens. La plage de puissances des systèmes éoliens varie entre quelques KWs (systèmes mini éoliens) jusqu'aux installations de quelques MWs (grands systèmes éoliens).

La conversion de l'énergie cinétique en énergie électrique se fait en deux étapes : au niveau de la turbine (rotor), qui extrait une partie de l'énergie cinétique du vent disponible pour la convertir en énergie mécanique puis au niveau de la génératrice, qui reçoit l'énergie mécanique et la convertit en énergie électrique. En fonction de la génératrice, il existe actuellement trois principaux types de systèmes éoliens : système éolien à vitesse fixe avec machine asynchrone à cage (**figure II.7a**), système éolien à vitesse variable avec machine asynchrone à double alimentation (**figure II.7b**) et système éolien à vitesse variable avec machine synchrone à inducteur bobine ou à aimants (**figure II.7c**).

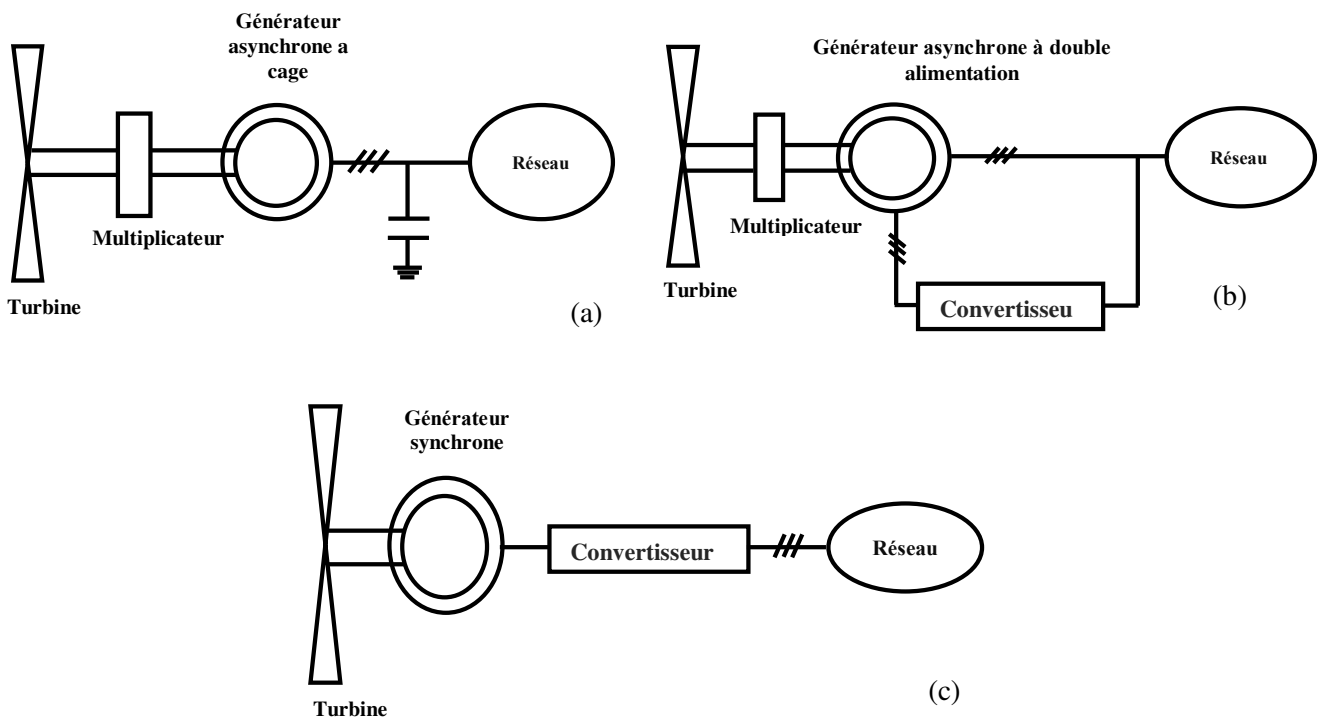


Figure II.7. Différents types de systèmes éolien : a) système éolien a vitesse fixe avec machine asynchrone a cage ; b) système éolien a vitesse variable avec machine asynchrone a doublé alimentation ; c) système éolien a vitesse variable avec machine synchrone a inducteur bobine ou a aimants.

Le premier système consiste en un générateur d'induction a cage directement connecte au réseau. La fréquence du réseau (et le nombre de pôles) détermine au glissement près la vitesse du générateur ainsi que celle de la turbine. Le multiplicateur permet d'adapter la vitesse de rotation de la turbine à la fréquence électrique souhaitée. Par conséquent, la vitesse de rotation de la turbine est pratiquement fixée pour n'importe quelle vitesse du vent. C'est pour cette raison que cette structure correspond à un générateur éolien à vitesse fixe. Un générateur asynchrone à cage consomme toujours de la puissance réactive. Cette énergie réactive est indésirable et est généralement compensée en partie ou entièrement par des banes de condensateurs ou autres compensateurs de réactif.

Les autres deux types de systèmes éoliens de la **figure II.7b et II.7c** sont des systèmes à vitesse variable. Dans ces systèmes, la vitesse mécanique de la turbine et la fréquence du réseau sont

découplées. Pour obtenir ce découplage, on utilise une interface d'électronique de puissance. De cette manière, la turbine tourne à vitesse variable, ajustée de manière optimale à tout instant à la vitesse du vent.

Dans le cas d'une machine asynchrone à double alimentation, le convertisseur back-to-back alimente les enroulements du rotor. Ainsi, la vitesse mécanique et la vitesse électrique du rotor sont découplées et la fréquence électrique du stator et du rotor peuvent être liées indépendamment de la vitesse mécanique du rotor.

Dans le système avec machine synchrone, le générateur est complètement couplé au réseau à travers le convertisseur de puissance.

L'avantage principal des systèmes à vitesse fixe est leur simplicité et leur bas coût. En ce qui concerne les systèmes à vitesse variable, ils ont une majeure efficacité car ils parviennent à maximiser la capture l'énergie du vent disponible et surtout réduisent le stress mécanique sur les parties mécaniques.

Indépendamment de la technologie de génération, la puissance mécanique extraite du vent est calculée par équation suivante :

$$P_t = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_v^3 C_p(\lambda, \theta) \quad (\text{II.3})$$

Où P_t est la puissance extraite du vent (W).

- ρ Est la densité de l'air (kg/m^3).
- R Et le rayon de la turbine éolienne (m).
- C_p Est le coefficient de puissance.
- λ Est le rapport de vitesse (le rapport entre la vitesse de rotation des pales, $\omega_t R$ (m/s) et la vitesse du vent, (m/s))
- θ Est l'angle de calage des pales ($^\circ$).

La courbe de puissance convertie d'une turbine en fonction de la vitesse du vent est généralement fournie par les constructeurs. La (**figure II.8**) montre les courbes typiques d'une turbine à vitesse constante contrôlée par décrochage aérodynamique et d'une turbine à vitesse variable contrôlée par angle de calage variable.

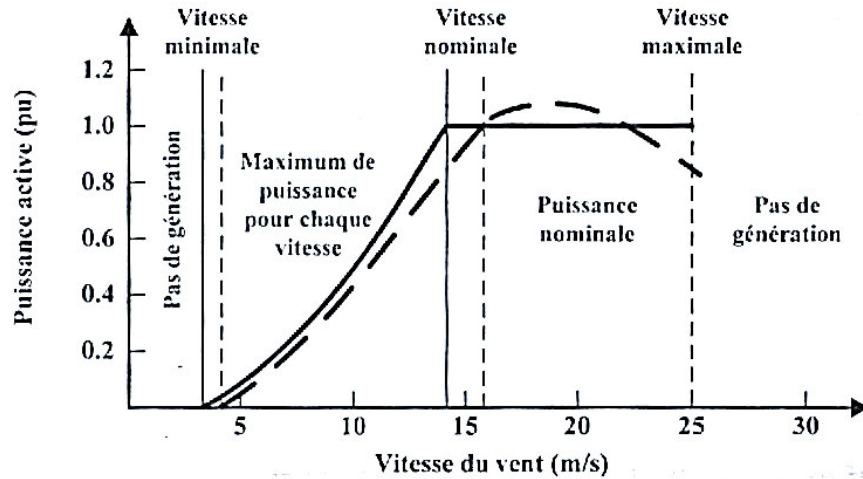


Figure II.8. Courbes puissance/vitesse du vent typiques pour une turbine à vitesse constant contrôle par décrochage aérodynamique (trait discontinu) et pour une turbine à vitesse variable contrôle par angle de calage variable (trait continu) [6].

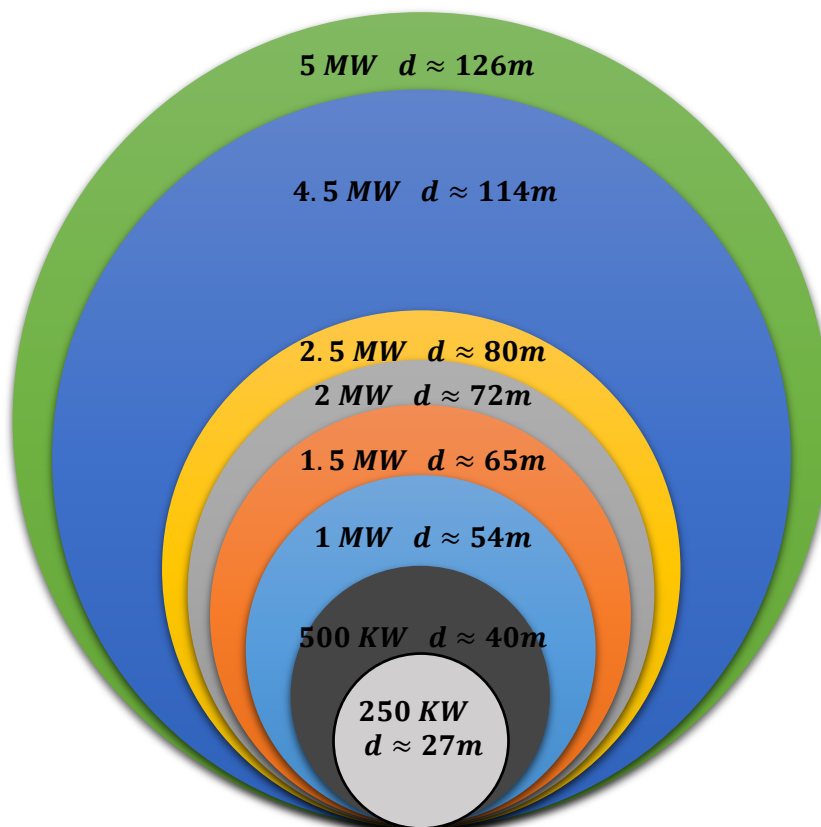


Figure II.9. Diamètre moyen des pales en fonction de la puissance électrique [6].

Les plus grosses éoliennes construites aujourd'hui font 7 MW. La (figure II.9) montre les diamètres typiques des générateurs éoliens de 225 kW à 5 MW.

II.6. Les panneaux photovoltaïques [6] :

La lumière du soleil peut être directement transformée en électricité par des panneaux photovoltaïques, sans bruit et sans pollution. Le module photovoltaïque monte sous la forme de panneaux solaires convertit lumière en électricité. L'énergie obtenue peut être ensuite stockée dans les batteries de façon à être disponible en permanence. Un régulateur protège la batterie contre les surcharges et les décharges.

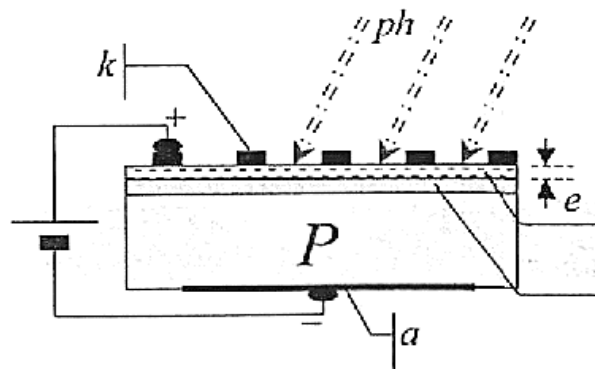


Figure II.10. Schéma de principe d'une cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est l'élément de base des panneaux solaires qui produisent de l'électricité. La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique. Le principe de fonctionnement de cette cellule fait appel aux propriétés du rayonnement et celles des semi-conducteurs.

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 W avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau). Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. La plupart des modules commercialisés sont composés de 36 cellules en silicium cristallin, connectées en série pour des applications en 12 V. Le courant de sortie, et donc la puissance, seront proportionnels à la surface du module (ou des modules connectés en parallèles). L'interconnexion de modules entre eux, en

série ou en parallèle, pour obtenir une puissance encore plus grande, définit la notion de champ photovoltaïque. Les grandes installations requièrent environ $40\,000\text{ m}^2$ par $\text{MW}^{\text{crête}}$. Les panneaux doivent être orientés face au soleil suivant une inclinaison optimale qui dépend de la latitude de l'installation.

Pour obtenir des courants et des tensions désirés, les cellules photovoltaïques sont regroupées en modules. De même, un panneau photovoltaïque est formé par plusieurs modules connectés en parallèle ou en série entre eux pour arriver à la puissance désirée.

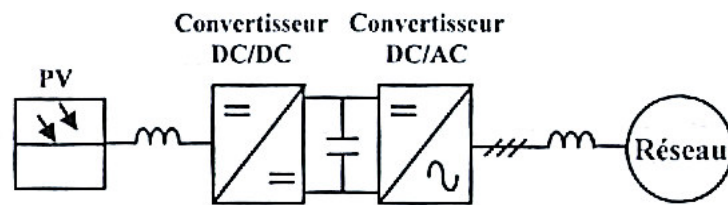


Figure II.11. Schéma bloc d'un générateur photovoltaïque.

Un générateur photovoltaïque est une source de courant continu et par conséquent sa sortie doit être adaptée pour sa connexion à un réseau alternatif ou pour alimenter une charge AC. On peut y parvenir en deux étapes avec un convertisseur DC/DC et un onduleur DC/AC (figure II.11) ou en une seule étape avec un onduleur DC/AC. Dans les deux cas, les convertisseurs sont contrôlés pour travailler dans le point d'opération optimal, c'est-à-dire dans le point de génération de puissance maximale (MPPT, Maximum Power Point Tracking). Une cellule photovoltaïque est généralement représentée par le modèle à une diode (figure II.12).

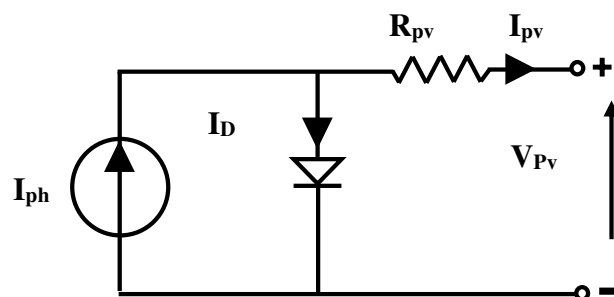


Figure II.12. Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque.

Le modèle contient une source de courant I_{ph} , une diode et une résistance qui représente la résistance interne de la cellule.

Le courant de sortie I_{pv} , est :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \left(\exp \frac{e(V_{pv} + I_{pv}R_{pv})}{mkT_c} - 1 \right) \quad (\text{II.4})$$

Le (tableau II.2) donne une comparaison des puissances installées provenant de générateurs photovoltaïques dans quelques pays européens entre 2005 et 2006. On constate que l'Allemagne est le pays le plus avancé dans ce domaine, suivi de l'Espagne [14].

Pays	Installation effectuée en 2005 (MW)	Installation effectuée en 2006 (MW)	Installation totale en 2005 (MW)	Puissance par habitant (W)
Allemagne	866	1153	3063	37.2
Autriche	4.8	5	29	3.5
Espagne	14.5	60.5	118	2.7
Italie	15.6	11.6	57.9	1
Grèce	0.9	1.2	6.7	0.6
Pays-Bas	1.7	0.5	51.2	3.1
France	5.3	6.4	32.7	0.5
Luxembourg	2.2	0.1	23.6	51.4
Royaume-Uni	2.7	2.8	13.6	0.2

Tableau II.2 : Puissance installée à base de l'énergie photovoltaïque [14].

II.7. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons exposé les différents moyens de production émergents, leurs principes de fonctionnement ainsi que leurs caractéristiques techniques de base. Dans le chapitre qui suit nous allons également étudier les méthodes d'analyse de l'écoulement de puissance des réseaux de distribution.



III.1. Introduction :

Ce chapitre présente les différentes méthodes d'analyse de l'écoulement de puissance dans les réseaux électriques de distribution. En général la détermination de l'écoulement des charges permet de connaître l'état réel du réseau dans le régime normal et en cas d'incident afin d'assurer une bonne qualité de l'énergie et une continuité de service acceptable.

Les études de l'écoulement de puissance permettent de planifier la construction et l'extension des réseaux électriques ainsi que la conduite et le contrôle de ces réseaux particulièrement avec l'intégration des sources distribuées.

III.2. But de l'étude de l'écoulement de puissance [7] :

Le but de l'écoulement de puissance se résume autour des points suivants :

- Assurer l'équilibre entre la production et la demande d'énergie électrique (L'amélioration de dépense de l'électricité, production d'énergie selon de besoin).
- Ne pas dépasser les valeurs limites (la stabilité théorique, selon bon la durée d'utilisation).
- Il faut conserver les tensions de jeu de barre entre les limites théoriques ($v_{min} < v < v_{max}$), en utilisant le contrôle de puissance.
- Planification du réseau (à partir de calcul de la charge) par l'augmentation de la sécurité de fonctionnement des réseaux.

III.3. Concept général de l'Écoulement de puissance :

Le problème d'écoulement de puissance est résolu pour la détermination en régime permanent des tensions complexes au niveau de jeux de barres du réseau, à partir de lesquelles les transits des puissances actives et réactives dans chaque ligne et transformateur sont calculés. Pratiquement, dans les méthodes de calcul d'écoulement de puissance, on exploite la configuration du réseau et les propriétés de ses équipements pour déterminer la tension complexe au niveau de chaque nœud. D'autre part, on considère une parfaite symétrie entre les trois phases du système triphasé du réseau électrique [5].

III.4. Classification des variables de l'écoulement de puissance [7] :

La solution du problème de l'écoulement de puissance nécessite l'établissement d'une classification adéquate des différents variables.

III.4.1. Les variables de perturbation ou non contrôlables

Parmi les douze de variables des équations de l'écoulement de puissance, les variables de la demande $P_{D1}, P_{D2}, Q_{D1}, Q_2, \dots \dots P_{Dn}, Q_{Dn}$ ne sont pas contrôlables car elles dépendent seulement des utilisateurs de la puissance. Les variables de perturbation avec cette définition constituent les composantes de la perturbation P.

$$p = \begin{bmatrix} P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ Pn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} PD1 \\ PD2 \\ QD1 \\ QD2 \\ \vdots \\ \vdots \\ PDn \\ QDn \end{bmatrix}$$

III.4.2. Les variables de contrôle et d'état :

Les variables $|V_1|, |V_2|, \dots |V_n|, \theta_1, \theta_2, \dots \theta_n, P_{G1}, P_{G2}, \dots, P_{Gn}, Q_{G1}, Q_{G2}, \dots, Q_{Gn}$ peuvent facilement être groupées en deux groupes, les variables de « contrôle » et variable « d'état ». Les variables $|V_1|, |V_2|, \dots |V_n|, \theta_1, \theta_2, \dots \theta_n$ sont définies comme variable d'état. Pour utiliser la notation connue dans la théorie de ces variables doivent être représentées par les variables $X_1 \dots \dots X_n$. Les variables $P_{G1}, P_{G2}, \dots, P_{Gn}, Q_{G1}, Q_{G2}, \dots, Q_{Gn}$ sont des variables de contrôle et qu'on préfère le symboliser par $U_1 \dots \dots U_n$ donc nous aurons.

$$x = \begin{bmatrix} x1 \\ x2 \\ x3 \\ x4 \\ \vdots \\ \vdots \\ xn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta1 \\ \theta2 \\ \theta3 \\ \theta4 \\ \vdots \\ \vdots \\ \theta n \end{bmatrix} \dots \dots x : \text{vecteur d'état} \qquad U = \begin{bmatrix} U1 \\ U2 \\ U3 \\ U4 \\ \vdots \\ \vdots \\ Un \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \\ \vdots \\ \vdots \\ Pn \end{bmatrix} \dots \dots U : \text{vecteur de controle}$$

Notons que dans un réseau électrique, les jeux de barres de charge forment de 80 à 90% de la totalité des jeux de barres.

III.5. Classification des jeux de barres [7] :

III.5.1. Jeu de barre de référence :

C'est un jeu de barre connecté à une source de tension considérée constante, et sans angle de phase est pris comme référence de calcul. Ses puissance actives et réactive, doivent être calculées d'après le calcul de la puissance pour s'adapter aux exigences de jeu de barre de contrôle.

III.5.2. Jeu de barre de générations (de contrôle) (PV bus) :

Ce sont les jeux de barre génératrice de réseau ou la puissance active et le module de la tension est connu puisqu'elles sont contrôlables ; par contre la puissance réactive et l'argument de la tension est inconnu.

III.5.3. Jeu de barre de charge (PQ bus) :

Ce sont les jeux de barre de la demande clientèles, pour ce genre, les puissances actives et sont données, mais l'amplitude de l'argument de la tension sont déterminer.

III.6. Modélisation des composants du réseau électrique [5] :

Les éléments qui interviennent dans le problème de répartition des charges sont ceux qui sont exposés à des hautes tensions et à des forts courants, à savoir : générateurs de puissance (machine synchrone), charges électriques, lignes de transports, transformateurs de puissances et compensateurs statiques.

III.6.1 Générateurs :

Le générateur est considéré comme le cœur du réseau électrique, il assure la production de l'énergie électrique demandé par le consommateur, Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, les générateurs sont modélisés comme des injecteurs de courants.

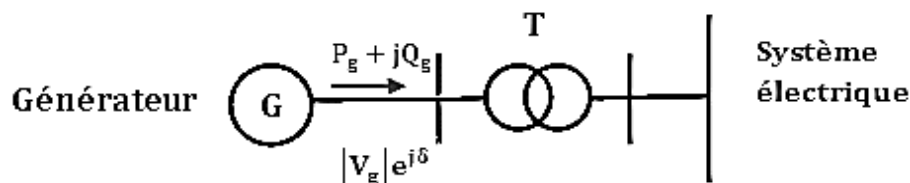


Figure III.1 : Modèles d'un générateur.

III.6.2. Lignes de transmission :

Les lignes de transmission de l'énergie électrique entre les nœuds i et j généralement représentée par le schéma équivalent par phase de type pi (π) comme indiqué sur la Figure (III.2) :

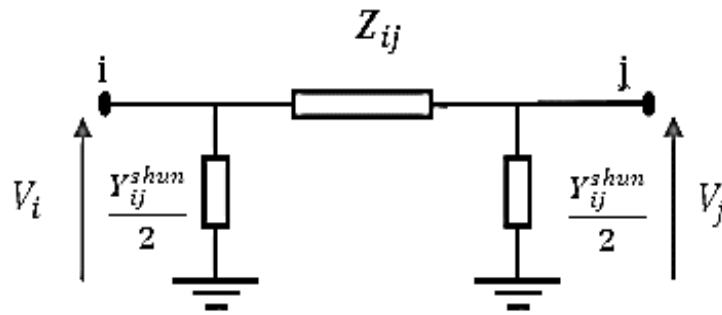


Figure III.2 : Schéma en pi d'une ligne de transmission.

Ce modèle est caractérisé par les paramètres suivants :

Z : c'est l'impédance série ou longitudinale par phase en (Ω) :

$$Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij} \tag{III.1}$$

Où R_{ij} et X_{ij} sont respectivement, la résistance et la réactance série de la ligne entre les jeux de barres i et j.

Y : L'admittance shunt par phase en (*en Siemens*) :

$$Y_{ij}^{shun} = g_{ij}^{shun} + jb_{ij}^{shun} \tag{III.2}$$

Où g_{ij}^{shun} et b_{ij}^{shun} sont, respectivement, la conductance et la susceptance capacitive shunts de la ligne entre les jeux de barres i et j.

Ces paramètres spécifiques pour des lignes ou des câbles avec une configuration donnée dépendent de la nature des conducteurs et de leurs géométries.

III.6.3. Charge électrique :

La charge électrique est souvent modélisée sous forme d'une impédance constante. Ils reflètent souvent des postes de répartition (sous-stations) qui alimentent des réseaux de distribution.

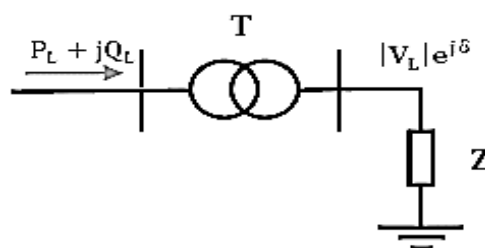


Figure. III.3 : Modèle de la charge électrique.

III.7. Étude du réseau de distribution radial :

III.7.1 Méthode simplifiée [2] :

Nous donnons dans cette section une description de la méthode simplifiée permettant de résoudre le problème de l'écoulement de puissance. Pour le calcul des chutes de tension soit le schéma unifilaire d'un réseau de distribution monophasé présenté dans la **figure (III.4)**.

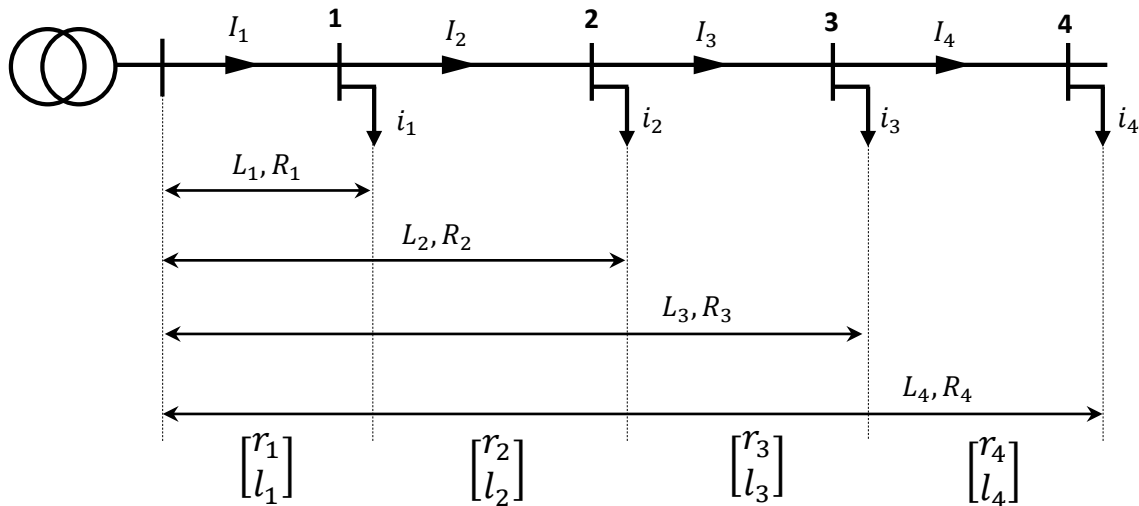


Figure III.4 : schéma unifilaire du réseau radial.

Tel que :

- i_1, i_2, i_3, i_4 : Courants des charges.
- I_1, I_2, I_3, I_4 : Courants transités dans les tronçons.
- L_1, L_2, L_3, L_4 : Longueurs des tronçons à partir du point source.
- R_1, R_2, R_3, R_4 : Résistances des tronçons à partir du point source.

V_1 : Tension source.

V_2 : Tension à l'extrémité de la ligne.

D'après le schéma de la **figure (III.4)** on peut écrire :

$$\Delta V = V_1 - V_2 = 2(I_1 r_1 + I_2 r_2 + I_3 r_3 + I_4 r_4) \quad (\text{III.3})$$



$$\begin{cases} I_1 = i_1 + i_2 + i_3 + i_4 \\ I_2 = i_2 + i_3 + i_4 \\ I_3 = i_3 + i_4 \\ I_4 = i_4 \end{cases} \quad (\text{III.4})$$

$$\begin{cases} R_1 = r_1 \\ R_2 = r_1 + r_2 \\ R_3 = r_1 + r_2 + r_3 \\ R_4 = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 \end{cases} \quad (\text{III.5})$$

$$\begin{cases} L_1 = l_1 \\ L_2 = l_1 + l_2 \\ L_3 = l_1 + l_2 + l_3 \\ L_4 = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 \end{cases} \quad (\text{III.6})$$

On remplace les équations (III.4), (III.5), (III.6) dans (III.3)

$$\Delta V = 2(i_1 R_1 + i_2 R_2 + i_3 R_3 + i_4 R_4) \quad (\text{III.7})$$

D'une manière générale :

$$\Delta V = V1 - V2 = 2 \sum_{i=1}^n i_j R_j \quad (\text{III.8})$$

$$r = \rho \frac{l}{S}, \quad R = \frac{L}{\gamma S} = \rho \frac{L}{S} \quad (\text{III.9})$$

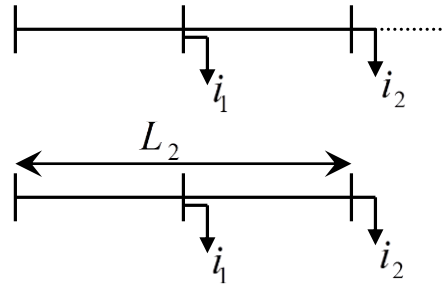
Avec :

- ρ : Résistivité du conducteur ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$).
- γ : Conductivité du conducteur ($\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$).
- S : Section du conducteur en mm^2 .

$$\Delta V = \frac{2}{\gamma S} \sum_{j=1}^n I_j \cdot l_j \quad (\text{III.10})$$

$$\Delta V = \frac{2}{\gamma S} \sum_{j=1}^n i_j \cdot L_j \quad (\text{III.11})$$

Pour une valeur de tension admissible on peut déduire la section nécessaire.



$$\begin{cases} S = \frac{2}{\gamma \cdot \Delta V_{adm}} \sum_{j=1}^n I_j \cdot l_j \\ S = \frac{2}{\gamma \cdot \Delta V_{adm}} \sum_{j=1}^n i_j \cdot L_j \end{cases} \quad (III.12)$$

Avec :

ΔV : Tension admissible en volt.

- On peut présenter les équations précédentes en fonction des puissances actives :

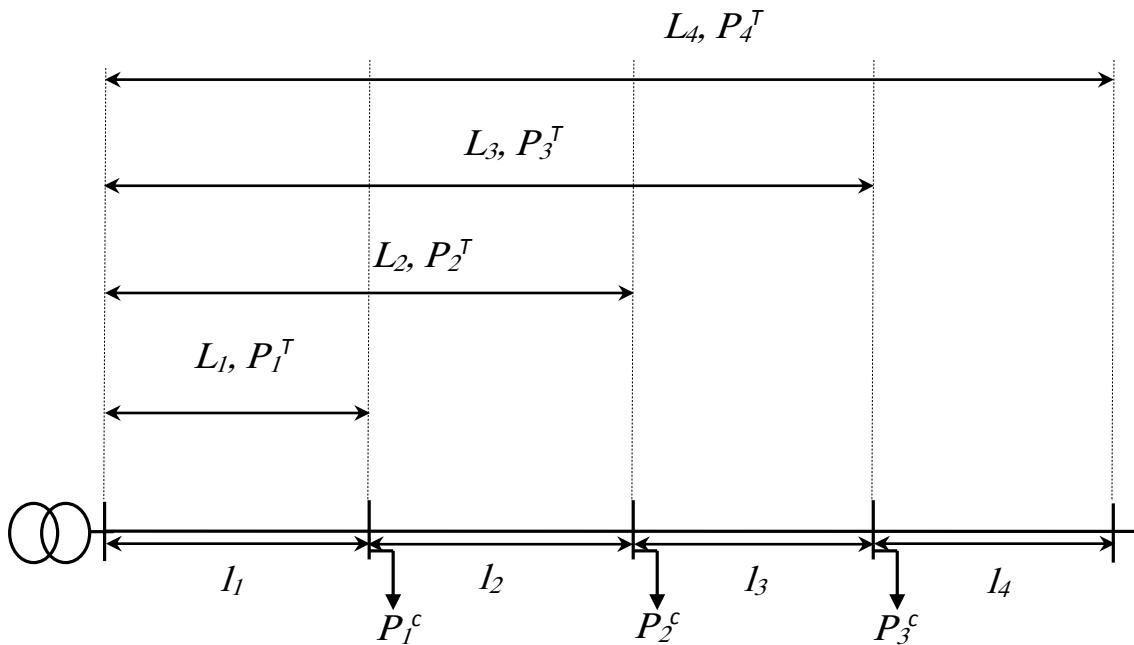


Figure III.5 : les puissances actives dans le réseau radial.

$$\Delta V = \frac{2}{\gamma \cdot S \cdot V_n} \sum_{j=1}^n P_j^T \cdot l_j \quad (III.13)$$

$$\Delta V = \frac{2}{\gamma \cdot S \cdot V_n} \sum_{j=1}^n P_j^c \cdot L_j \quad (III.14)$$

$$\Delta V\% = \frac{2 \times 100}{\gamma \cdot S \cdot V_n^2} \sum_{j=1}^n P_j^T \cdot l_j \quad (III.15)$$

$$\Delta V\% = \frac{2 \times 100}{\gamma \cdot S \cdot V_n^2} \sum_{j=1}^n P_j^c \cdot L_j \quad (\text{III.16})$$

- On peut déduire la section du conducteur nécessaire par la formule suivante :

$$S = \frac{2 \times 100}{\gamma \cdot \Delta V_{adm}\% \cdot V_n^2} \sum_{j=1}^n P_j^T \cdot l_j \quad (\text{III.17})$$

$$S = \frac{2 \times 100}{\gamma \cdot \Delta V_{adm}\% \cdot V_n^2} \sum_{j=1}^n P_j^c \cdot L_j \quad (\text{III.18})$$

III.7.2 Algorithme de résolution du problème de l'écoulement de puissance [5] :

La méthode initialement utilisée était la méthode de Gauss-Seidel, qui a l'inconvénient de converger en un nombre d'itérations proportionnel à la taille du réseau. Actuellement, la méthode universellement adoptée est la méthode de Newton-Raphson, dont le nombre d'itérations requis pour obtenir une solution est indépendant de la taille du réseau étudié.

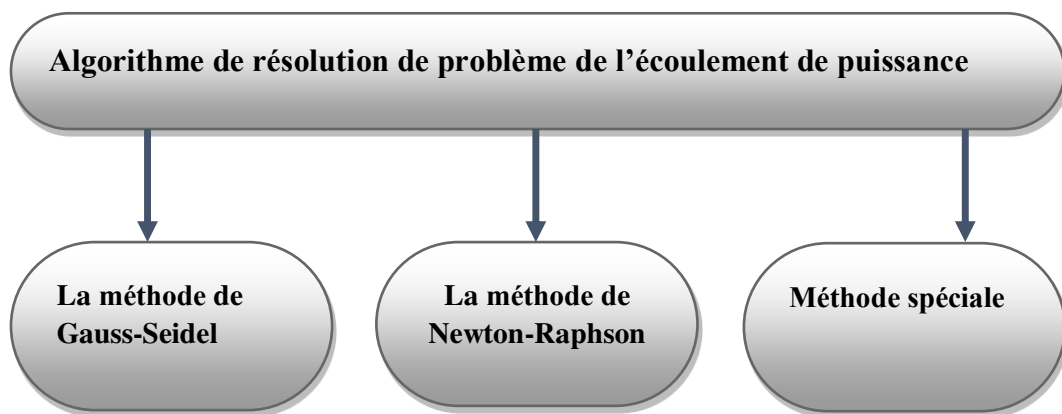


Figure III.6 : Différentes méthodes de résolution du problème de la répartition des charges.

III.7.2.1 Historique [7] :

Un grand nombre de mathématiciens, d'informaticien et d'ingénieur en consacré des années de leurs carrière pour développer les méthodes de calcul de l'écoulement de puissance (EP).

Avant 1992, les calculs de l'E.P se faisaient à la main, en 1929 les calculateurs de réseau (de westing house) des analyseurs des réseaux (génie électrique) furent employer le calcul de l'E.P. Ce n'est qu'en 1956 que fûtes développe la première méthode adéquate par WANT et HALE. Les premières méthodes étaient basées sur la méthode de Gausse-Seidel puis pour des raisons de convergence, la méthode de Newton-Raphson a été adoptée et développée par la suite en profitant de la nature de la matrice de l'admittance.

III.7.2.2 Méthode de Gauss-Seidel [7] :

Cette méthode se considère l'une des plus simple des méthodes itératives, à savoir que la méthode la plus efficace est la méthode de Newton-Raphson, mais la méthode de Gauss-Seidel s'intervient pour les raisons suivantes :

1. Elle possède une valeur scientifique sur à cause de sa simplicité.
2. Elle est utilisée dans le système à faible puissance, comme le nôtre, dans laquelle les programmes sont simples.
3. Elle s'utilise dans des nombreux cas des grands systèmes pour obtenir une solution approximative.

III.7.2.2.1 Application de G-S dans l'E.P :

-A partir de l'équation de base

$$S_k^* = P_k - J \cdot Q_k = V_k^* \sum_{i=0}^n Y_{ki} \cdot V_i \quad (\text{III.19})$$

Pour $i = 1, 2, \dots, n$

-D'où on peut écrire

$$S_k^* = P_k - J \cdot Q_k = V_k^* \cdot Y_{kk} \cdot V_k + V_k^* \sum_{i \neq k}^n Y_{ki} \cdot V_i. \quad (\text{III.20})$$

Ainsi on constate que les valeurs P, Q , dépend essentiellement de V_k^* et V_i .

Qui peuvent être calculé pour chaque itération selon l'algorithme suivant :

$$V_k^{(v+1)} = \frac{1}{Y_{kk}} \left[\frac{P_k - J \cdot Q_k}{(V_k^{(v)})^*} - \sum_{i \neq k}^n Y_{ki} \cdot V_i^{(v)} \right] \quad (\text{III.21})$$

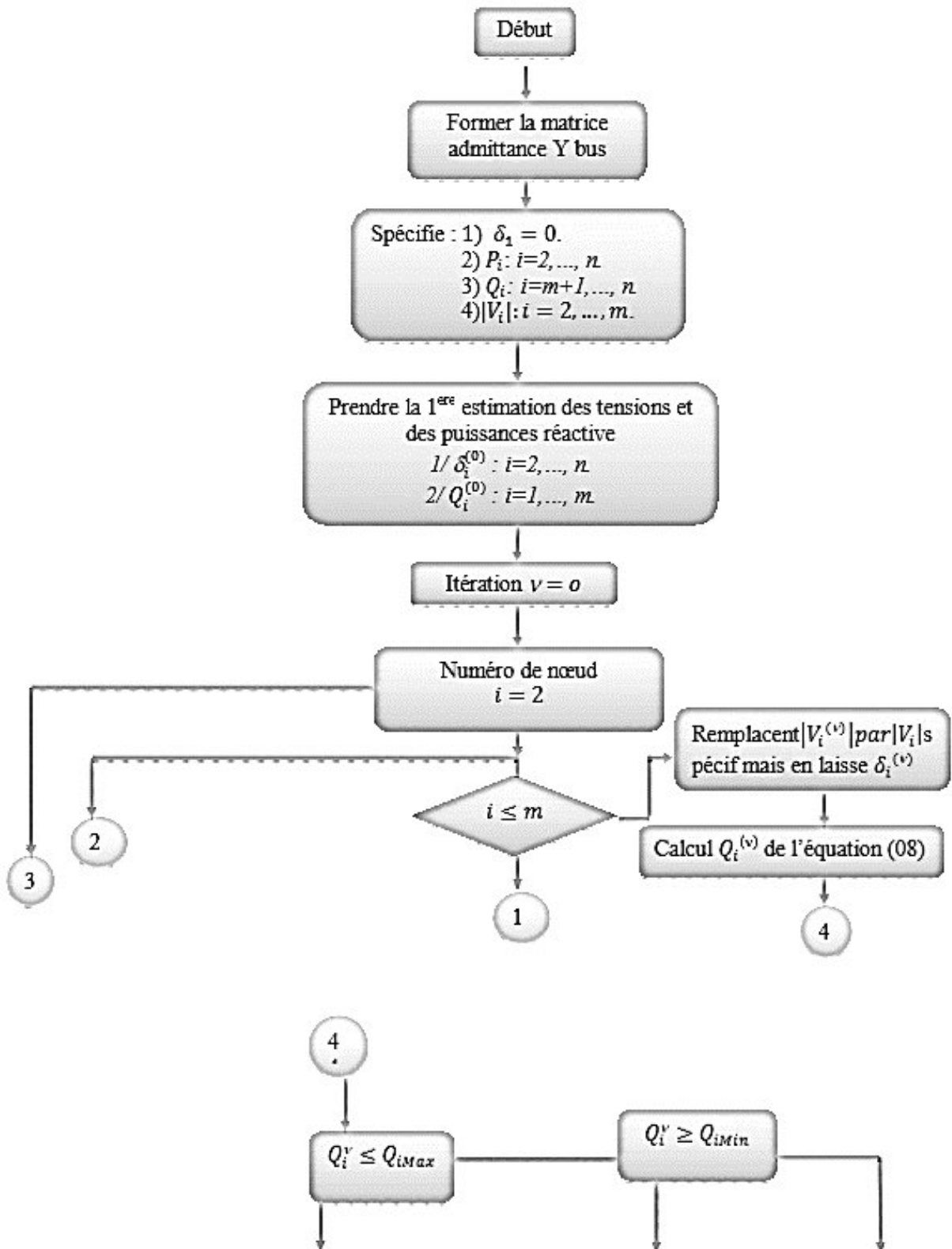
III.7.2.2.2 Organigramme de la méthode Gauss-Seidel :

On pose quelques remarques pour l'organigramme :

- $i = 1$: Nœud de référence.
- $i = 2, \dots, m$: Nœuds du contrôle.
- $i = m + 1, \dots, n$: Nœuds de charge.



On voit que l'itération sont continue jusqu'à la tolérance (ϵ) est vérifiée



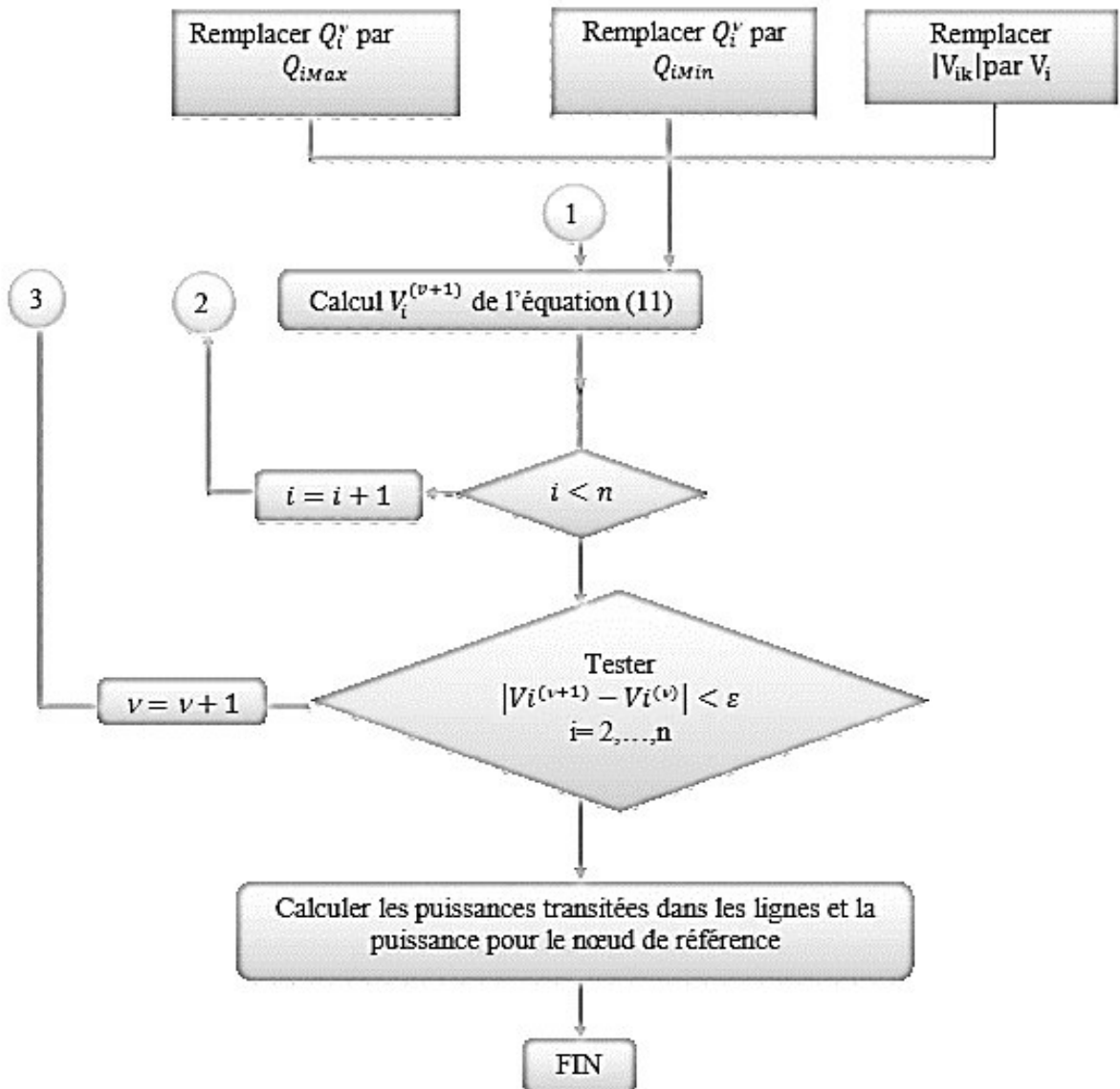


Figure III.7 : Organigramme de la méthode de Gauss-Seidel.

III.7.2.3 Méthode de Newton-Raphson :

La technique itérative de Newton-Raphson converge avec une même vitesse, mesurée par le nombre d'itérations, pour les larges et courts systèmes, en moins de quatre à cinq itérations en général. C'est pour cette raison que la méthode de N-R est la plus utilisée pour l'étude des larges systèmes.

III.7.2.3.1 Représentation géométrique de la méthode de N-R [5] :

Elle est basée sur la détermination de la tangente à la courbe $f(x)$ en chaque point $(x^{(k)}, f(x^{(k)}))$. L'intersection de cette tangente avec l'axe des x fournit le point $x^{(k+1)}$, $(\Delta x^{(k+1)})$, étant une approximation de l'erreur commise sur (x) à l'itération (k) .

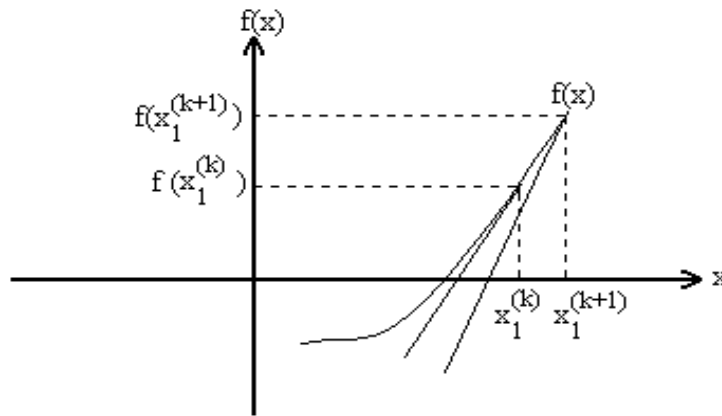


Figure III.8 : Représentation géométrique de la méthode de N-R.

III.7.2.3.2 Algorithme de N-R dans un système de dimension n :

$$f_n(x^{(0)}) + \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_1}\right) \Delta x_1^{(0)} + \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_2}\right) \Delta x_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right) \Delta x_n^{(0)} = 0 \quad (\text{III.22})$$

Les termes $\left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)|_0, \dots, \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_{1n}}\right)|_0$ Correspond a la dérivée partielle évaluée avec les valeurs $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}$

Ou dans une notation compacte : $f(x^{(0)}) + J^{(0)} \Delta x^{(0)} \approx 0$

La matrice carrée dite Jacobienne : $[J]^{(0)}$

De cette dernière équation on tire ensuite la vectrice erreur

$$\Delta x^{(0)} = -[j^{(0)}]^{-1} f(x^{(0)})$$

Mais :

$$\Delta x^{(0)} = x^{(1)} - x^{(0)} \text{ donc } x^{(1)} = x^{(0)} - [j^{(0)}]^{-1} f(x^{(0)}) \quad (\text{III.23})$$

En général :

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - [j^{(k)}]^{-1} f(x^{(k)}) \quad (\text{III.24})$$

III.7.2.3.3 Arrêt des opérations :

On a vu que théoriquement la solution n'est atteinte qu'après une infinité d'itérations. En pratique, on arrête les opérations pour l'un des tests suivants :

Si $f(x^{(k)})$ est quasiment nulle.

Si l'amélioration de $\mathbf{x}^{(k)}$ d'une itération à la suivante ne justifie pas l'effort de calcul supplémentaire.

Si la convergence n'est pas obtenue avant un nombre d'itération fixe. Le processus est considéré comme non convergent pour l'estimation initiale $\mathbf{x}^{(0)}$ donnée.

III.7.2.3.4 Application de la méthode de N-R, au problème de l'écoulement de puissance :

$$P_i = \sum_{j=1, j \neq i}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j + \theta_{ij}) \quad (\text{III.25})$$

Et

$$Q_i = \sum_{j=1, j \neq i}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j + \theta_{ij}) \quad (\text{III.26})$$

L'approximation linéaire est obtenue par un développement en série de Taylor les deux équations (III.25) et (III.26) de l'écoulement de puissance :

$$\Delta P_i = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} \Delta \delta_j + \frac{\partial P_i}{\partial V_j} \Delta V_j \right) \quad (\text{III.27})$$

$$\Delta Q_i = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} \Delta \delta_j + \frac{\partial Q_i}{\partial V_j} \Delta V_j \right) \quad (\text{III.28})$$

Ou en forme matricielle

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V \\ \Delta \delta \end{bmatrix} \quad (\text{III.29})$$

Où H, N, J et L sont des sous matrices de jacobéenne, sont déterminées comme suit :

Les éléments diagonaux de la matrice Jacobéenne

$$H_{ii} = \frac{dP_i}{d\delta_i} = \sum_{j=1, j \neq i}^N V_i V_j Y_{ij} \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (\text{III.30})$$

$$J_{ii} = \frac{dQ_i}{d\delta_i} = \sum_{j=1, j \neq i}^N V_i V_j Y_{ij} \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (\text{III.31})$$

$$N_{ii} = \frac{dP_i}{dV_i} = 2V_i Y_{ii} \cos \theta_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^N V_j Y_{ij} \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (\text{III.32})$$

$$L_{ii} = \frac{dQ_i}{dV_i} = -2V_i Y_{ii} \sin \theta_{ii} - \sum_{j=1, j \neq i}^N V_j Y_{ij} \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (\text{III.33})$$

De la même manière, les éléments hors diagonaux de la matrice Jacobienne sont :

$$H_{ij} = \frac{dP_i}{d\delta_j} = -V_i V_j Y_{ij} \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (\text{III.34})$$

$$J_{ij} = \frac{dQ_i}{d\delta_j} = -V_i V_j Y_{ij} \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (\text{III.35})$$

$$N_{ij} = \frac{dP_i}{dV_j} = V_j Y_{ij} \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (\text{III.36})$$

$$L_{ij} = \frac{dQ_i}{dV_j} = -V_j Y_{ij} \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (\text{III.37})$$

Le principe général du fonctionnement de la méthode de N-R est représenté sur l'organigramme de la figure (III.10) :

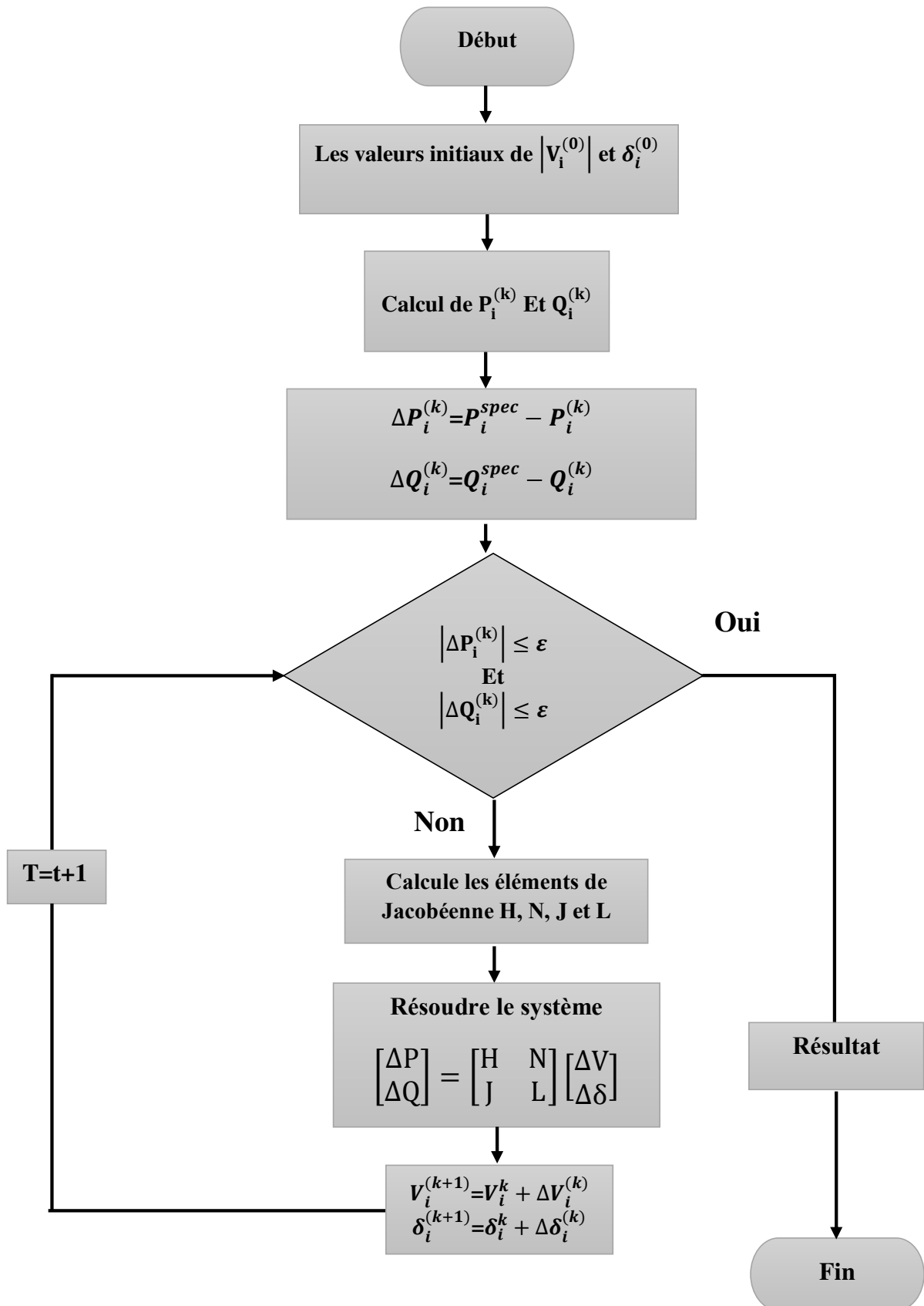


Figure III.9 : Organigramme de la méthode de N-R.

Le calcul de l'écoulement de puissance par l'utilisation de la méthode Newton-Raphson, et résumé dans les étapes suivantes :

1. Initialiser le compteur d'itération, $t=0$.
2. Former la matrice d'admittance Y .
3. Affecter des valeurs initiales aux modules et phases des tensions, $|V_i^{(0)}|$ et $\delta_i^{(0)}$ d'habitude, les valeurs initiales sont $|V_i^{(0)}| = 1 \text{ p.u}$ et $\delta_i^{(0)} = 0$.
4. Calculé les puissances $P_i^{(k)}$ et $Q_i^{(k)}$.
5. Calculer le vecteur des écarts de puissances $\Delta P_i^{(k)}$ et $\Delta Q_i^{(k)}$ comme suit :

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{spec} - P_i^{(k)} \quad (\text{III.38})$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{spec} - Q_i^{(k)} \quad (\text{III.39})$$

Les écarts de puissances représentent la différence entre l'injection des puissances spécifiées et la valeur actuelle de l'injection des puissances calculées sur la base des formules

$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij})$ et $Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij})$ et, en fonction des valeurs actuelles des variables d'état.

6. Vérifier la convergence. Si le vecteur des écarts de puissance est inférieur à une certaine précision $|\Delta P_i^{(k)}| \leq \varepsilon$ et $|\Delta Q_i^{(k)}| \leq \varepsilon$ stop. Sinon, continuer.
7. Calculer les éléments de la matrice Jacobienne (H, N, J et L) à partir de (III.30)-(III.37).
8. Résoudre le système (III.29) par rapport à $[\Delta V, \Delta \delta]^T$, par l'inversion directe de la matrice jacobienne ou par la technique de factorisation triangulaire et l'élimination gaussienne.
9. Calculer les nouvelles estimations des variables d'états :

$$V_i^{(k+1)} = V_i^k + \Delta V_i^{(k)} \quad (\text{III.40})$$

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^k + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (\text{III.41})$$

10. Incrémenter k de 1 et retourner à l'étape 4, jusqu'à le vecteur des écarts de puissance est inférieur à la valeur de précision.

III.7.2.3.5 Les puissances transites et les pertes :

La dernière étape de l'analyse de l'écoulement de puissance, c'est le calcul des puissances transites et les pertes au niveau des lignes, pour cela on considère le modèle en π d'une ligne reliant entre les deux jeux de barres i et j , montré dans la **Figure III.10**.

Le courant I_{ij} transité dans la ligne i-j, mesuré au jeu de barres i, définit positif de i vers le jeu de barres j, est obtenu par :

$$I_{ij} = I_l + I_{i0} = (V_i - V_j)Y_{ij} + V_i Y_{i0} \tag{III.42}$$

Et le courant inverse mesuré au jeu de barres j vers le jeu de barres i, s'écrit :

$$I_{ji} = -I_l + I_{j0} = (V_j - V_i)Y_{ij} + V_j Y_{j0} \tag{III.43}$$

En représente la puissance apparente S_{ij} s'écoulant au jeu de barres i ver le jeu de barres j, et la puissance inverse S_{ji} , du jeu de barres j ver i, sont :

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* = V_i (V_i^* - V_j^*) Y_{ij}^* + V_i^2 Y_{i0}^* \tag{III.44}$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* = V_j (V_j^* - V_i^*) Y_{ij}^* + V_j^2 Y_{j0}^* \tag{III.45}$$

On représente la puissance perdue ΔS_{ij} dans la ligne i-j, par la somme algébrique des puissances apparentes S_{ij} et S_{ji}

$$\Delta S_{ij} = S_{ij} + S_{ji} \tag{III.46}$$

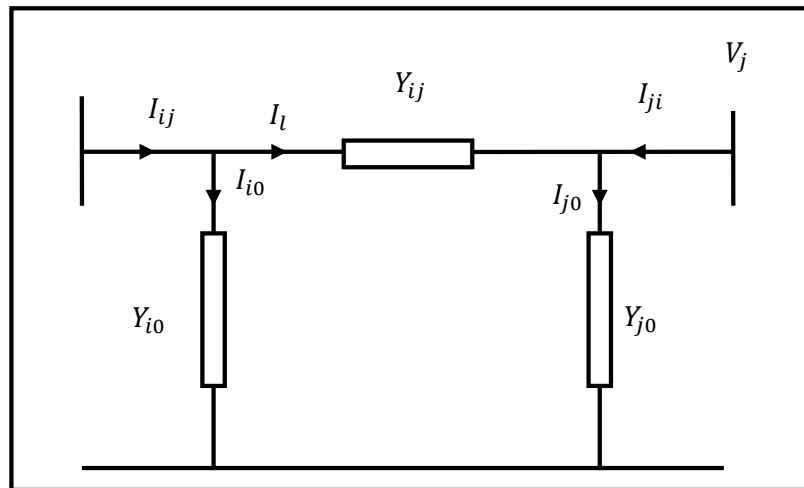


Figure III.10 : Transit de puissance dans une ligne électrique.

III.7.2.4 Méthode spéciale [12] :

Cette méthode est appelé spéciale puisque elle permet de résoudre l'écoulement de puissance dans les réseaux de distribution avec une grande efficacité du point de vue qualité de solution et qualité de convergence.

III.7.2.4.1 Modélisation mathématique d'un réseau de distribution radial :

Cette section est consacré à donner une formulation mathématique d'une variante de la méthode spéciale utilisée pour résoudre le problème de l'écoulement de puissance dans les réseaux électriques de distribution. Les équations démontrés sont généralisées et peut être utilisées pour déterminer les tensions aux niveaux des jeux de barres, les puissances active et réactives transitées dans les branches, les pertes dans chaque branche, ainsi que les pertes totales engendrées.

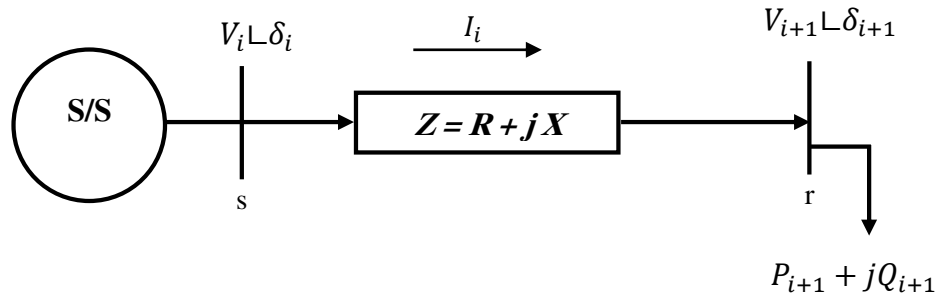


Figure III.11 : Réseau radial simple a deux jeux de barres.

$V_i = V_i \angle \delta_i$	Tension au jeu de barres (s).
$V_{i+1} = V_{i+1} \angle \delta_{i+1}$	Tension au jeu de barre (r).
$I_i = I_i \angle -\theta_i$	Courant transités dans les branches.
$Z_i = Z_i \angle \phi_i$	L'impédance de la ligne, $Z_i = R_i + j X_i$.

Les étapes suivantes illustres la démonstration de la formulation généralisée de la méthode de calcul dite méthode spéciale.

-A partir du schéma équivalent présenté dans la **figure III.11**

$$V_{i+1} = V_i - I_i Z_i \tag{III.47}$$

$$|V_{i+1}| \angle \delta_{i+1} = |V_i| \angle \delta_i - |I_i| \angle -\theta_i * |Z_i| \angle \phi_i \tag{III.48}$$

$$|V_{i+1}| \cos \delta_{i+1} + |V_{i+1}| \sin \delta_{i+1} = |V_i| \cos \delta_i + |V_i| \sin \delta_i - |I_i| (\cos \theta_i - j \sin \theta_i) (R_i^2 + X_i^2) \tag{III.49}$$

-Extraire les parties réelles et imaginaires de l'équation (III.49)

$$|V_{i+1}| \cos \delta_{i+1} = |V_i| \cos \delta_i - |I_i| (R_i \cos \theta_i + X_i \sin \theta_i) \tag{III.50}$$

$$|V_{i+1}| \sin \delta_{i+1} = |V_i| \sin \delta_i - |I_i| (R_i \sin \theta_i + X_i \cos \theta_i) \tag{III.51}$$

- Combiner les deux équations (III.50) et (III.51) : mettre au carré et faire la somme.



$$|V_{i+1}|^2 = |V_i|^2 - 2|V_i||I_i| \cos \delta_i \{(R_i \cos \theta_i + X_i \sin \theta_i)\} + |I_i|^2 \{(R_i^2 + X_i^2)\} - 2|V_i||I_i| \sin \delta_i \{(X_i \cos \theta_i - R_i \sin \theta_i)\} \quad (III.52)$$

$$|V_{i+1}|^2 = |V_i|^2 - 2|V_i||I_i|\{R(\cos(\delta_i - \theta_i)) + X \sin(\delta_i - \theta_i)\} + |I_i|^2\{(R_i^2 + X_i^2)\} \quad (III.53)$$

$$|V_{i+1}|^2 = |V_i|^2 - 2|V_i||I_i||Z_i| \cos(\delta_i - \theta_i - \phi_i) + |I_i|^2 \{(R_i^2 + X_i^2)\} \quad (III.54)$$

- On $\delta_i - \theta_i - \phi_i$ est très petite, alors $\cos(\delta_i - \theta_i - \phi_i) \approx 1$

$$|V_{i+1}|^2 = |V_i|^2 - 2|V_i||I_i||Z_i| + |I_i|^2\{(R_i^2 + X_i^2)\} \quad (III.55)$$

$$|V_{i+1}|^2 = [|V_i - |I_i||Z_i|]^2 \quad (III.56)$$

$$|V_{i+1}| = |V_i| - |I_i||Z_i| \quad (III.57)$$

- L'expression du courant au niveau du jeu de barre i est donnée par :

$$|I_i| = \frac{(P_i^2 + Q_i^2)^{1/2}}{|V_{i+1}|} \quad (III.58)$$

- L'expression du courant au niveau du jeu de barre i+1 est donnée par :

$$|I_i| = \frac{(P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2)^{1/2}}{|V_{i+1}|} \quad (III.59)$$

- On remplace l'équation (III.58) dans l'équation (III.56)

$$|V_{i+1}| = |V_i| - \frac{(P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2)^{1/2}}{|V_{i+1}|} * |Z_i| \quad (III.60)$$

$$|V_{i+1}|^2 = |V_i||V_{i+1}| - (R_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2)^{1/2} * (R_i^2 + X_i^2) \quad (III.61)$$

$$|V_{i+1}|^2 - |V_i||V_{i+1}| + (P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2)^{1/2} * (R_i^2 + X_i^2) = 0 \quad (III.62)$$

- La solution de l'équation (III.61) donne :

$$|V_{i+1}| = \frac{|V_i| \pm (|V_i|^2 - 4((P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2)^{1/2})(R_i^2 + X_i^2))^{1/2}}{2} \quad (III.63)$$

-Les pertes actives et réactives totales dans toutes les branches sont déterminées par les formules généralisées suivantes.

$$P_{LOSS}(i, i + 1) = |I_i|^2 * R_i \quad (III.64)$$

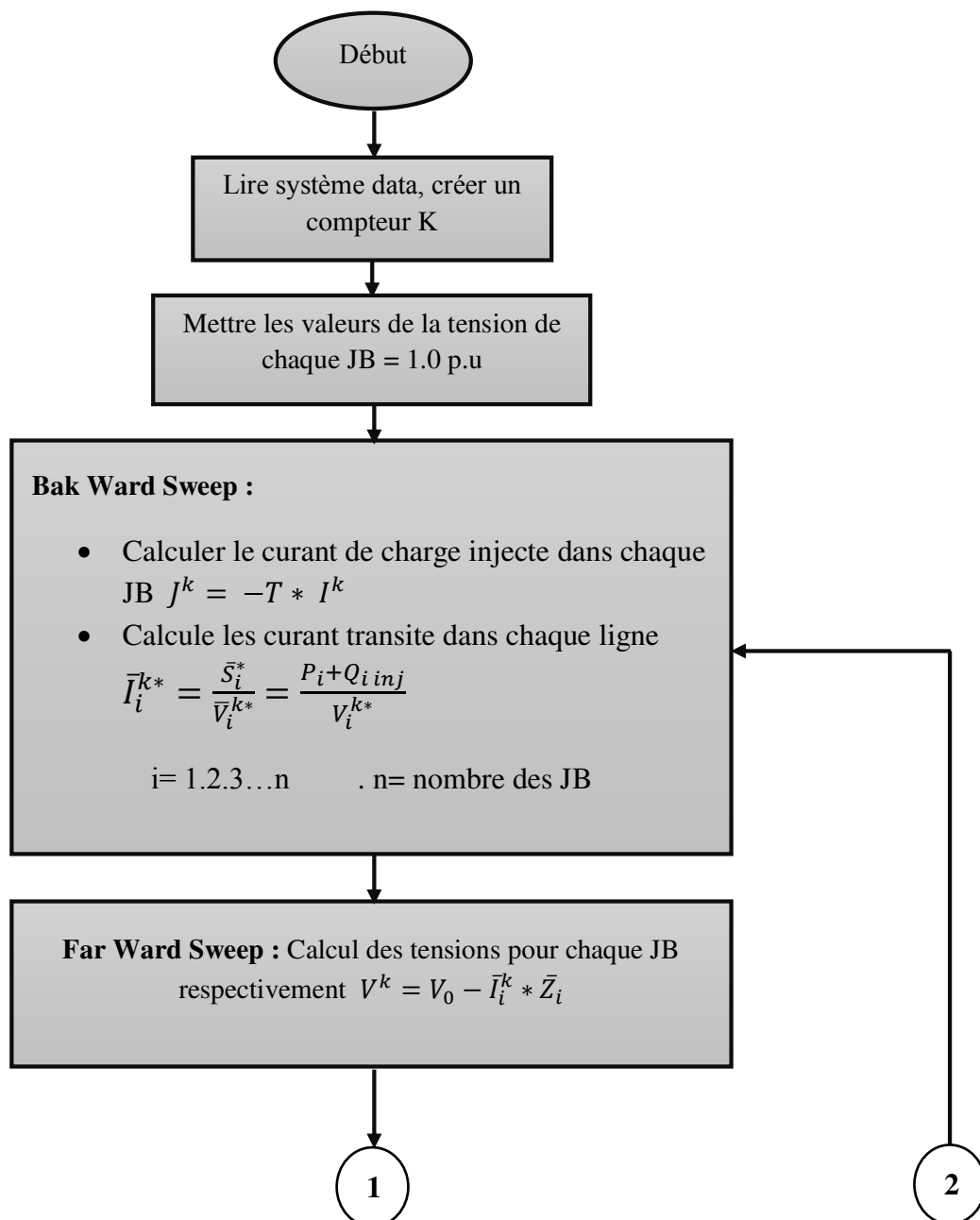
$$P_{LOSS}(i, i + 1) = \frac{(P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2)}{|V_{i+1}|^2} * R_i \tag{III.65}$$

$$Q_{LOSS}(i, i + 1) = \frac{(P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2)}{|V_{i+1}|^2} * X_i \tag{III.66}$$

- Les pertes actives totales engendrées dans le réseau sont données par :

$$P_{T,LOSS} = \sum_{i=1}^{n-1} P_{LOSS}(i, i + 1) \tag{III.67}$$

Le principe général du fonctionnement de la méthode spéciale est représenté dans l'organigramme de la **figure (III.12)** :



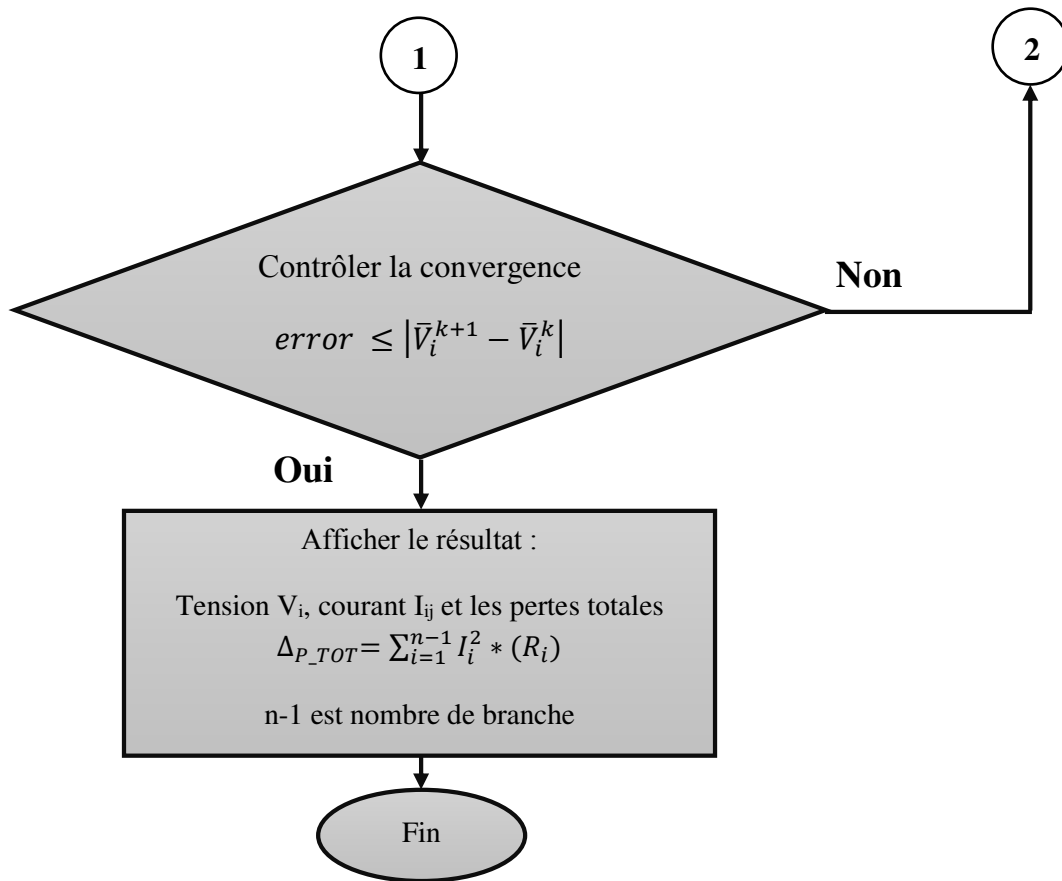


Figure III.12 : Organigramme de la méthode spéciale.

III. 8. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exposés les différentes méthodes utilisées pour l'analyse de l'écoulement de puissance dans les réseaux électriques de distribution. Trois méthodes sont utilisées par les experts pour l'analyse du problème de l'écoulement de puissance à savoir, la méthode de Gauss-Seidel, la méthode de Newton-Raphson, et en particulier la méthode spéciale la plus robuste appelé méthode spéciale. On général le choix entre ces méthodes dépend des caractéristiques des réseaux à exploités. Le prochain chapitre sera consacré à l'application de la méthode de N-R pour l'analyse de l'écoulement des charges dans les réseaux de distribution avec considération des sources distribuées.

IV. 1. Introduction :

Ce chapitre présente les résultats numériques relatifs à l'intégration des ressources distribuées dans les réseaux de distribution. Plusieurs tests basés sur la localisation et la capacité des ressources ont été effectués dans le but de minimiser les pertes totales engendrés ainsi que la réduction de la déviation de la tension dans tous les jeux de barres du réseau de distribution.

Le but de cette première partie est de déterminer d'une manière heuristique la localisation et la capacité efficace de sources distribuées. Deux réseaux tests ont été considérés pour valider l'importance et l'impact de l'intégration des sources distribuées pour améliorer l'efficacité de l'exploitation des réseaux de distribution.

IV. 2. Tests et application :

IV. 2. 1. Description du réseau test I (12 jeux de barres)

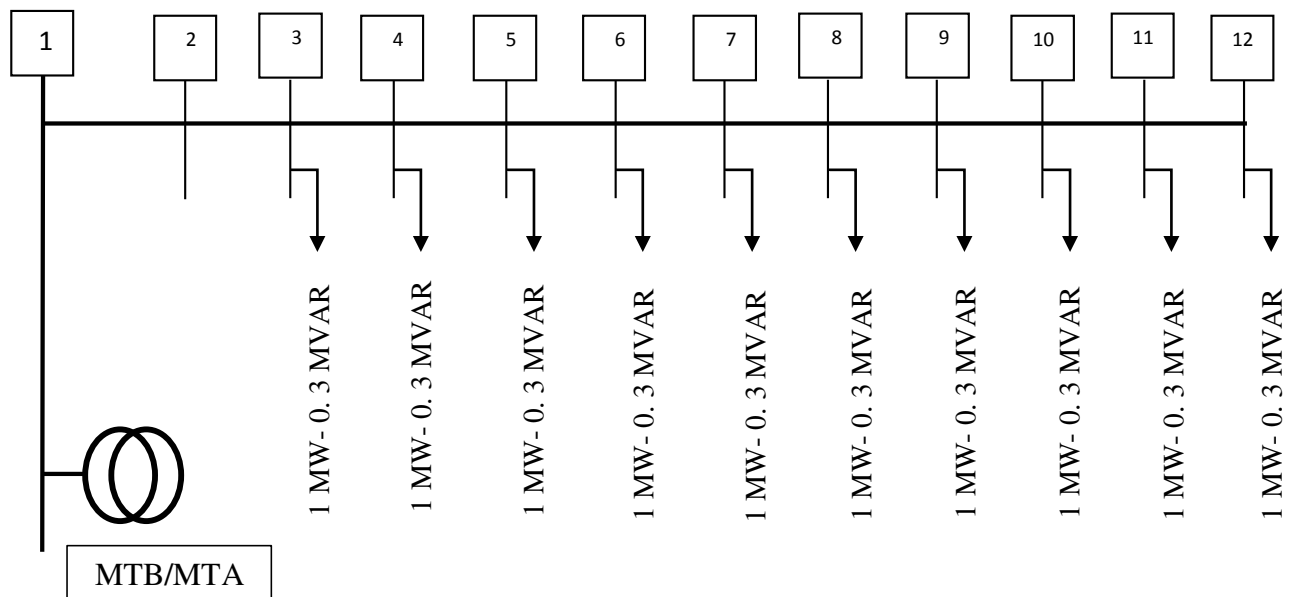


Figure IV.1 : Schéma unifilaire du réseau radial.

Ce premier réseau test assure la livraison de l'énergie aux consommateurs sous une tension 12.66 KV, ce réseau est de type radial composé d'une branche principale, le nombre de nœuds et de branches sont 12 et 13 respectivement, la puissance active demandée total est de 10 MW, la puissance réactive totale demandée est de 3 MVAR. Le schéma unifilaire du réseau test est présenté dans la **figure IV.1**. Les caractéristiques techniques des branches sont présentées dans le **tableau IV.1**.

Branches	R	X
1-2	0.035	0.570
2-3	0.08	0.17
3-4	0.08	0.17
4-5	0.08	0.17
5-6	0.08	0.17
6-7	0.08	0.17
7-8	0.08	0.17
8-9	0.08	0.17
9-10	0.08	0.17
10-11	0.08	0.17
11-12	0.08	0.17

Table IV.1 : caractéristiques techniques des branches : réseau test 12 _Bus

IV. 2. 1. 1. Cas 1 : cas normal sans intégration des SD

Ce premier test a pour but de déterminer l'état du réseau pour les conditions normales, c'est-à-dire sans considéré l'augmentation des charges. Le premier indice qui caractérise la qualité de l'énergie fournie aux consommateurs est de connaître l'état des tensions aux niveaux des jeux de barres [3]. La Figure IV.2 présente la distribution des tensions aux niveaux des jeux de barres, il est clair de noter que les tensions dans certain jeux de barres sont inférieures à leurs valeurs admissibles. D'un autre coté les pertes actives sont de l'ordre de 455.62KW, ce qui représente 4.55 % par rapport à la puissance demandée.

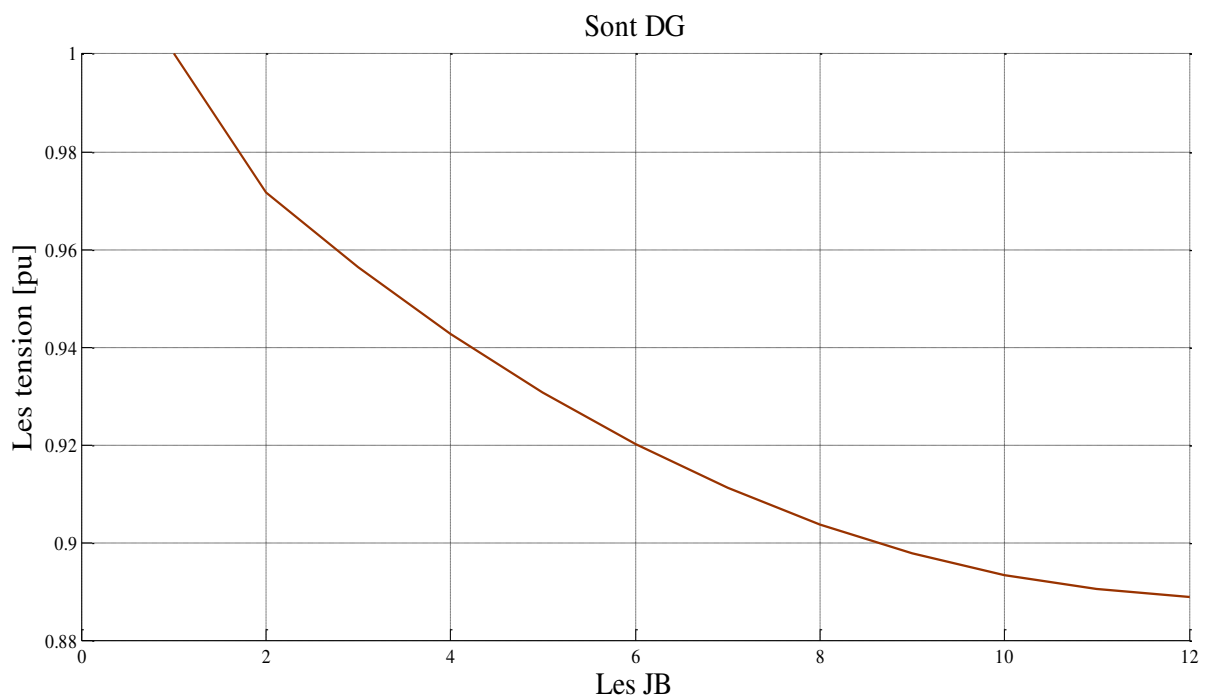


Figure IV.2. Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 1 :

IV. 2. 1. 2. Cas 2 : avec considération des SD

Pour ce deuxième cas, nous avons utilisé une approche heuristique pour localiser les sources distribués. L'objectif est d'analyser l'impact de l'intégration des SD sur les indices de qualité d'énergie qui sont :

- la déviation des tensions.
- les pertes actives totales engendrées [3].

Du point de vue technique et économique, il est très important de connaître l'endroit optimal pour intégrer les SD [3]. Les **Figures IV.3-IV13** montrent la distribution des tensions aux niveaux des jeux de barres, d'un côté on constate que les tensions aux niveaux des jeux de barres sont améliorés par rapport au cas 1, d'autre coté on remarque que l'amélioration des tensions diffèrent d'une localisation à une autre et aussi en fonction de la puissance total des SD installées. D'après les résultats obtenus, il faut noter que la capacité des SD doit être aussi optimisée pour minimiser le coût d'exploitation et d'installation.

La **Figure IV.14** représente une comparaison des tensions aux niveaux des JB pour SD de 1MW

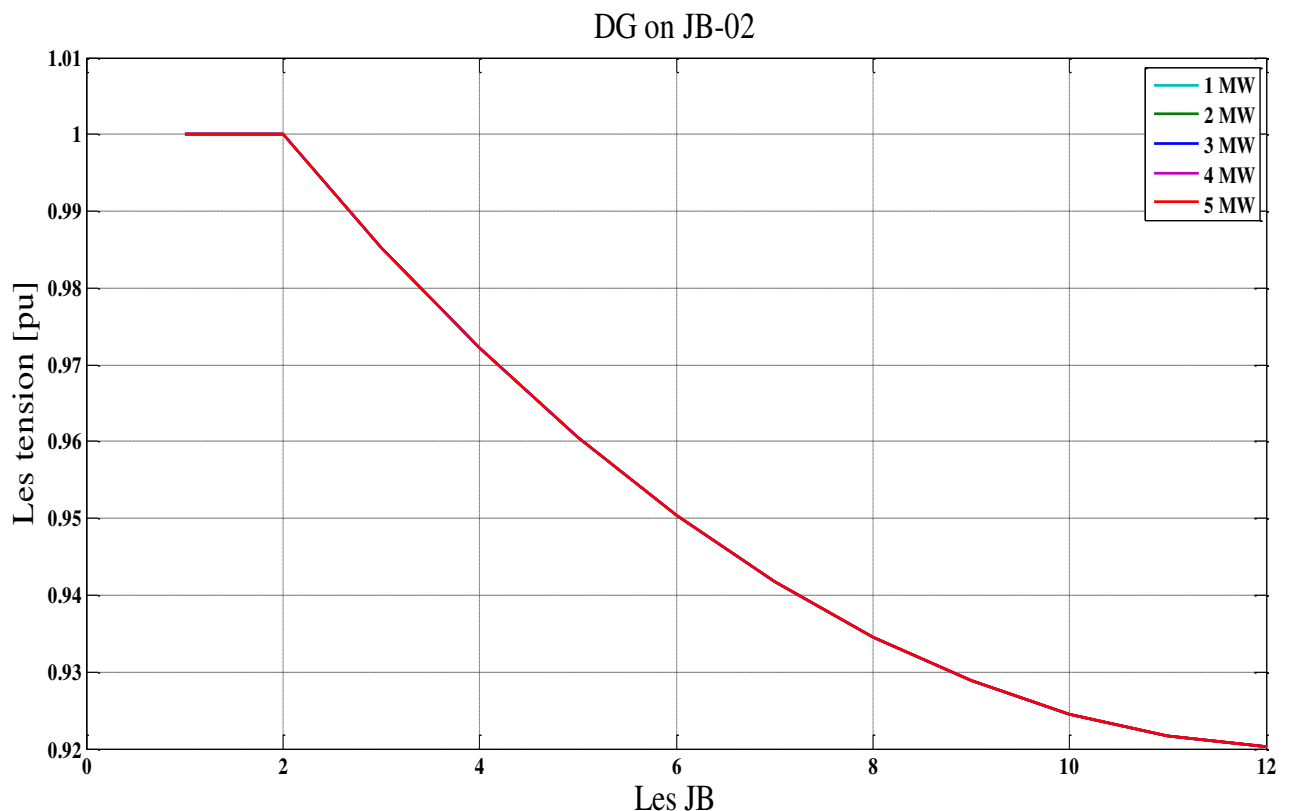


Figure IV.3 : Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 2

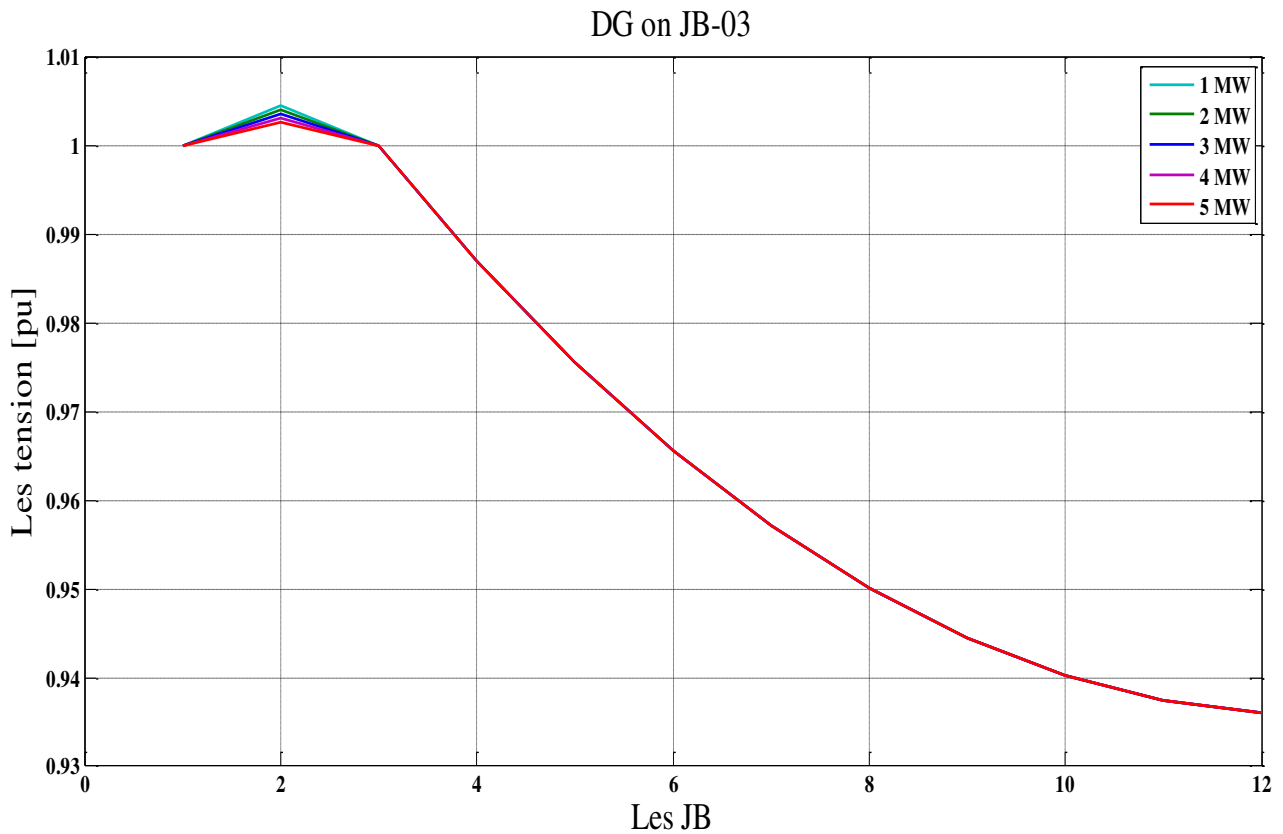


Figure IV.4 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 3

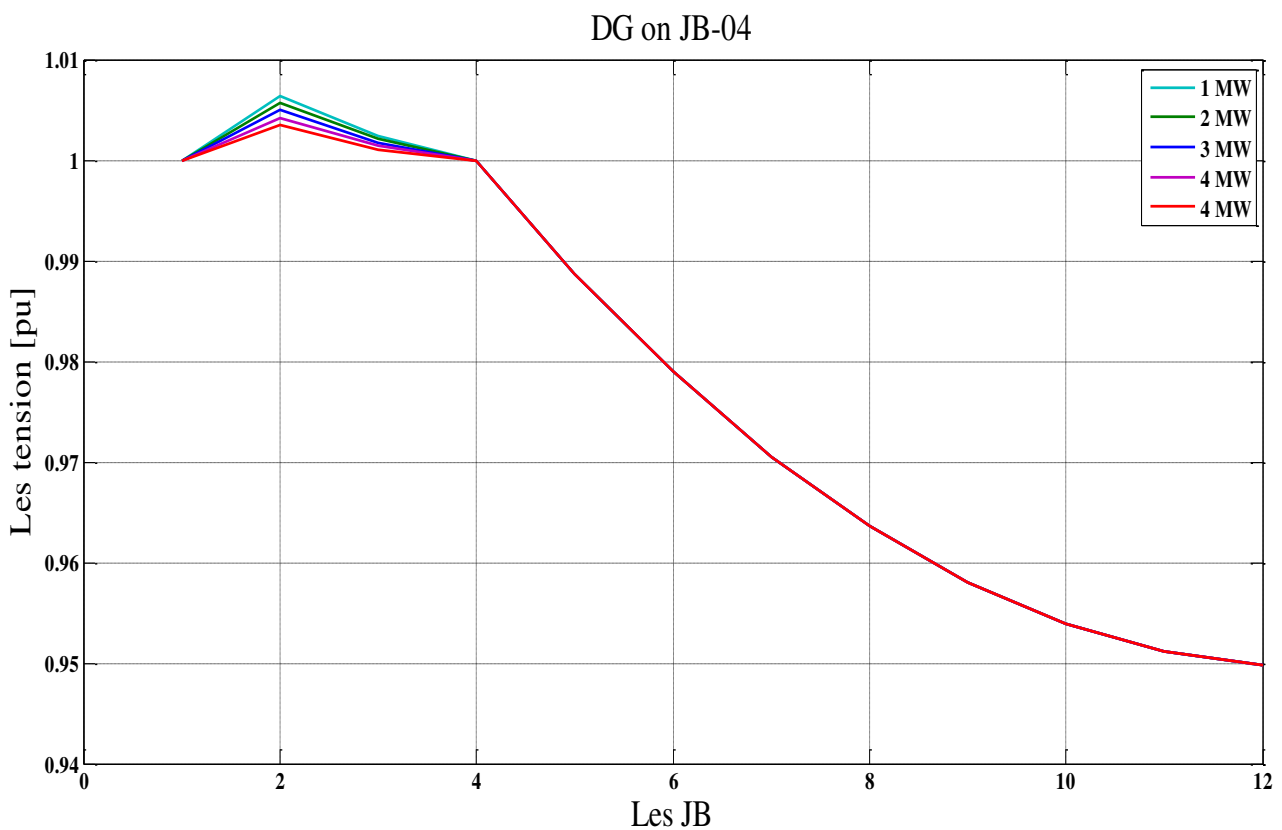


Figure IV.5 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 4

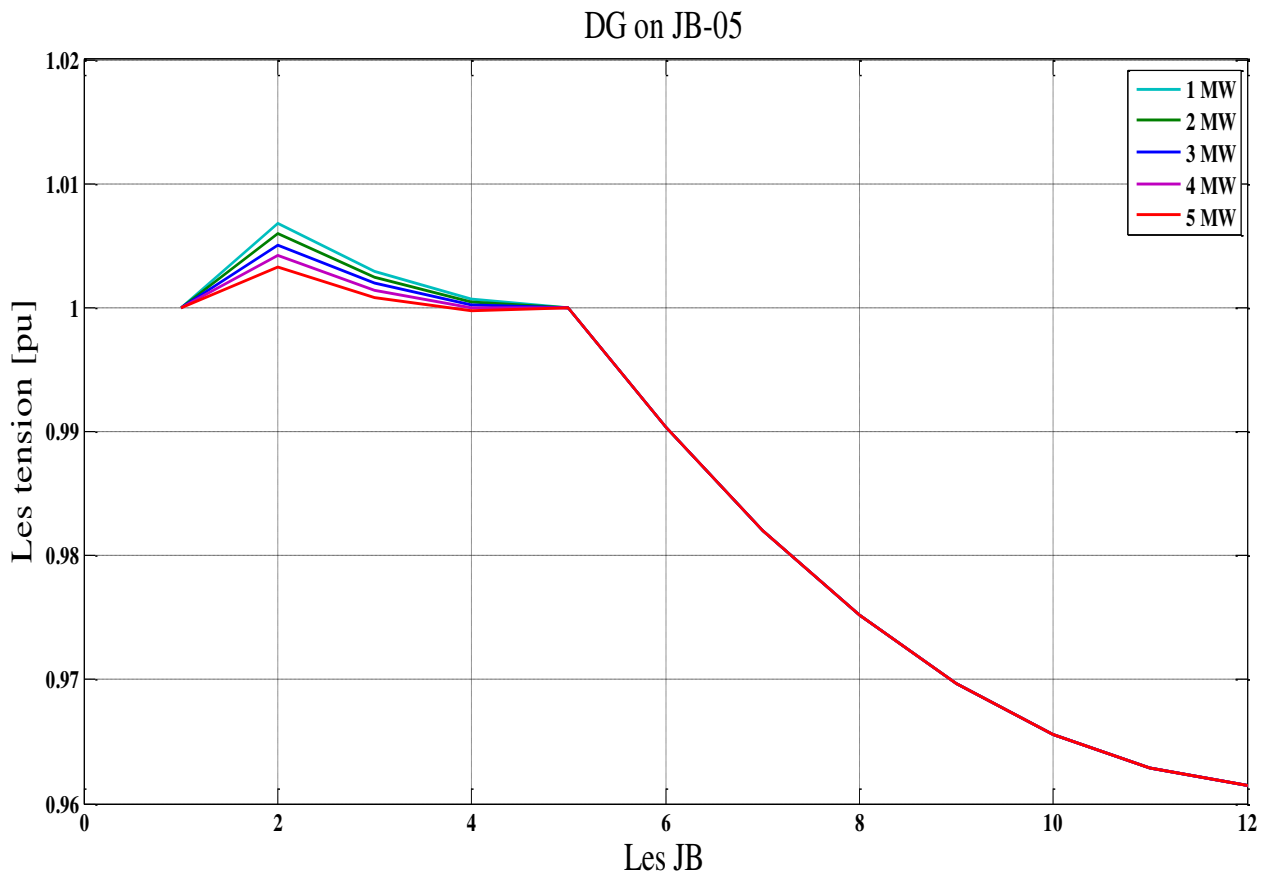


Figure IV.6 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 5

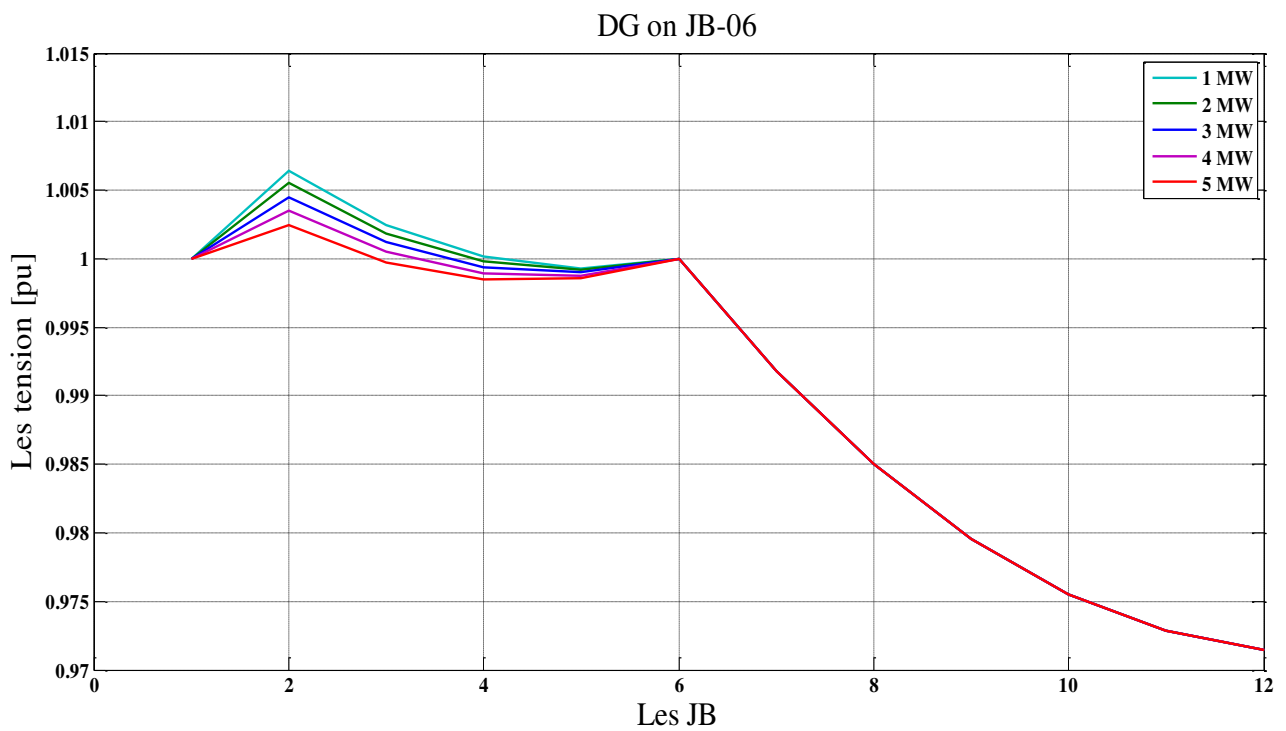


Figure IV.7 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 6

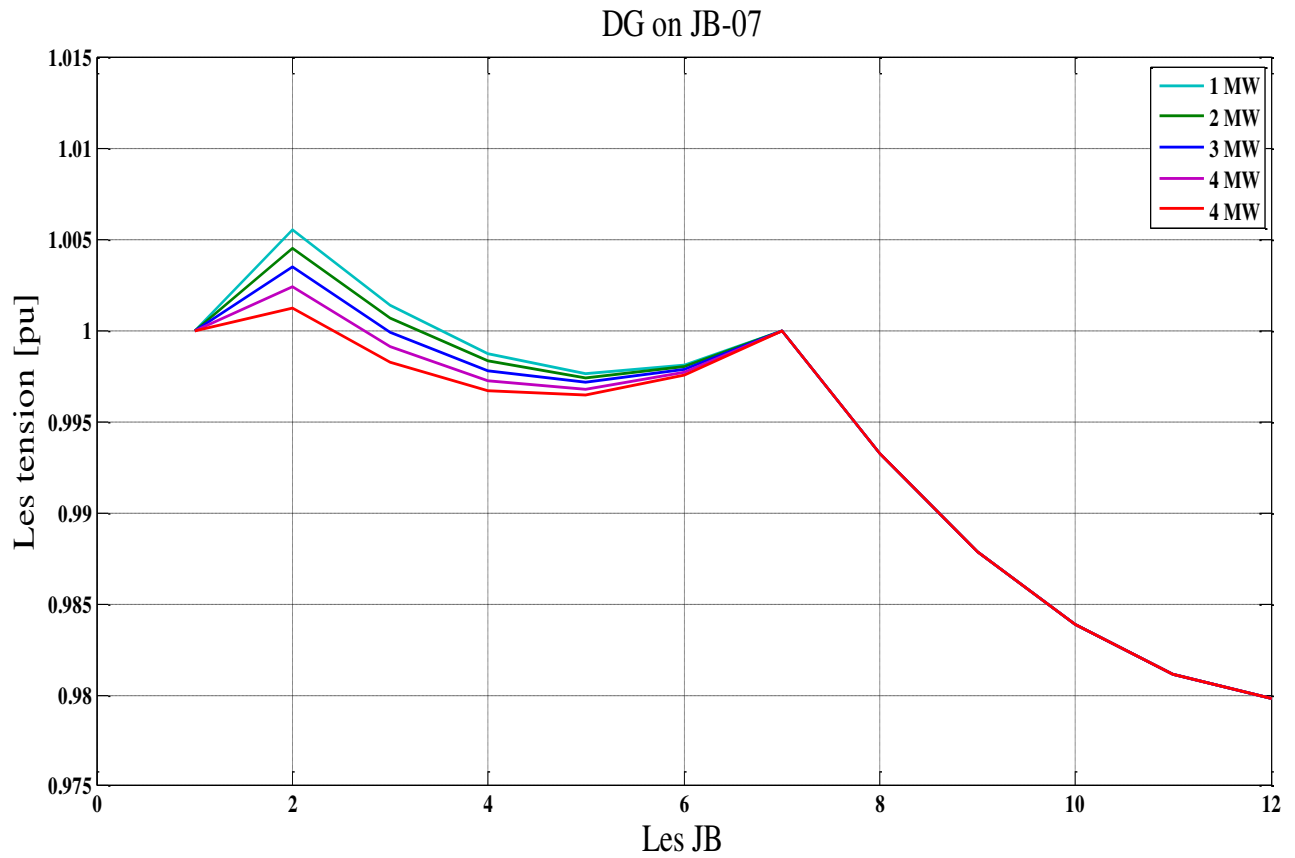


Figure IV.8 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 7

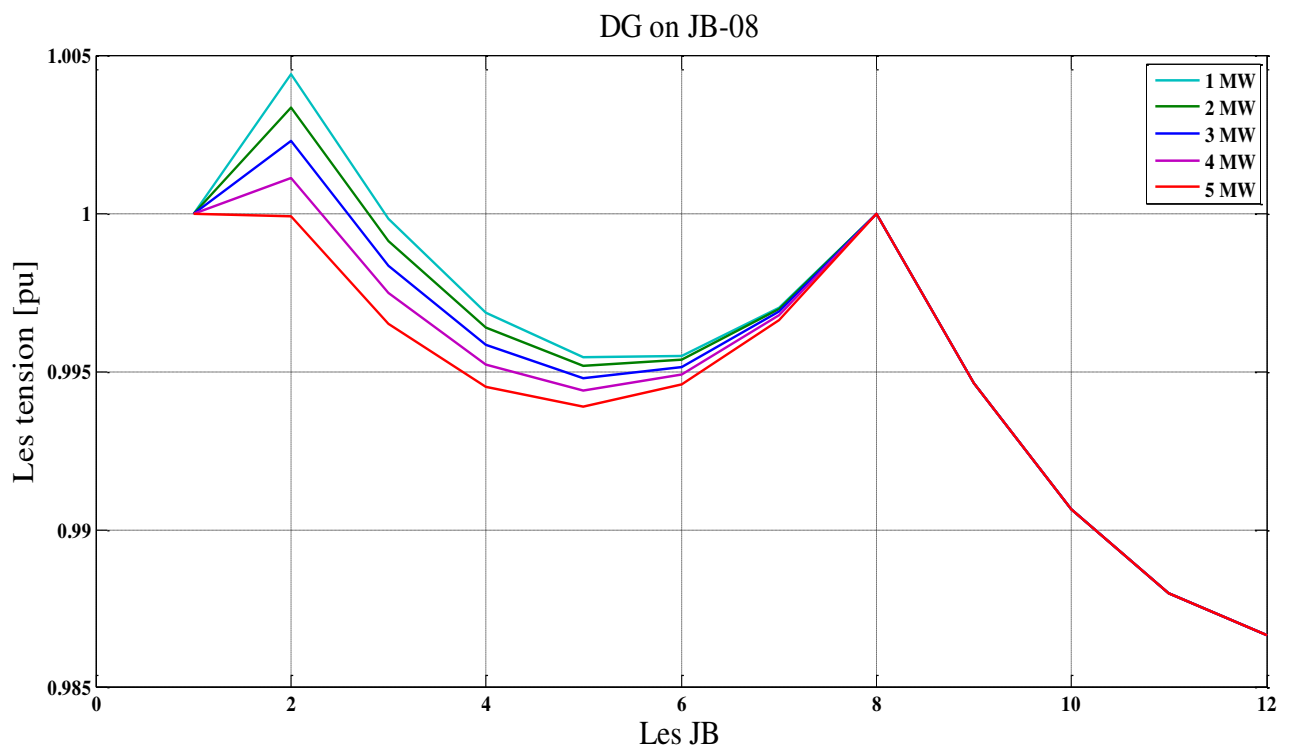


Figure IV.9 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 8

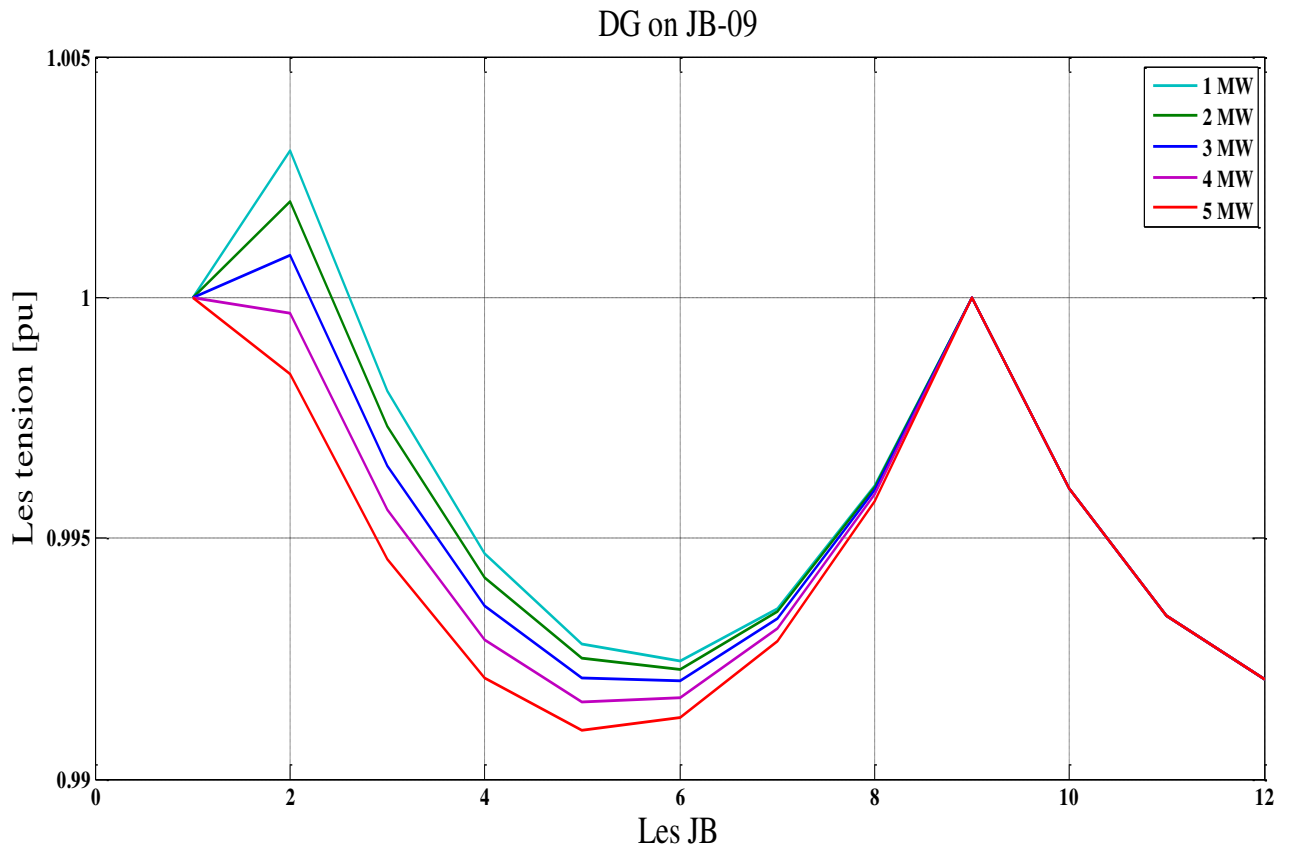


Figure IV.10 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 9

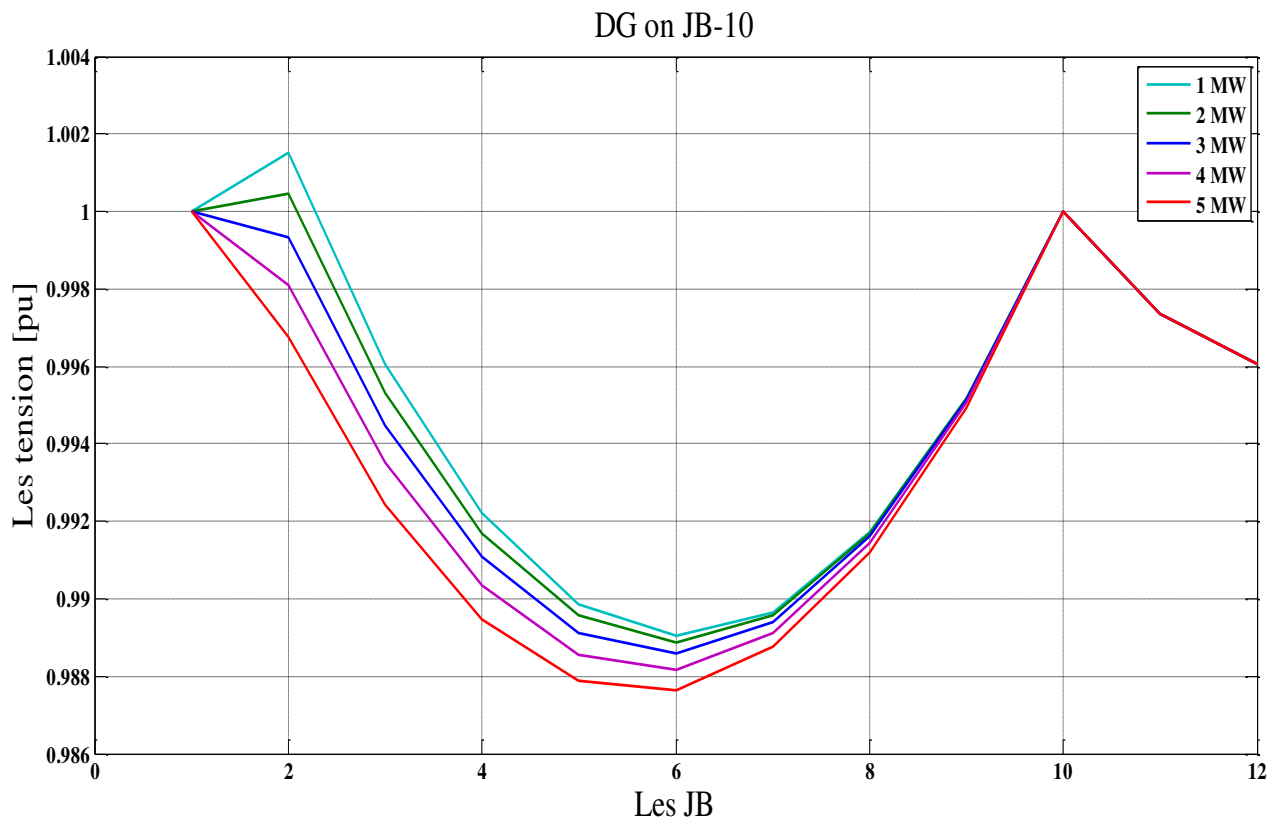


Figure IV.11 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 10

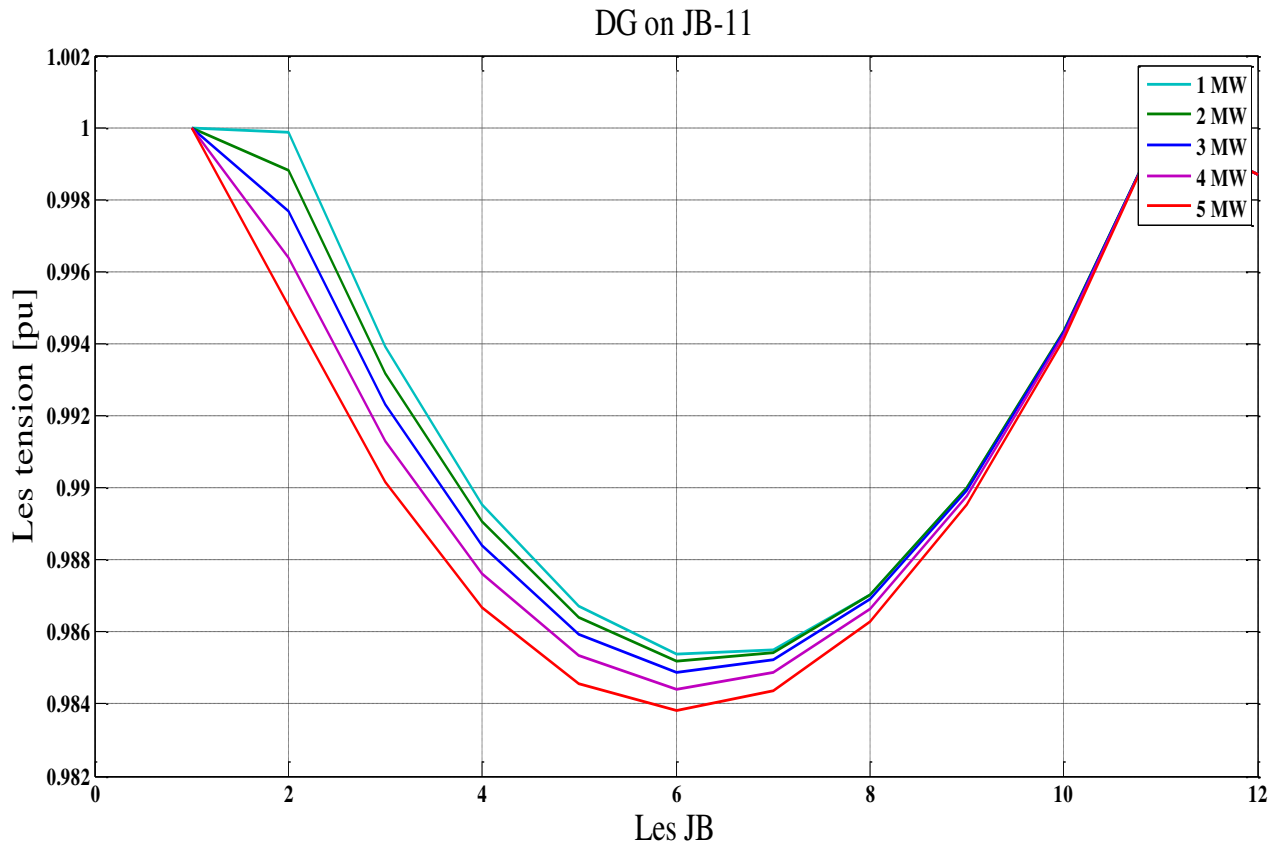


Figure IV.12 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 11

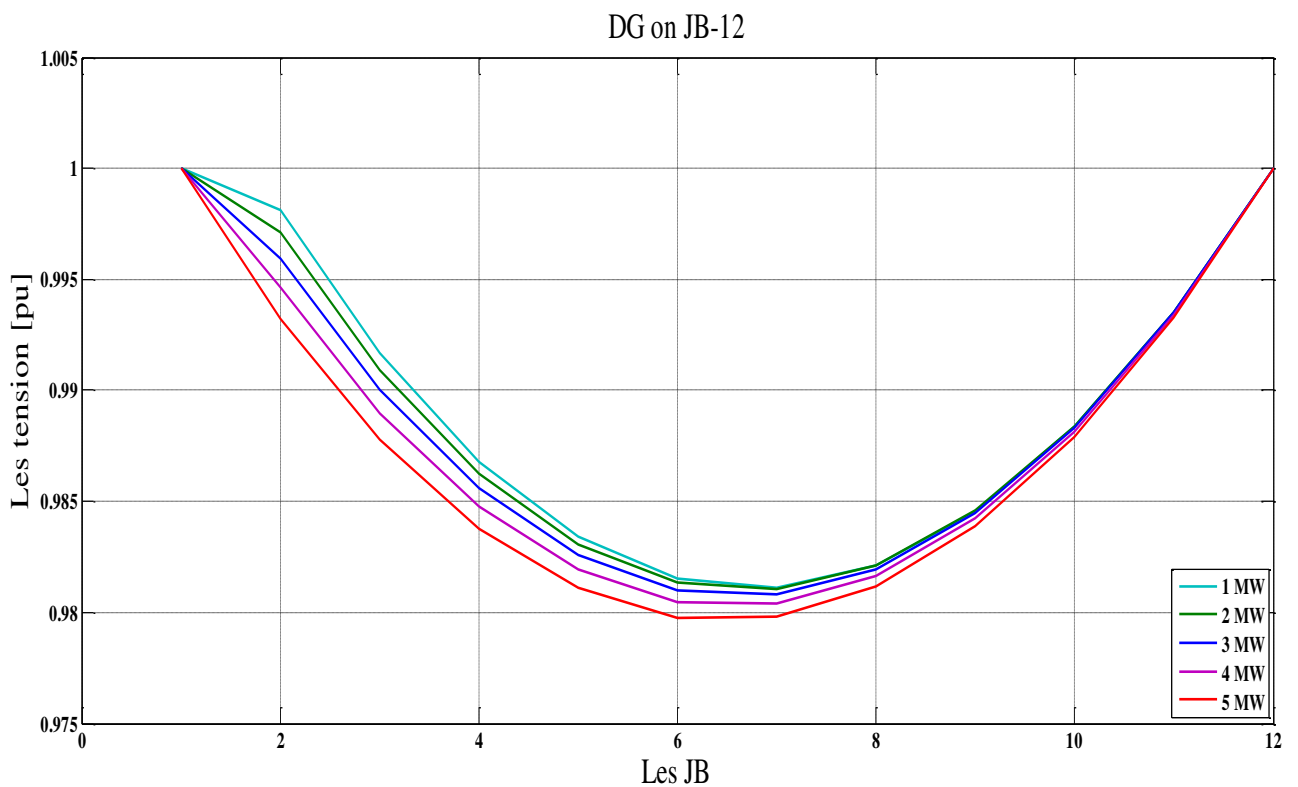


Figure IV.13 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2 : SD localisé au JB 12



Le **tableau IV.2** représenté les pertes active totale en fonction de l'emplacement de SD pour les défèrent capacité.

Placement de SD	1 MW	2 MW	3 MW	4 MW	5 MW
JB-02	414.6	408.3	402.7	397.8	393.7
JB-03	378.9	357.8	339.2	323.1	309.3
JB-04	355.0	320.1	289.6	263.3	241.2
JB-05	339.7	292.0	250.7	215.7	186.9
JB-06	330.0	271.0	220.5	178.3	144.3
JB-07	324.4	255.5	197.3	149.6	112.2
JB-08	321.5	244.3	180.2	128.8	89.8
JB-09	320.6	236.9	168.6	115.3	76.5
JB-10	321.1	232.7	162.2	108.8	72.2
JB-11	322.8	231.7	160.8	109.3	76.6
JB-12	325.5	233.6	164.3	116.6	89.8

Tableau IV.2 : les pertes actives totales.

Remarques importantes : cas 2

D'après les résultats obtenus on peut conclure que :

1. L'emplacement optimal des SD influé considérablement sur les niveaux de tensions ainsi que les pertes actives totales
2. Pour ce cas particulier la capacité des SD n'a pas une grande influence sur l'amélioration des tensions
3. Pour ce deuxième cas, l'emplacement optimal est au jeu de barre 10, (les pertes min).

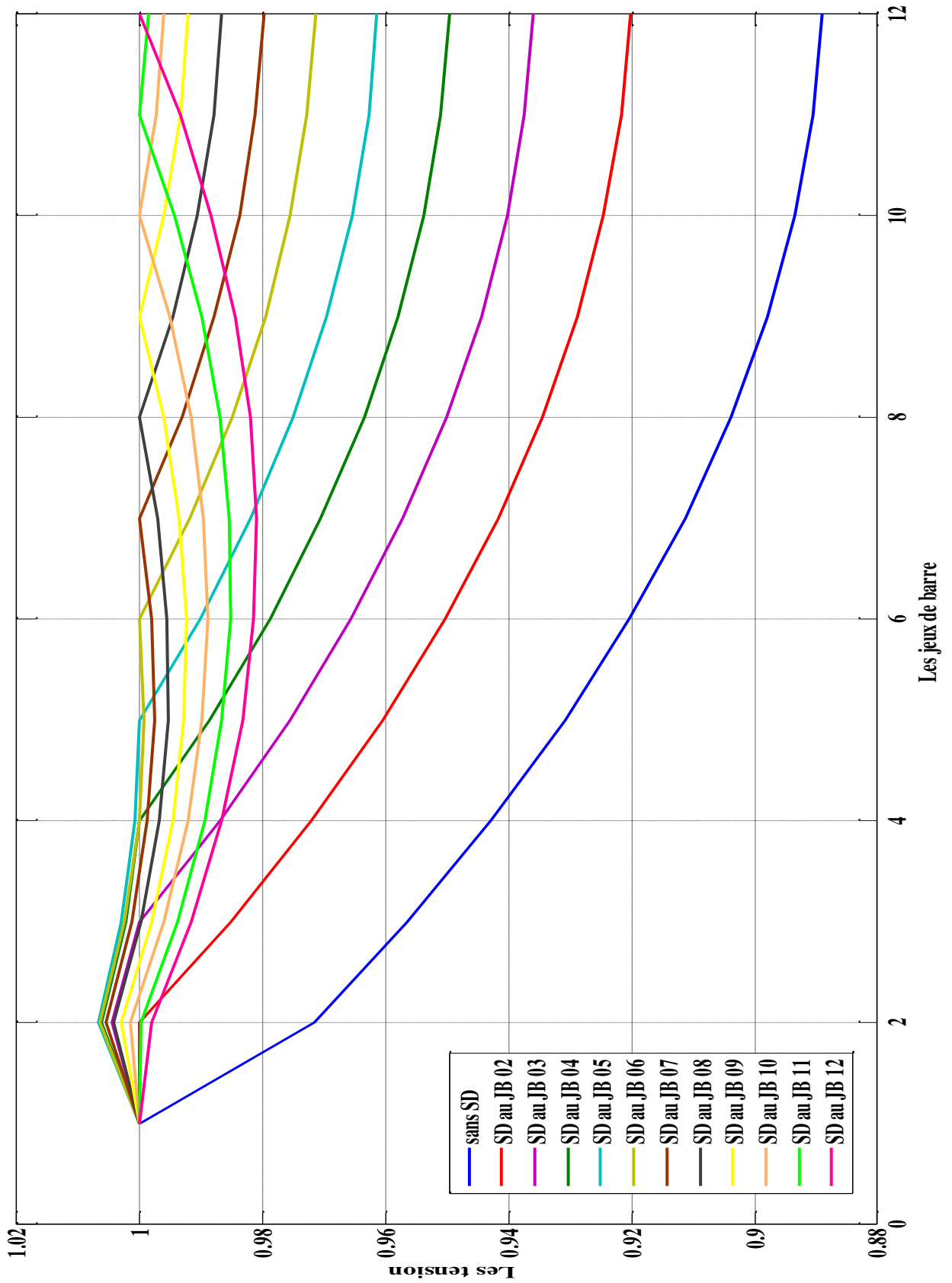


Figure IV.14 : comparaison des tensions aux niveaux des JB pour SD=1MW

➤ **Le cout des pertes et le cout des sources distribuées :**

Afin de concrétiser l'importance technique et économique associée à l'intégration des sources distribuées dans les réseaux de distribution, nous avons considérés le coût des pertes ainsi que le cout initial de l'installation des SD.

➤ **Coût de pertes actives [13] :**

$$C \Delta P = \Delta P * (E_c * T) \$ \tag{IV.1}$$

$$E_c = 0.06 \$/KWh$$

$T = \text{temps moyen de fonctionnement} \approx 8760 \text{ h}$

➤ **Coût des sources distribuées [13] :**

Le cout d'une source distribué il donnée par l'équation suivant :

$$C DG = a * Pg^2 + b * Pg + c \tag{IV.2}$$

$$c = 0$$

$$b = 20$$

$$a = 0,25$$

Test 1 : pour ce test nous avons analysé l'impact de l'intégration des SD sur le coût des pertes d'énergie.

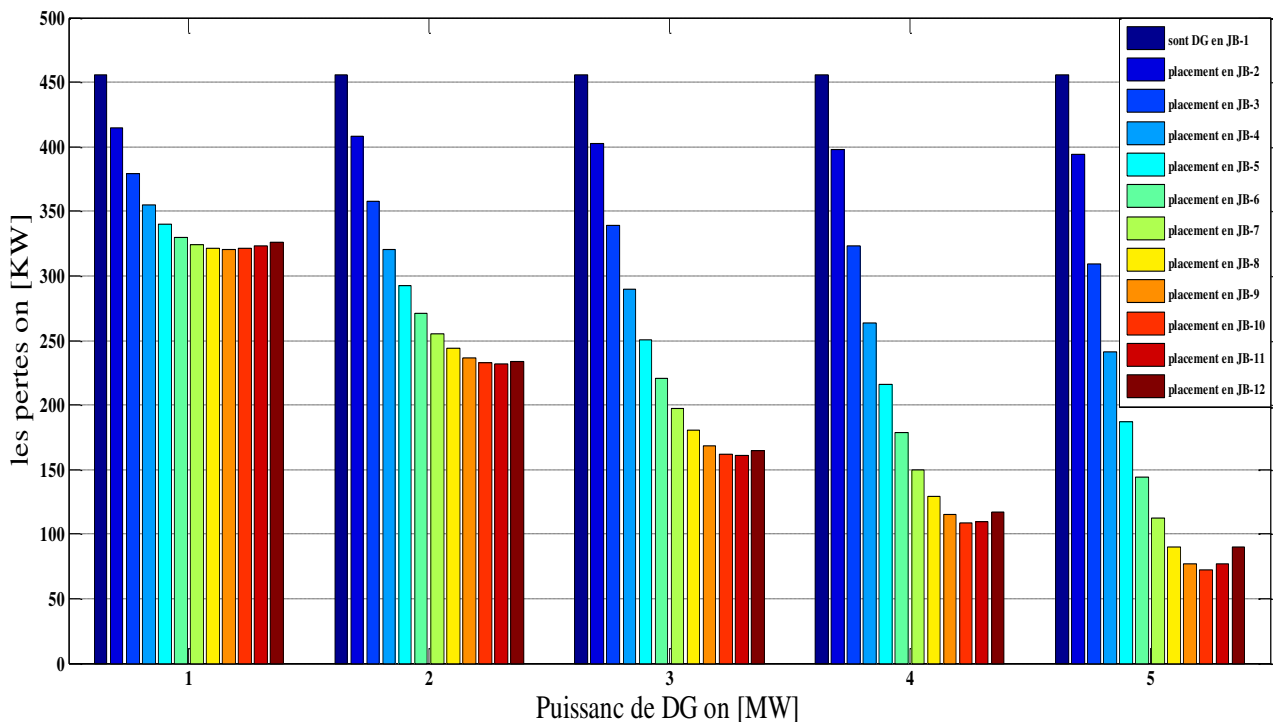


Figure IV.15 Variation des pertes actives totale en fonction des puissances générées des SD.

La **figure IV.15** représente la variation des pertes actives totales en fonction de la puissance délivrée par les sources distribuées pour différents emplacements des SD. Pour ce cas particulier on remarque que les pertes actives totales diminuent avec l'augmentation de la puissance des SD, l'emplacement optimal des SD varie en fonction de la puissance injectée [3].

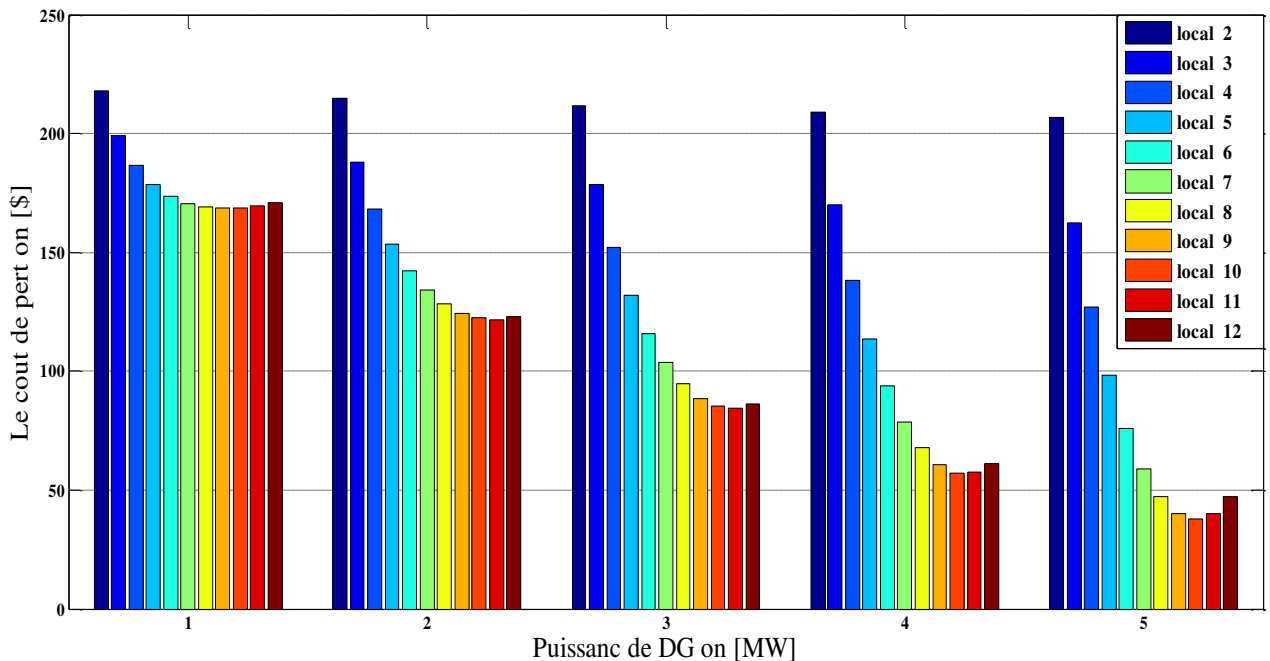


Figure IV.16 Variation du cout des pertes d'énergie en fonction de l'emplacement des sources distribuées et les puissances générées.

Afin de montrer l'importance de minimiser les pertes (**Figure IV.16**), nous avons calculé le coût des pertes engendrés pour chaque emplacement et en fonction de la puissance injectée par les SD. On remarque que le coût minimal est de 37965.13 \$ correspondant à l'emplacement d'une SD au JB 10. Le **tableau IV.3** représente une comparaison des coûts des pertes entre le cas normal et le cas considéré optimal. Il est tout à fait clair que le coût des pertes a diminué considérablement.

Les cas	Cas normale	Avec SD
Les pertes totales en (KW)	455.62	72.2
$\Delta P / P_D$ (%)	4.5%	0.72%
Le coût en (\$)	239478.99	37965.13

Tableau IV.3 : Comparaison des pertes et coût engendré sans SD et avec SD.

Test 2 : pour ce deuxième test nous avons analysé l'impact de l'intégration des SD avec considération du coût total.

Le cout total est exprimé par l'expression suivante

$$Cout_{TOT} = C \Delta P + C DG \quad [3] \quad (IV.3)$$

$C \Delta P$: Le coût des pertes totales

$C DG$: Le coût des SD

Le **tableau IV.4** représente le cout total en \$ pour chaque placement des SD, nous avons remarqué que le coût total minimale engendré est à l'emplacement du SD au JB 10 avec une puissance injecte de 5 MW.

	1 MW	2 MW	3 MW	4 MW	5 MW
JB-01	237916,63	219163,99	206640,63	198550,96	193499,74
JB-02	254616,34	228101,49	208294,11	193509,70	182466,57
JB-04	271689,71	238321,87	212222,17	191808,25	175900,21
JB-05	289136,29	249818,80	218405,61	193405,92	173728,63
JB-06	306955,43	262586,17	226826,13	198264,21	175884,29
JB-07	237916,63	219163,99	206640,63	198550,96	193499,74
JB-08	254616,34	228101,49	208294,11	193509,70	182466,57
JB-09	271689,71	238321,87	212222,17	191808,25	175900,21
JB-10	289136,29	249818,80	218405,61	193405,92	173728,63
JB-11	306955,43	262586,17	226826,13	198264,21	175884,29
JB-12	237916,63	219163,99	206640,63	198550,96	193499,74

Tableau IV.4 : Comparaison du coût total en fonction de placement et la capacité des SD.

IV. 2. 1. 3. Cas 3 : Effet de l'augmentation des charges :

Test1 : Augmentation de la charge sans l'intégration des SD :

Les réseaux électriques sent dynamique, afin d'assurer la fourniture de l'énergie aux consommateurs selon les normes techniques de base, l'expert charge de la gestion des réseaux de distribution doit tenir en considération l'évolution de la charge.

Ce problème est simulé par une augmentation de la charge uniforme appelé taux d'accroissement de la charge formulés comme suit [2] :

$$P_{D new} = P_{D Normal} * \tau_{cr}$$

$P_{D\ new}$ = La puissance active demandé dans le régime anormal.

$P_{D\ Normal}$ = La puissance active demandé dans le régime normal.

τ_{cr} = Taux d'accroissement (1.5 dans cas d'augmentation à 50%).

L'objectif principal de ce test et d'analyser l'impact de l'intégration des SD dans les réseaux de distribution avec considération de l'augmentation de la charge. Pour ce cas le taux d'accroissement considéré est de 50%. La **figure IV.17**, montre clairement la dégradation des tensions aux niveaux des jeux de barres. La valeur minimale de la tension 0.843 p.u est engendré au jeu de barre 12. Les pertes totales sont de l'ordre de 1.0697 MW.

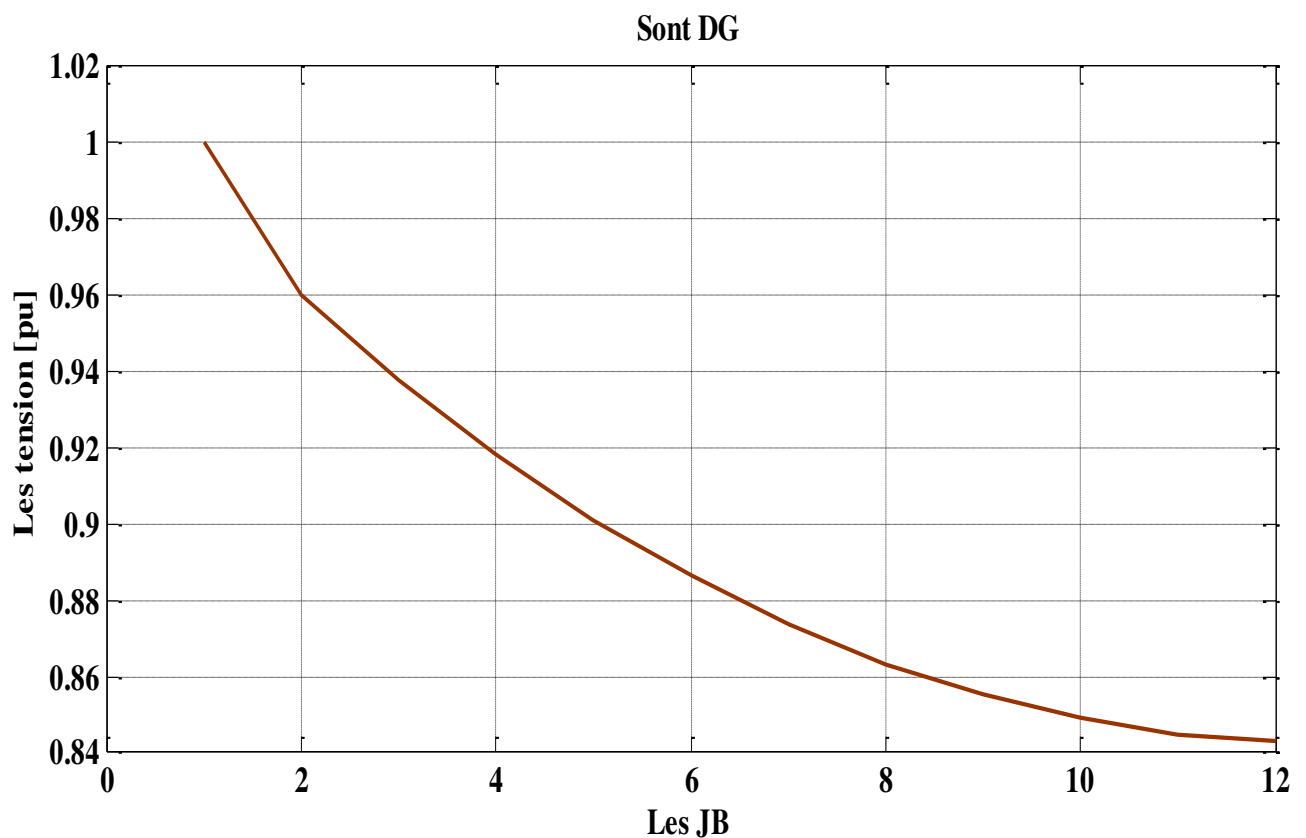


Figure IV.17 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 :

Test 2 : Augmentation de la charge avec l'intégration des SD

Les **Figures IV18-IV.28** montrent la distribution des tensions aux niveaux des jeux de barres, on constate que les tensions aux niveaux des jeux de barres sont améliorées progressivement par rapport au cas 3 test1, l'amélioration des tensions varie d'un jeu de barres à un autre en fonction de placement et la capacité des SD intégrée. Il faut noter aussi que l'intégration des SD a engendré une réduction considérable des pertes active totales.

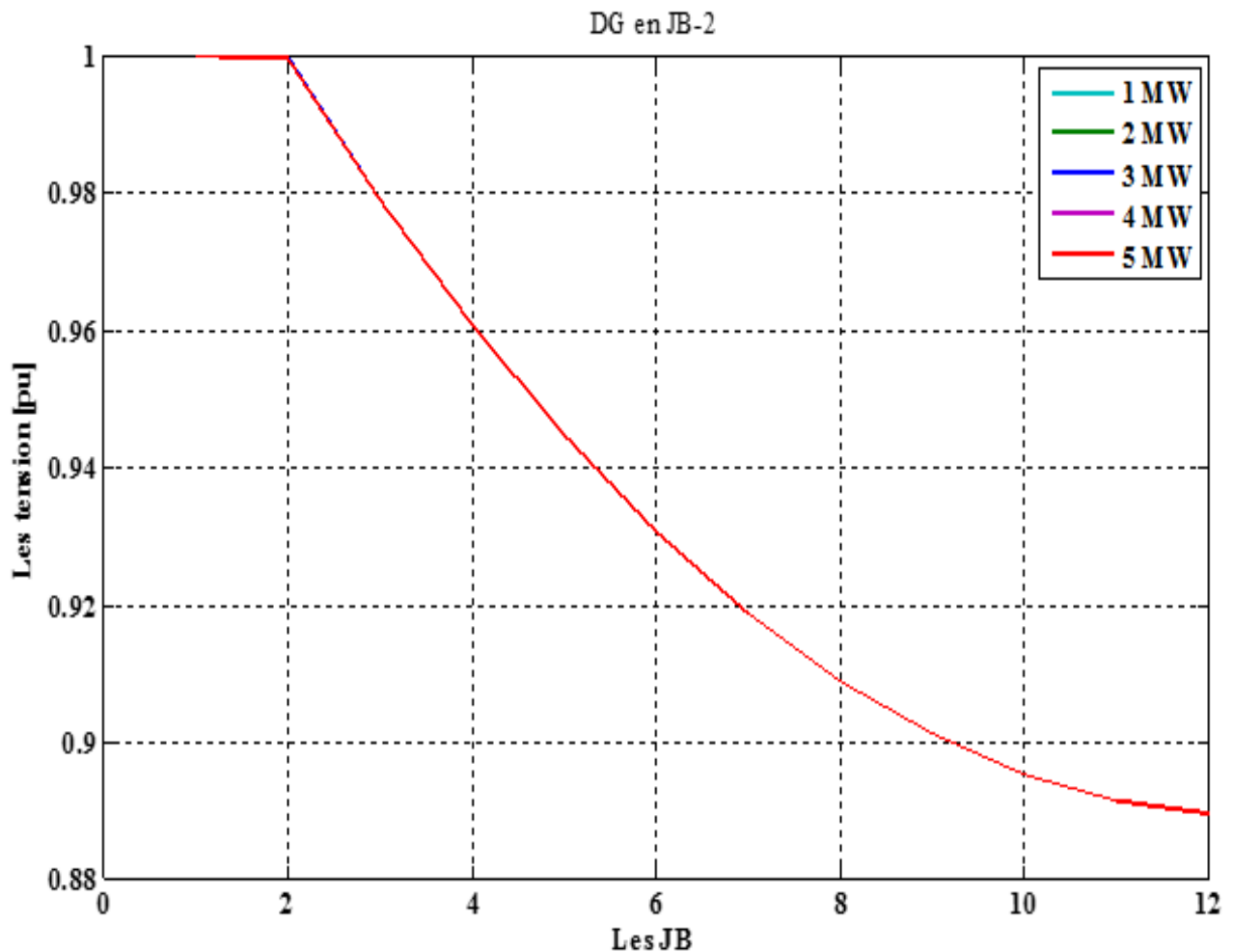


Figure IV.18 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 2

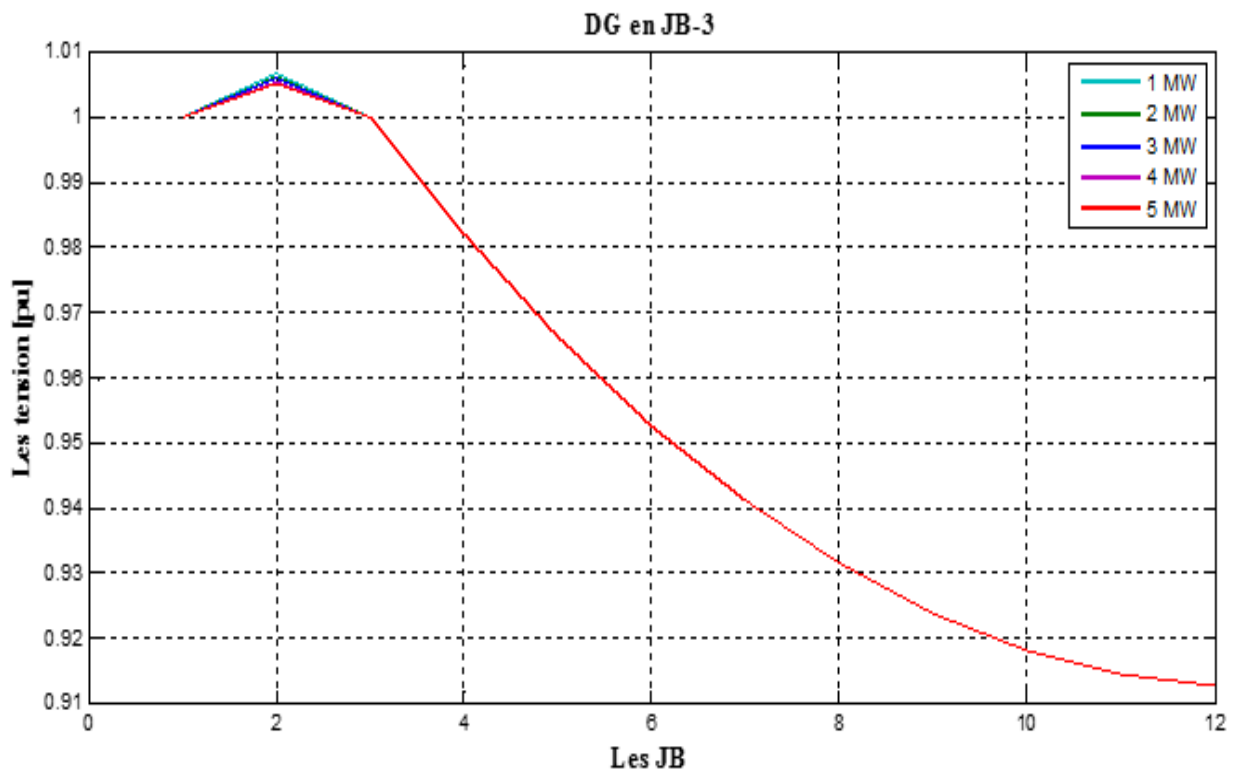


Figure IV.19 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 3.

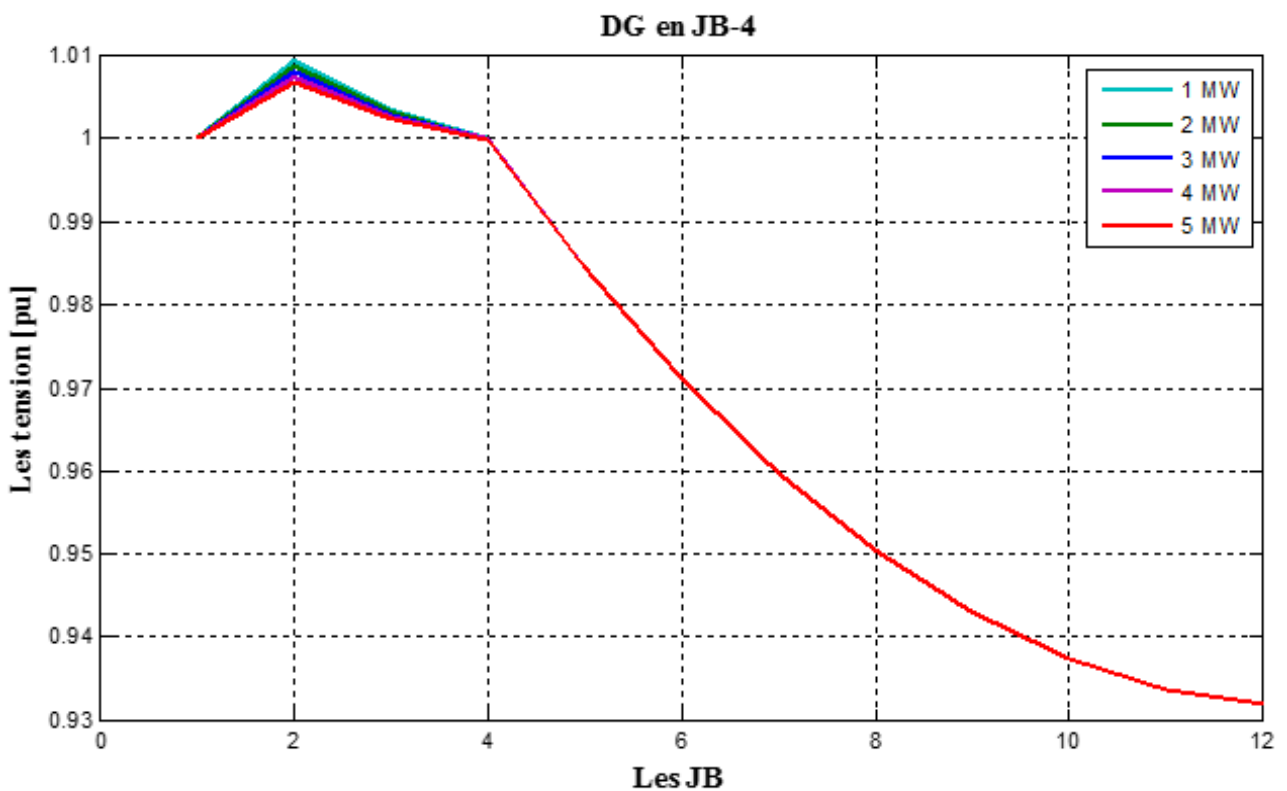


Figure IV.20 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 4.

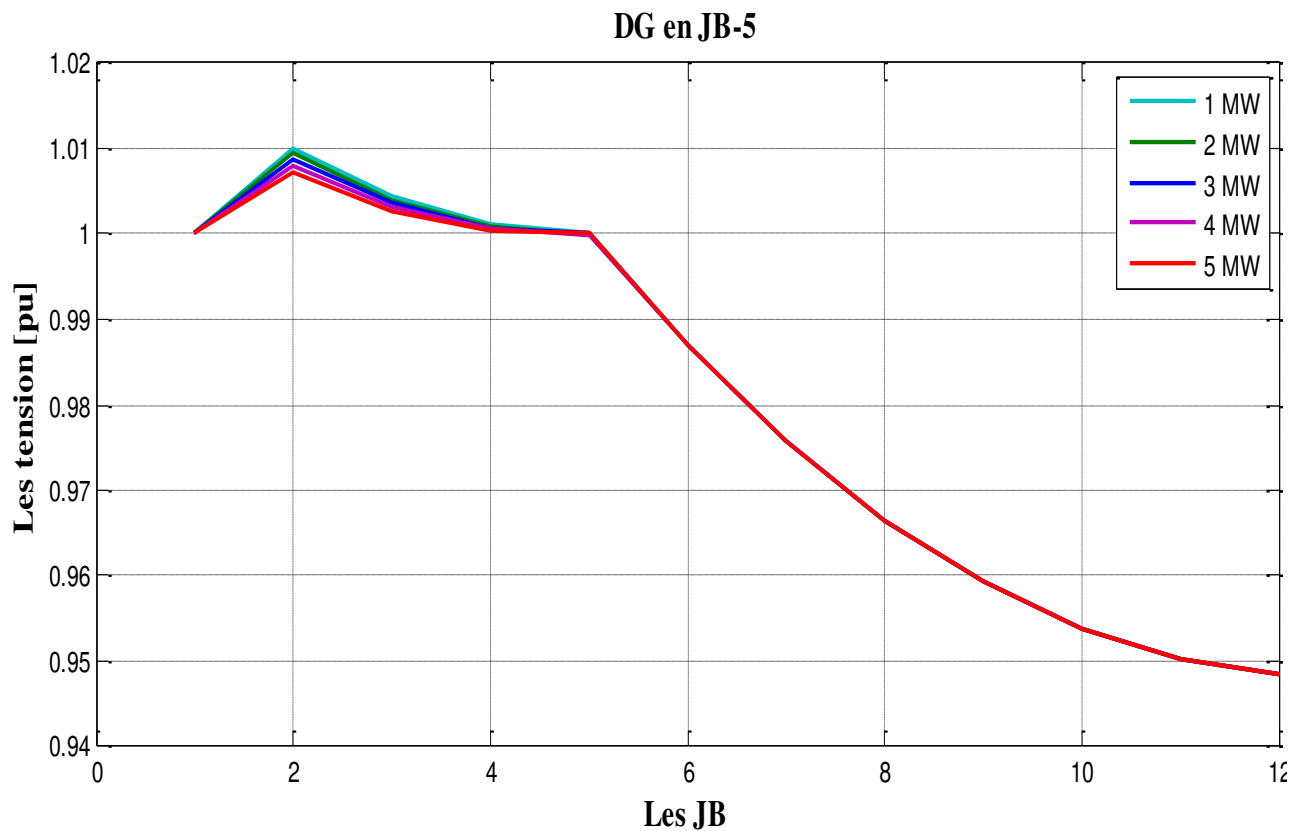


Figure IV.21 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 5.

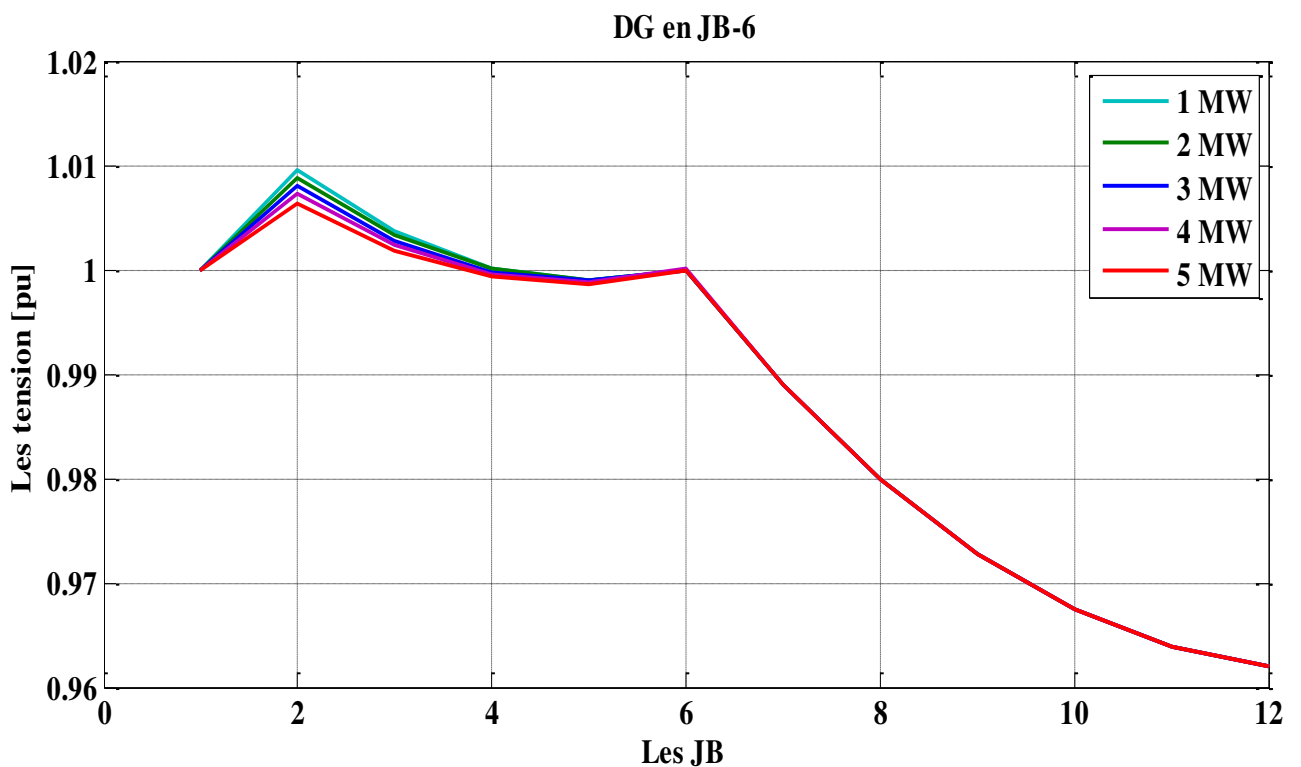


Figure IV.22 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 6.

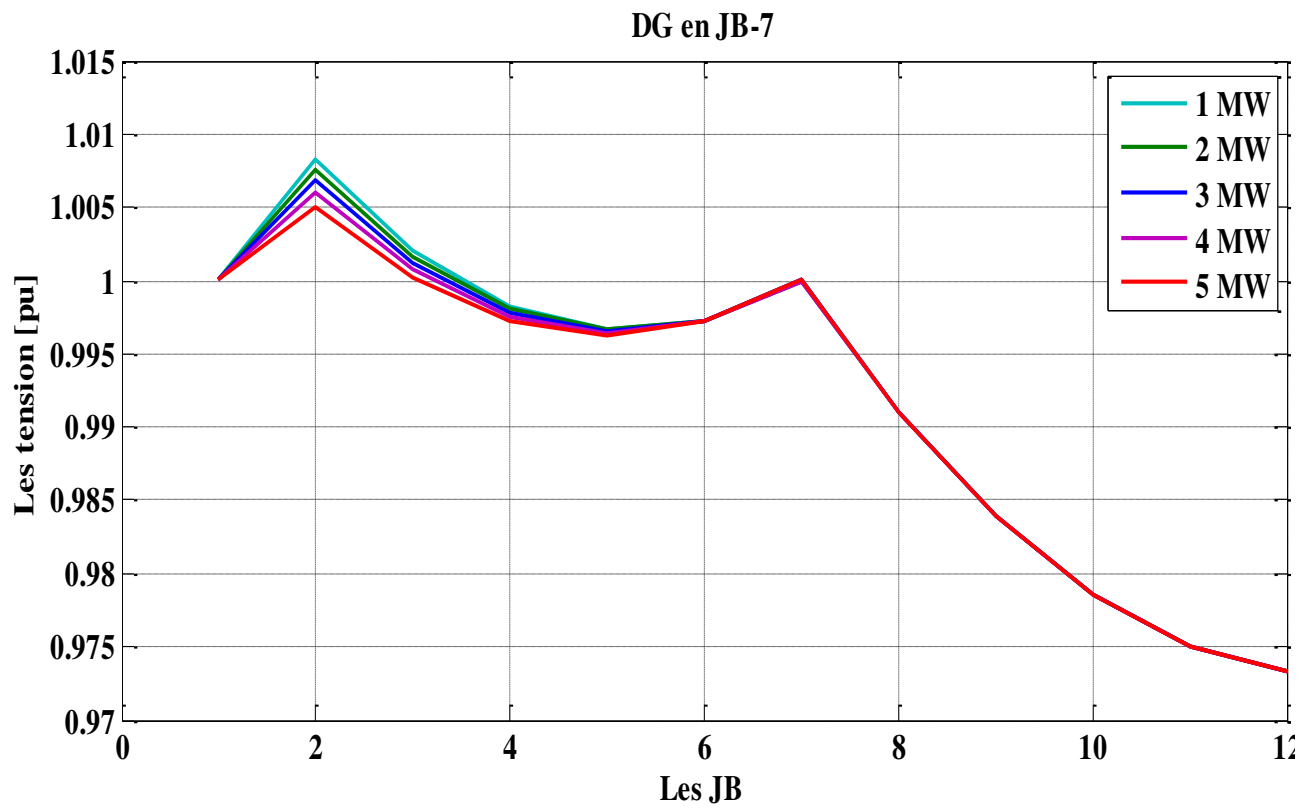


Figure IV.23 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 7.

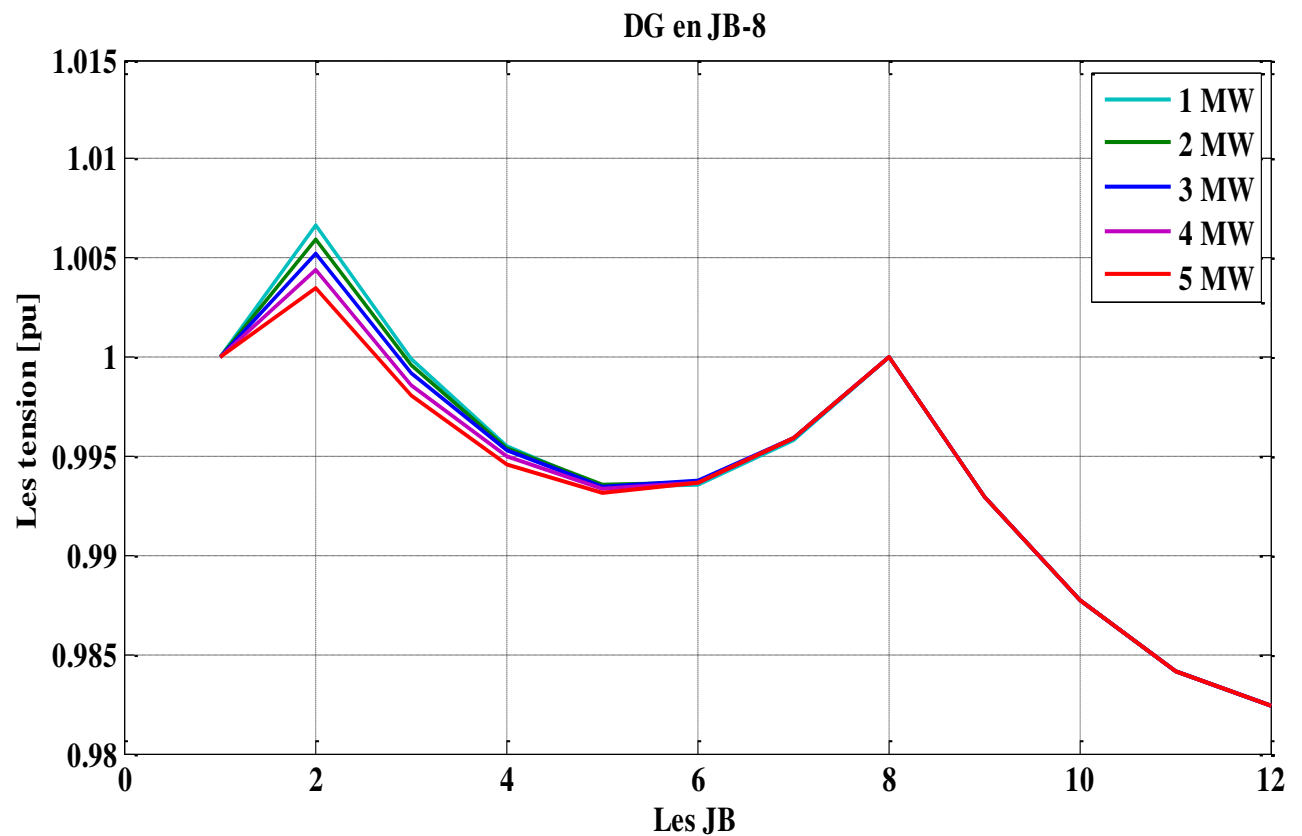


Figure IV.24 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 8.

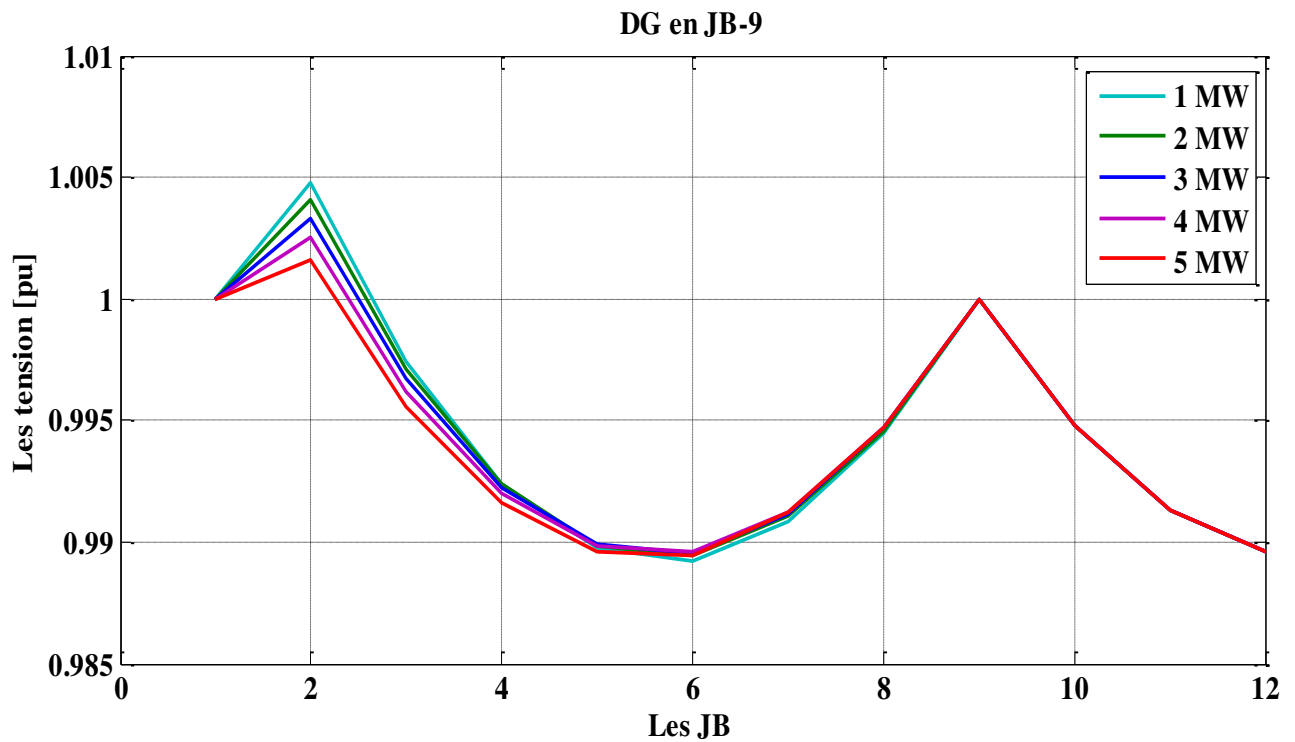


Figure IV.25 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 9.

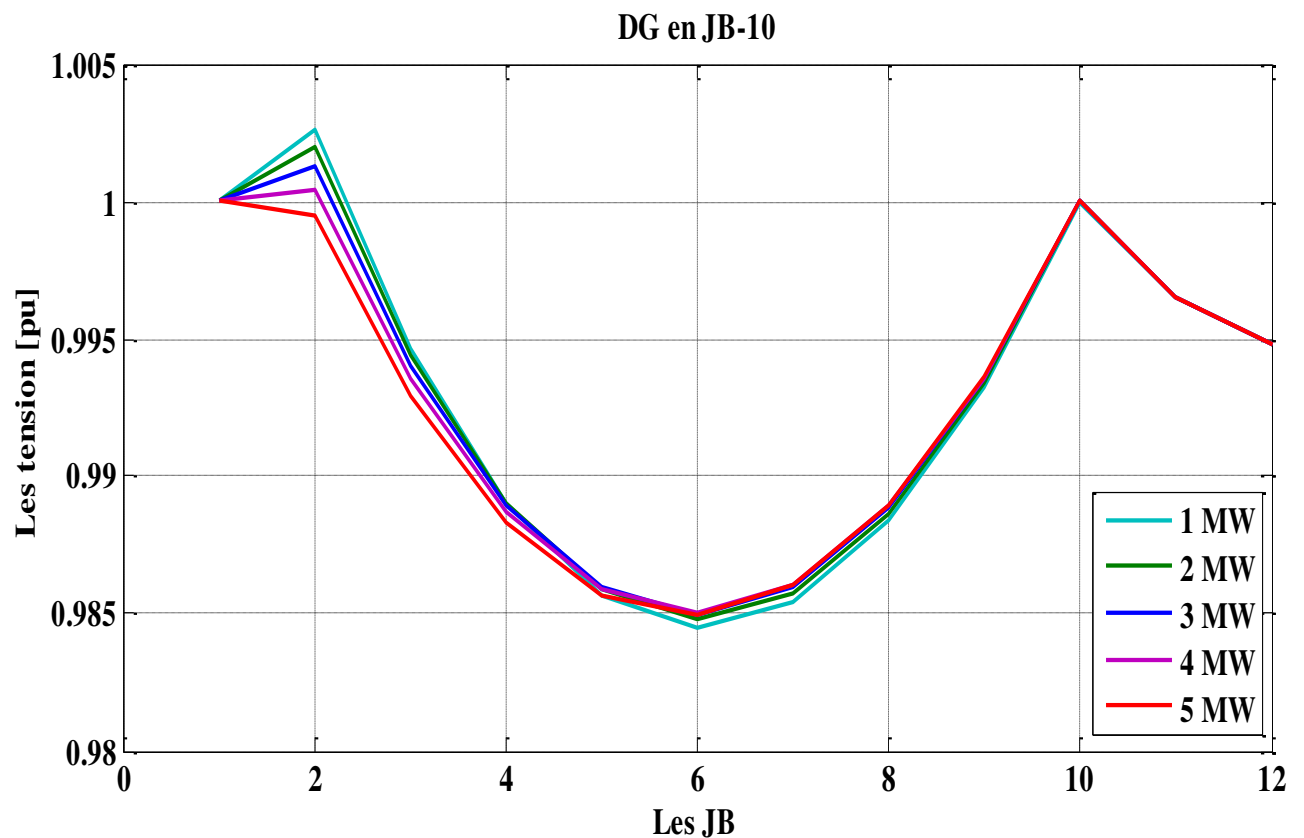


Figure IV.26 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 10.

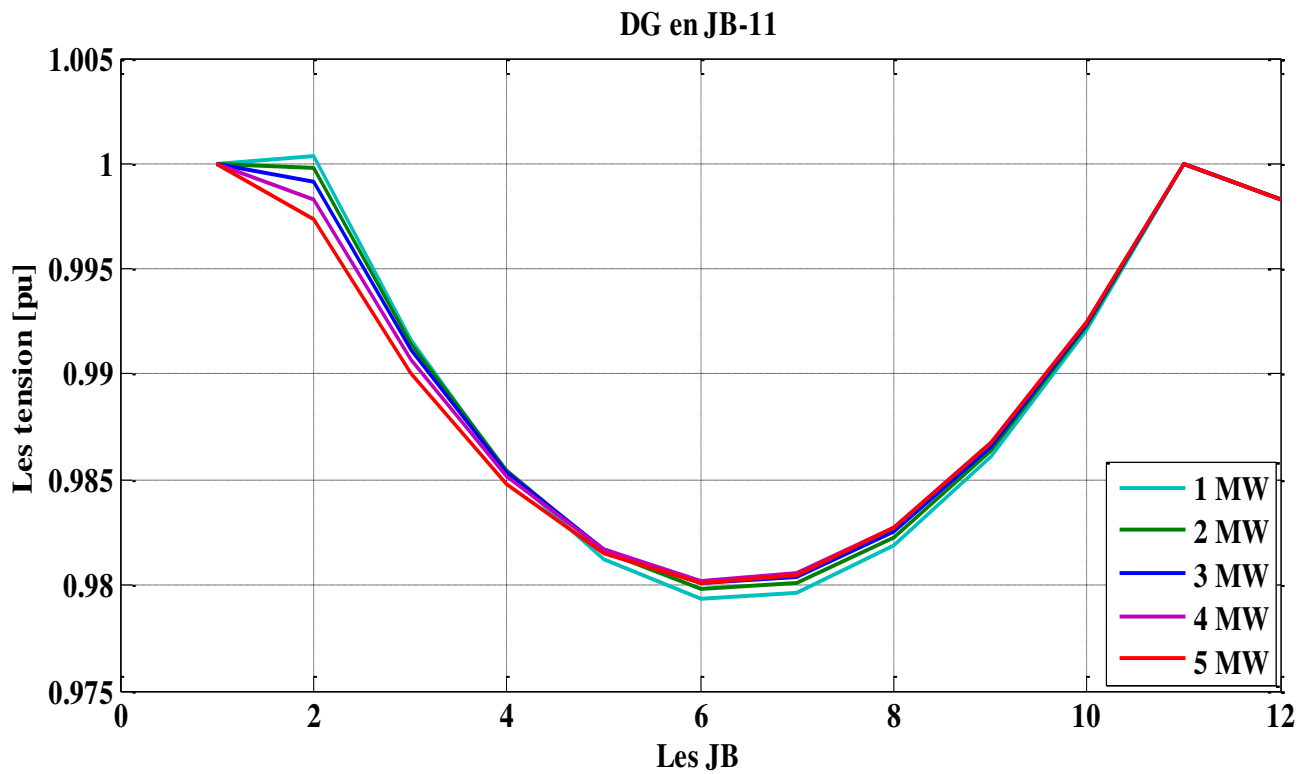


Figure IV.27 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 11.

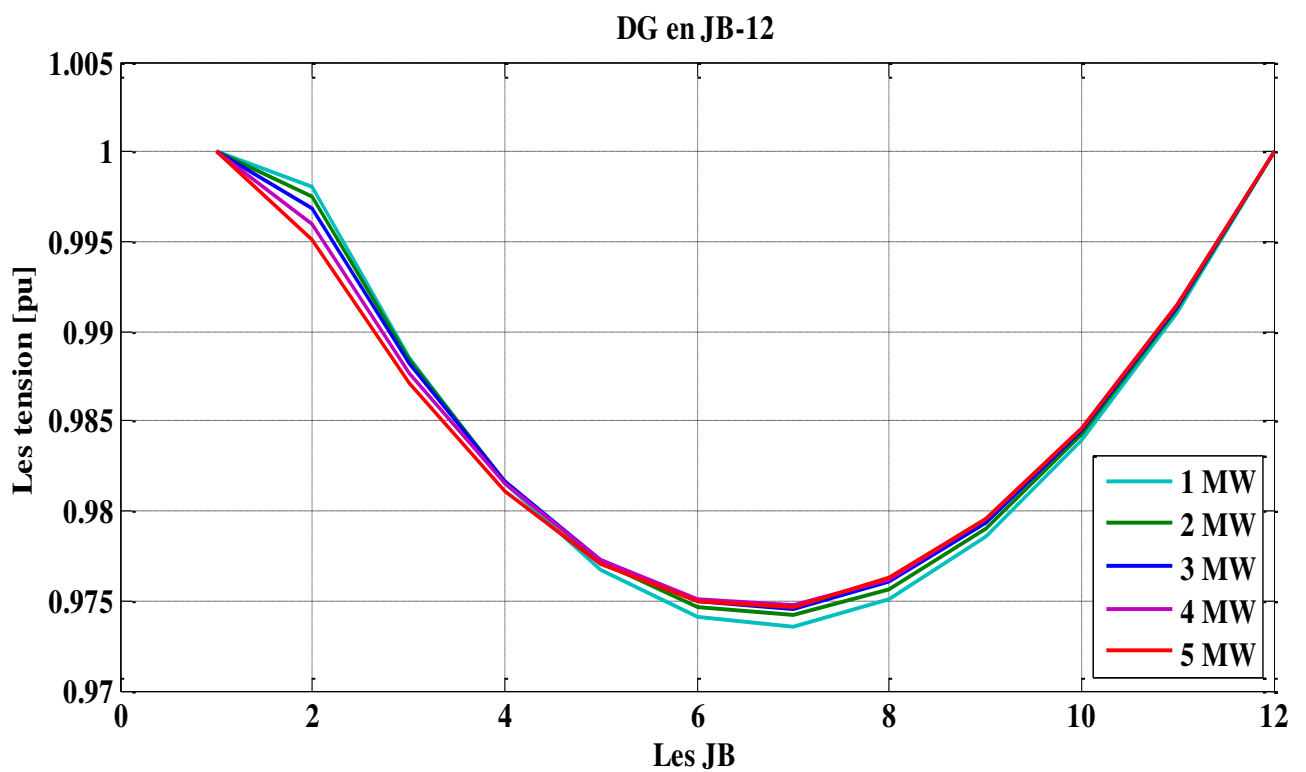


Figure IV.28 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 3 : SD localisé au JB 12.

Remarques importantes : cas 3

D'après les résultats obtenus on peut conclure que :

1. L'augmentation de la charge a engendré des déviations de tensions et des pertes importantes, le **tableau IV.5** montre clairement l'augmentation des pertes totales.
2. L'intégration des SD a amélioré les indices de qualité de l'énergie, mais cette amélioration dépend de placement et la capacité de SD.
3. Pour ce cas, l'intégration d'une seule SD à l'emplacement au JB 11 a engendré une amélioration considérable des tensions, la tension minimale est améliorée de 0.843 p.u à 0.9801 p.u. Les pertes actives totales diminuent de 911.0 KW (SD intégré au JB 2) à 314.5 KW (SD intégré au JB 11) pour la capacité de la source distribuée.

Passement de SD	Cas normale					Augmentation de 50%				
	1 MW	2 MW	3 MW	4 MW	5 MW	1 MW	2 MW	3 MW	4 MW	5 MW
JB-02	414.6	408.3	402.7	397.8	393.7	947.5	937.3	927.8	919.1	911.0
JB-03	378.9	357.8	339.2	323.1	309.3	874.7	840.4	808.6	779.3	752.5
JB-04	355.0	320.1	289.6	263.3	241.2	832.8	775.4	722.7	674.4	630.6
JB-05	339.7	292.0	250.7	215.7	186.9	811.1	732.2	660.1	594.7	535.9
JB-06	330.0	271.0	220.5	178.3	144.3	802.3	703.6	614.2	533.8	462.3
JB-07	324.4	255.5	197.3	149.6	112.2	801.3	684.9	580.4	487.4	405.7
JB-08	321.5	244.3	180.2	128.8	89.8	804.9	673.1	555.9	452.9	363.7
JB-09	320.6	236.9	168.6	115.3	76.5	810.8	666.2	539.2	428.9	335.0
JB-10	321.1	232.7	162.2	108.8	72.2	817.9	663.2	529.1	414.5	318.8
JB-11	322.8	231.7	160.8	109.3	76.6	825.3	663.7	525.4	409.5	314.9
JB-12	325.5	233.6	164.3	116.6	89.8	832.8	667.3	528.1	413.9	323.5

Tableau IV.5 : comparaison des pertes : cas normal, cas avec augmentation de la charge.

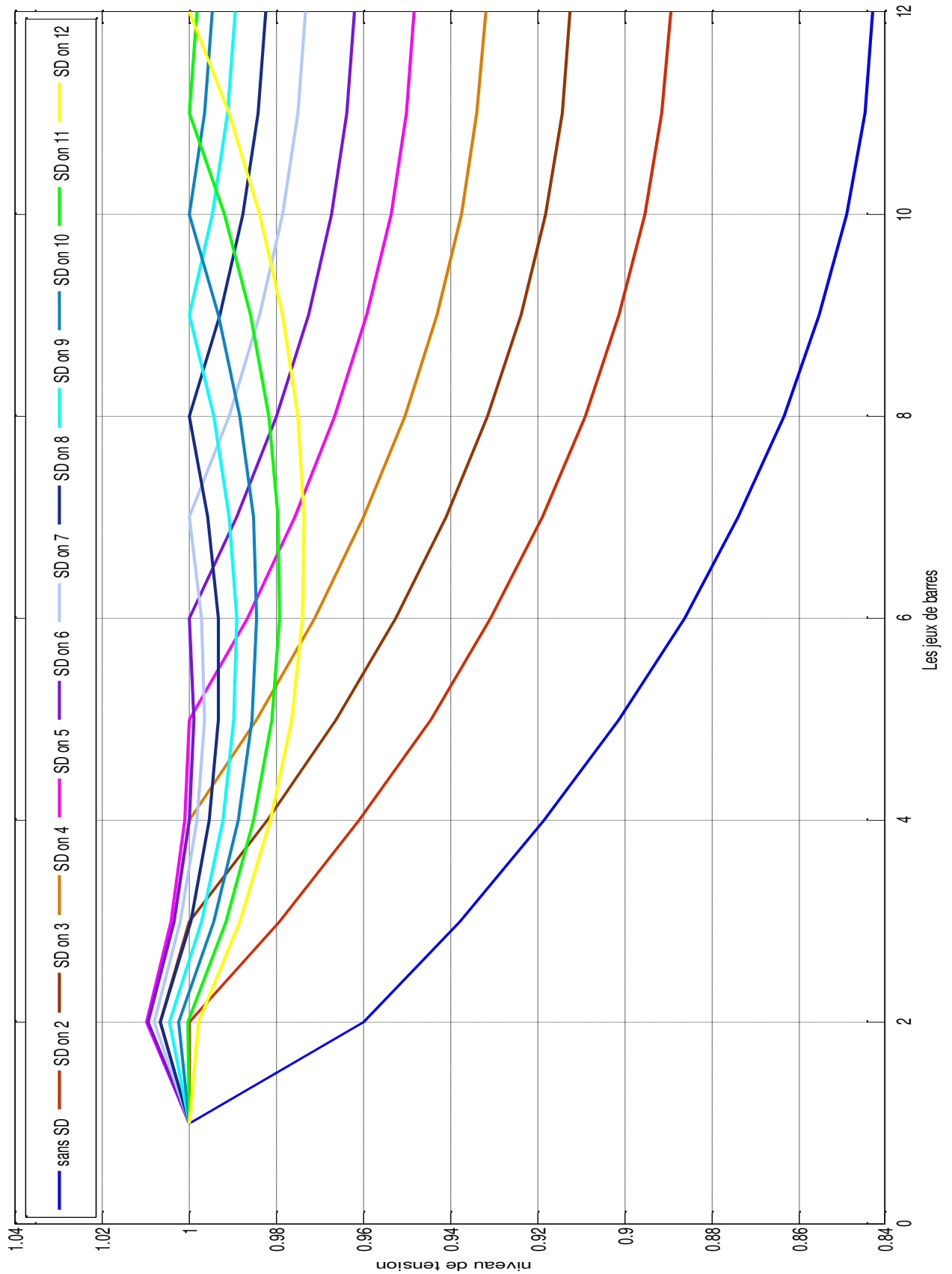


Figure IV.29 : comparaisent entre les tensions à niveau des jeux de barres pour SD=1MW.

Le **tableau IV.6** représente le cout de les pertes en \$ pour chaque placement des SD, nous avons remarqué que le coût total minimale engendré est à l'emplacement du SD au JB 11 avec une puissance injecte de 5 MW.

	1 MW	2 MW	3 MW	4 MW	5 MW
JB-01	498050.9	492685.2	487698.0	483088.2	478855.0
JB-02	459779.5	441744.2	425030.9	409631.5	395538.4
JB-04	437720.6	407598.1	379862.7	354490.2	331457.4
JB-05	426361.6	384896.3	347000.5	312621.3	281708.6
JB-06	421735.4	369858.4	322839.4	280582.0	242995.6
JB-07	421211.7	360015.6	305058.5	256183.4	213244.5
JB-08	423067.2	353785.3	292199.1	238072.3	191188.5
JB-09	426189.8	350180.4	283378.8	225451.2	176094.9
JB-10	429894.3	348625.8	278111.9	217901.4	167591.7
JB-11	433799.2	348842.7	276192.7	215269.6	165557.5
JB-12	437755.1	350765.4	277620.3	217593.4	170049.2

Tableau IV.6 : *le Coût des pertes totales.*

	1 MW	2 MW	3 MW	4 MW	5 MW
JB-01	20498.3009	40492.9352	60487.9480	80483.3382	100479.105
JB-02	20460.0295	40441.9942	60425.2809	80409.8815	100395.788
JB-04	20437.9706	40407.8481	60380.1127	80354.7402	100331.707
JB-05	20426.6116	40385.1463	60347.2505	80312.8713	100281.958
JB-06	20421.9854	40370.1084	60323.0894	80280.8320	100243.245
JB-07	20421.4617	40360.2656	60305.3085	80256.4334	100213.494
JB-08	20423.3172	40354.0353	60292.4491	80238.3223	100191.438
JB-09	20426.4398	40350.4304	60283.6288	80225.7012	100176.344
JB-10	20430.1443	40348.8758	60278.3619	80218.1514	100167.841
JB-11	20434.0492	40349.0927	60276.442	80215.5196	100165.807
JB-12	20438.0051	40351.0154	60277.870	80217.8434	100170.299

Tableau IV.7 : *Comparaison du coût total en fonction de placement et la capacité des SD,*

Cas avec augmentation de la charge.

IV. 2. 1. 4. Cas 4 : avec compensation

Afin d'analyser l'impact de la compensation shunt, une puissance réactive de 5MVAR est injectée au JB 8.

Test 1 : sans considération des SD

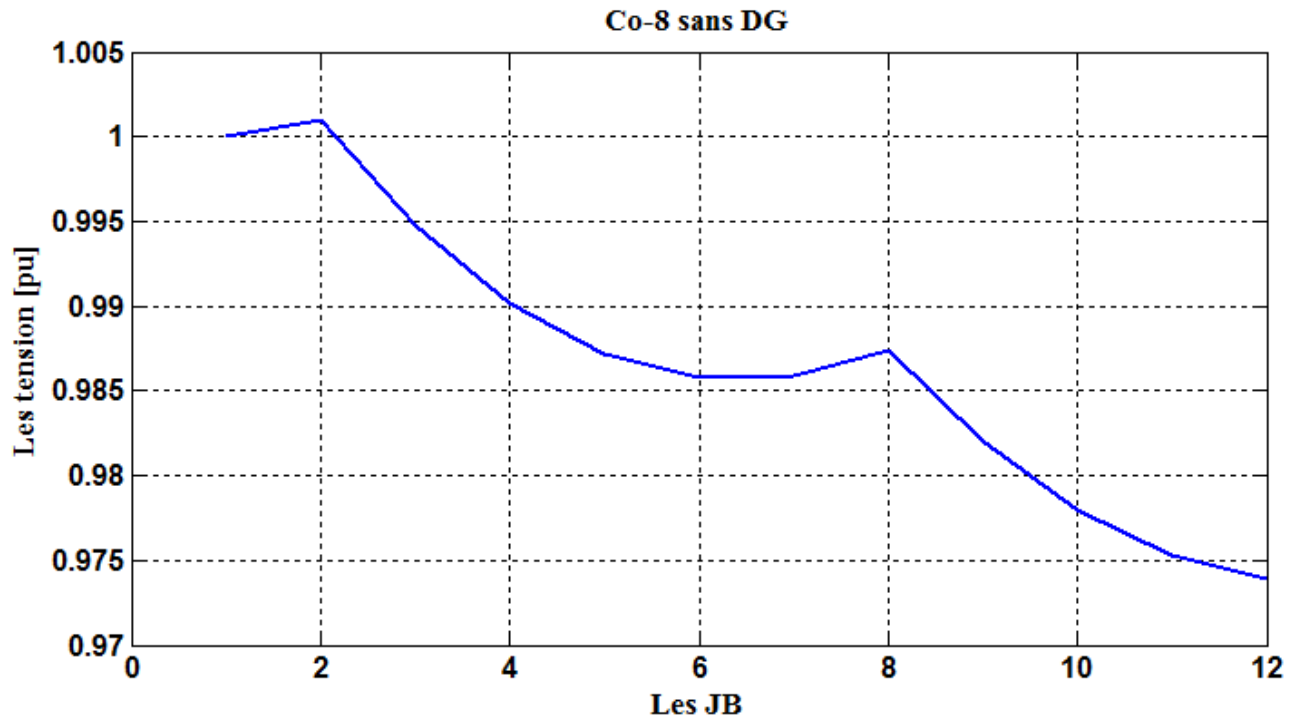


Figure IV.30 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : compensation au JB 8

Pour ce test, les sources distribuées ne sont pas considérées. On remarque une amélioration des tensions aux niveaux de tous les jeux de barres par rapport au cas normal.

Test 2 : avec considération des SD

Ce deuxième test a pour objectif de voir l'impact de la compensation en coordination avec l'intégration des SD. Les **Figures IV.31-IV.41**. Montrent la distribution des tensions aux niveaux de tous les jeux de barres en fonction de la variation du placement et de la puissance des SD tout en considérant une compensation réactive fixe. D'après les résultats obtenus on remarque que les pertes totales sont minimale pour l'emplacement de SD au jeu de barre 10. Le **tableau IV.8** représente une comparaison des pertes actives engendrées : cas normal, et avec intégration des SD en coordination avec la compensation shunt. La **figure IV.42** montre clairement l'amélioration des tensions par rapport au cas normal.

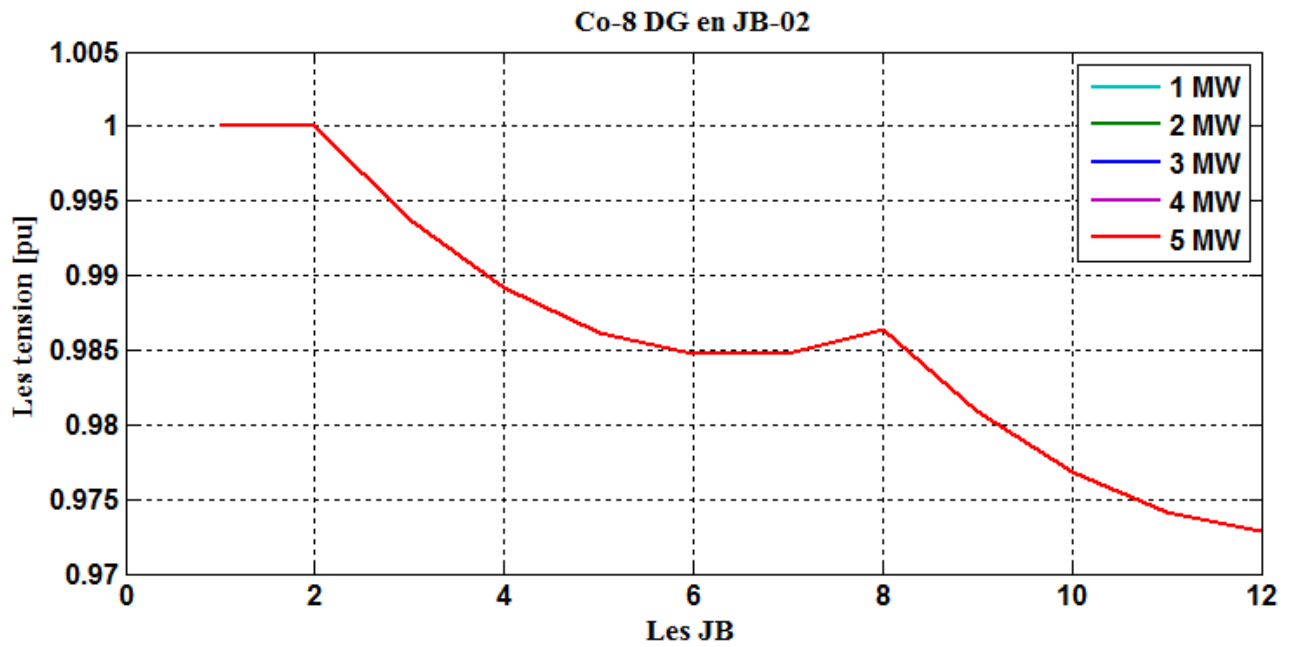


Figure IV. 31 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 2.

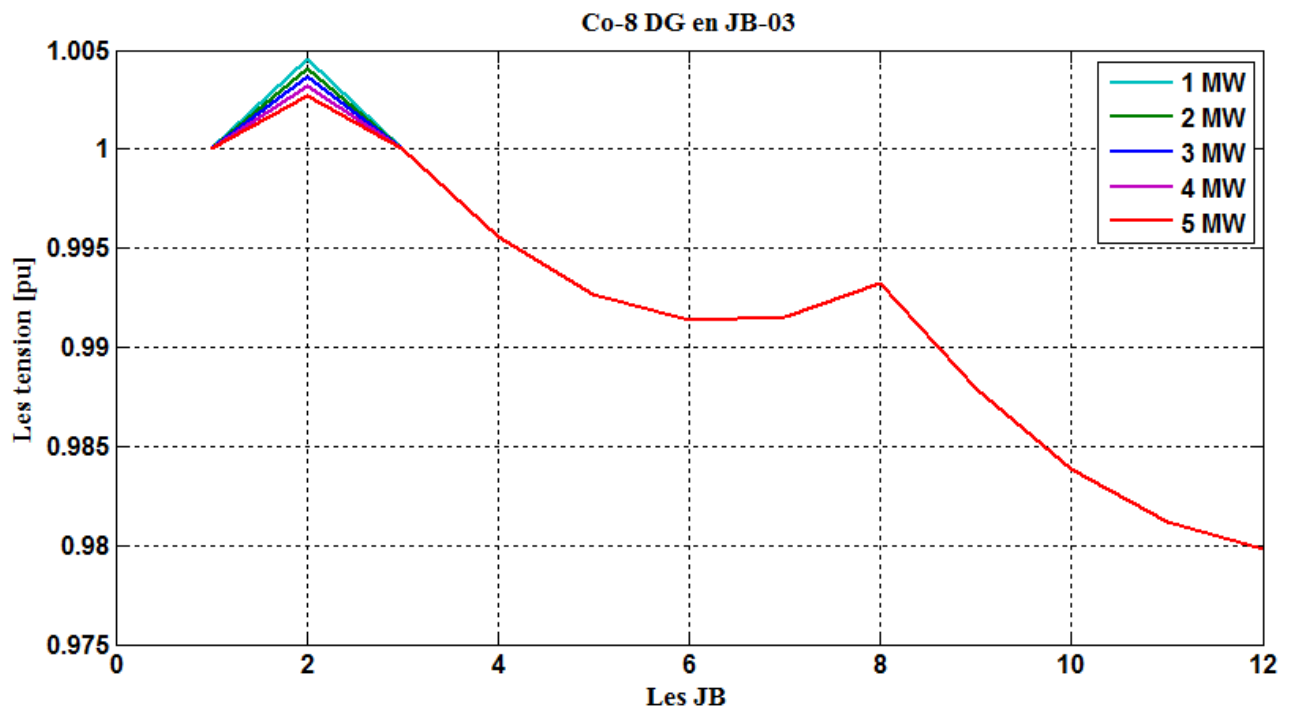


Figure IV.32 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 3.

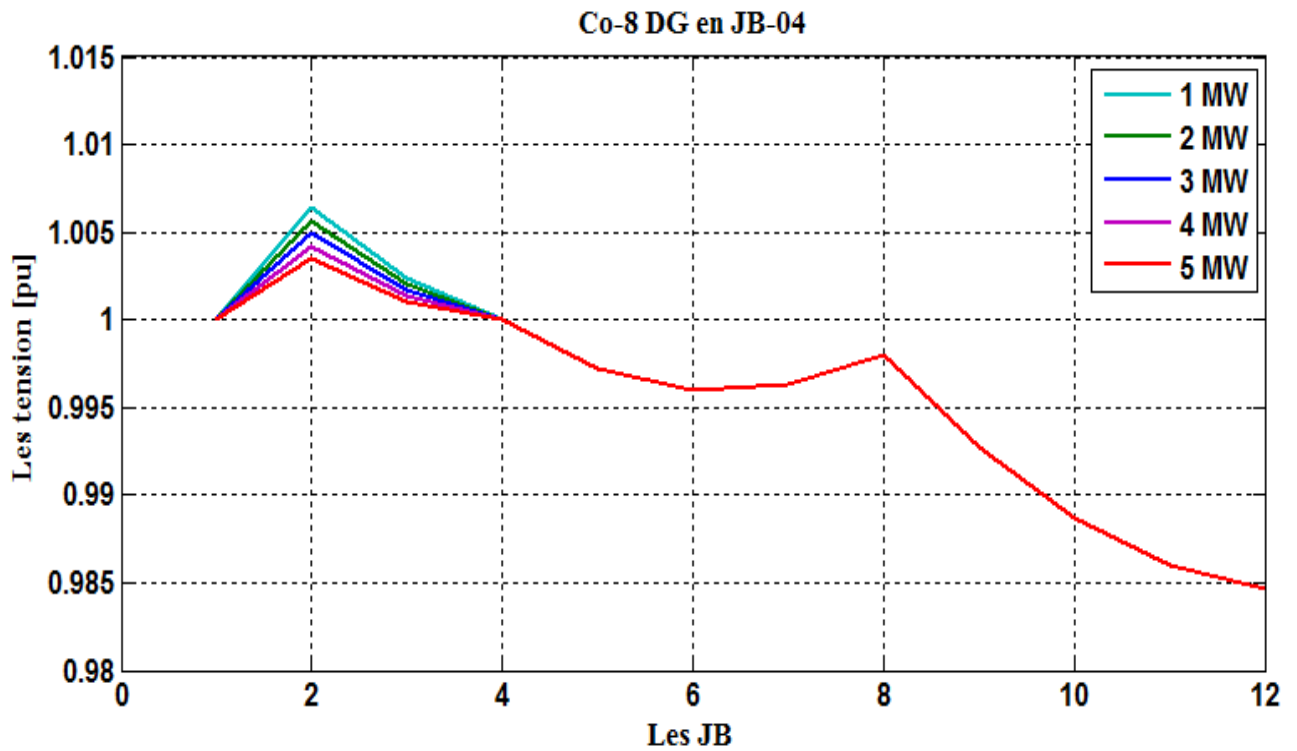


Figure IV.33 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 4.

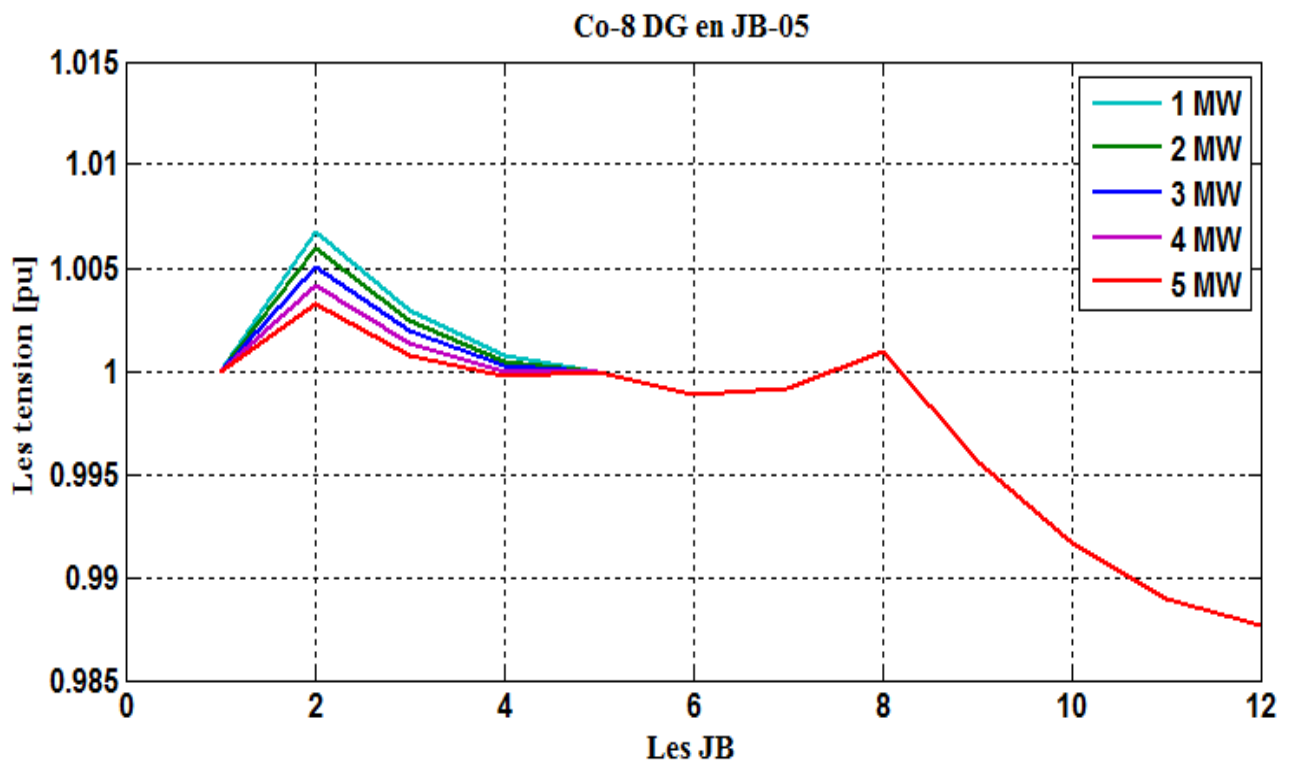


Figure IV.34 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 5.

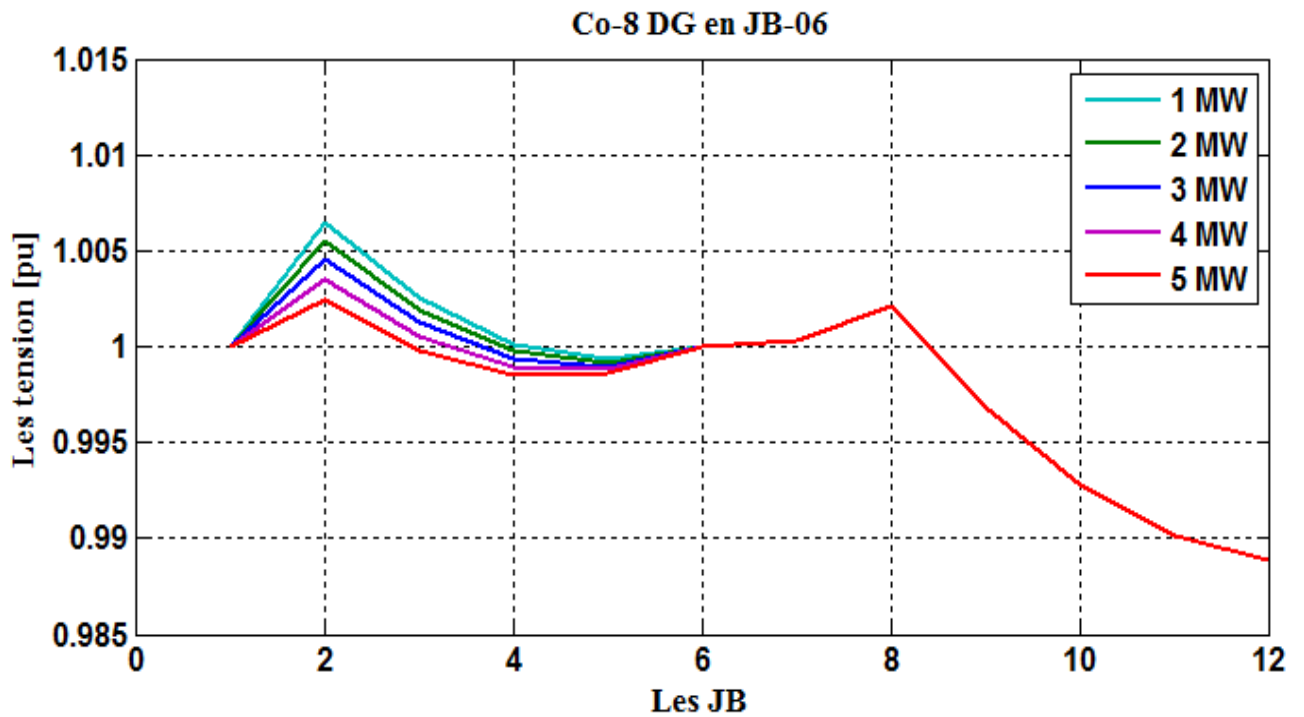


Figure IV.35 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 6.

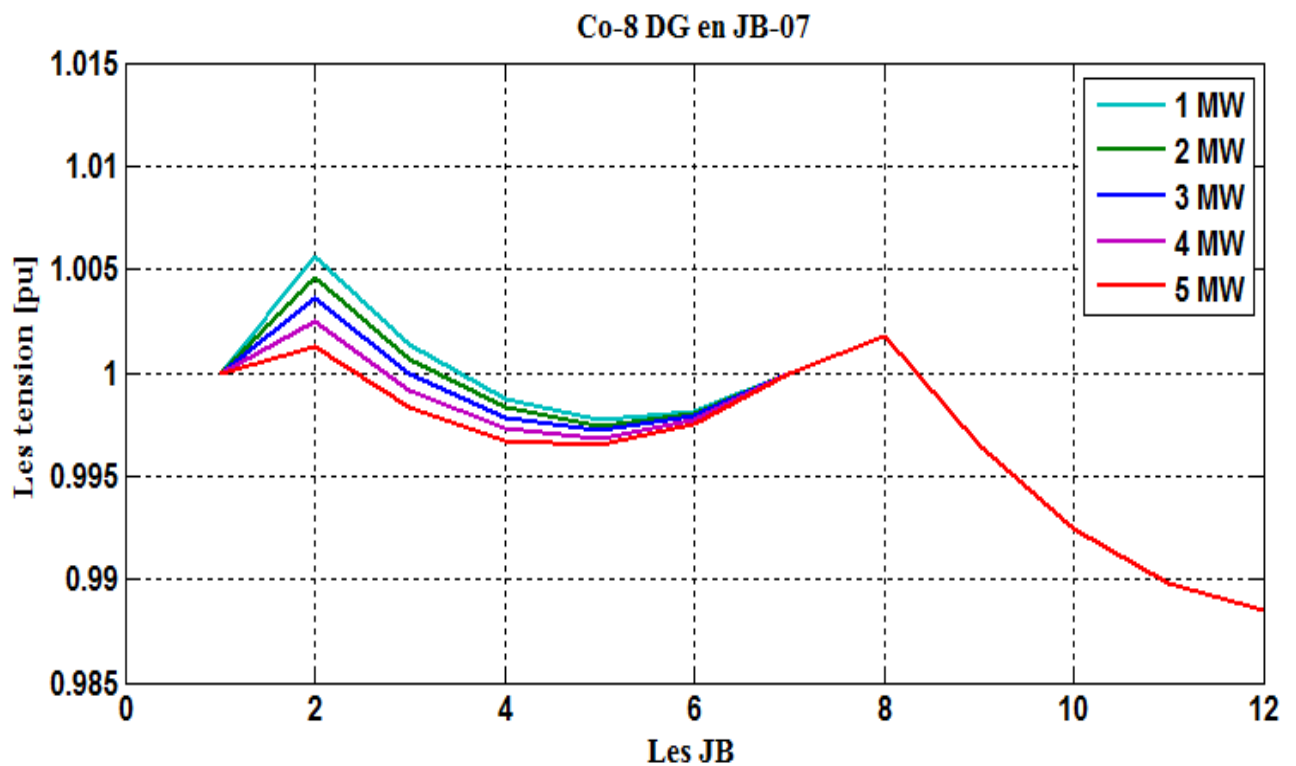


Figure IV.36 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 7.

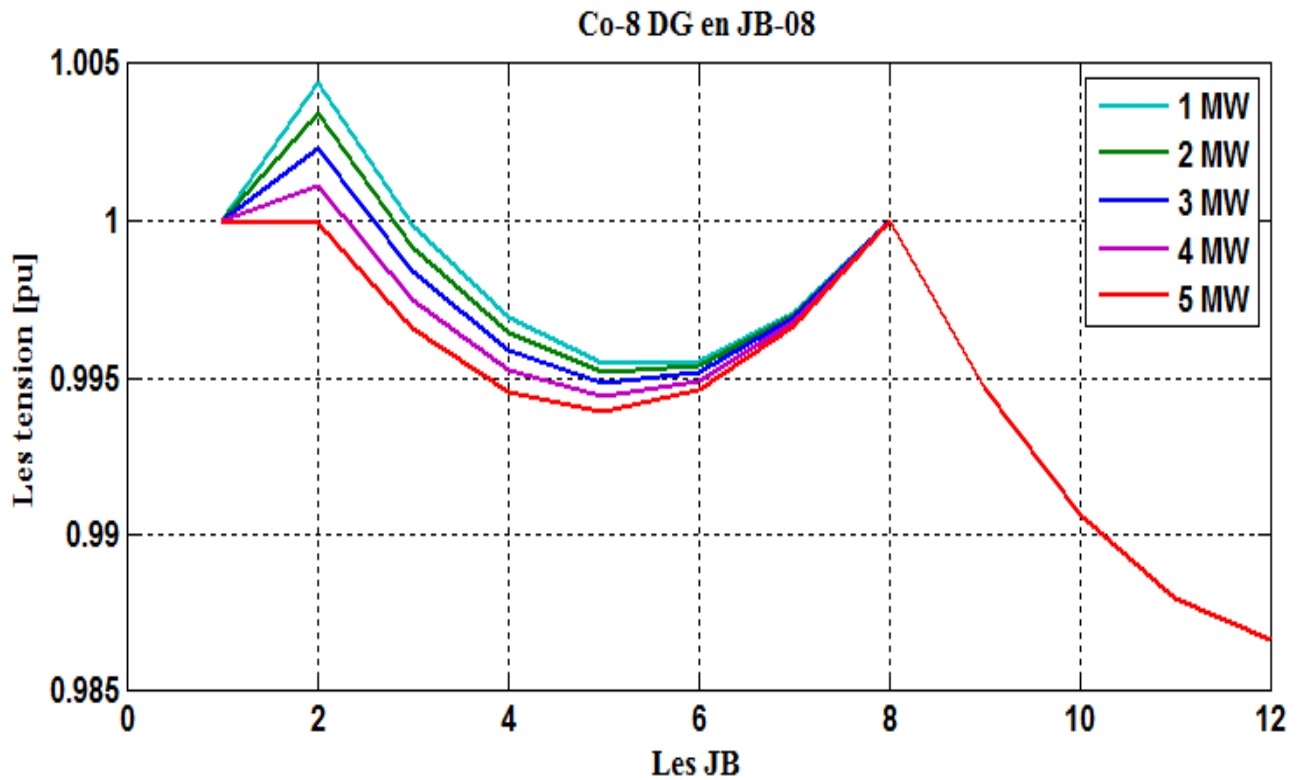


Figure IV.37 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 8.

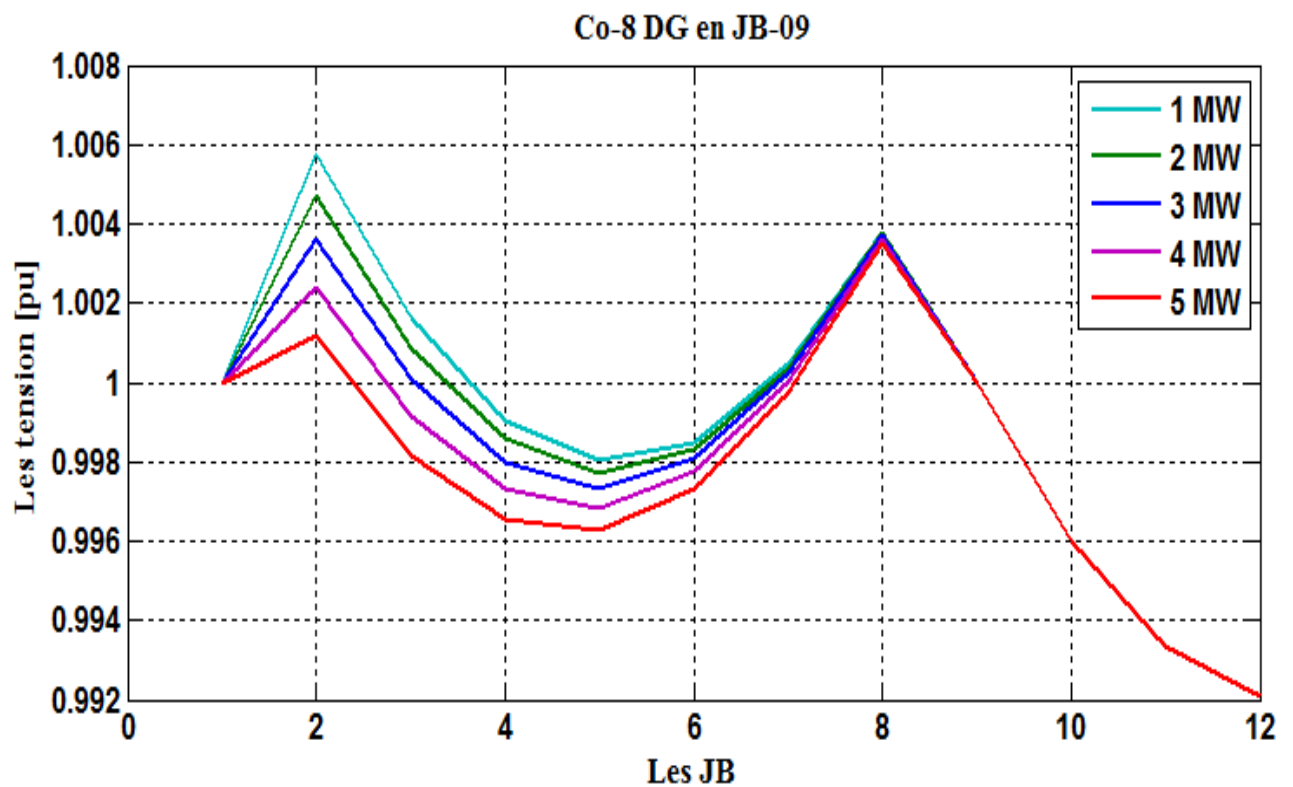


Figure IV.38 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 9.

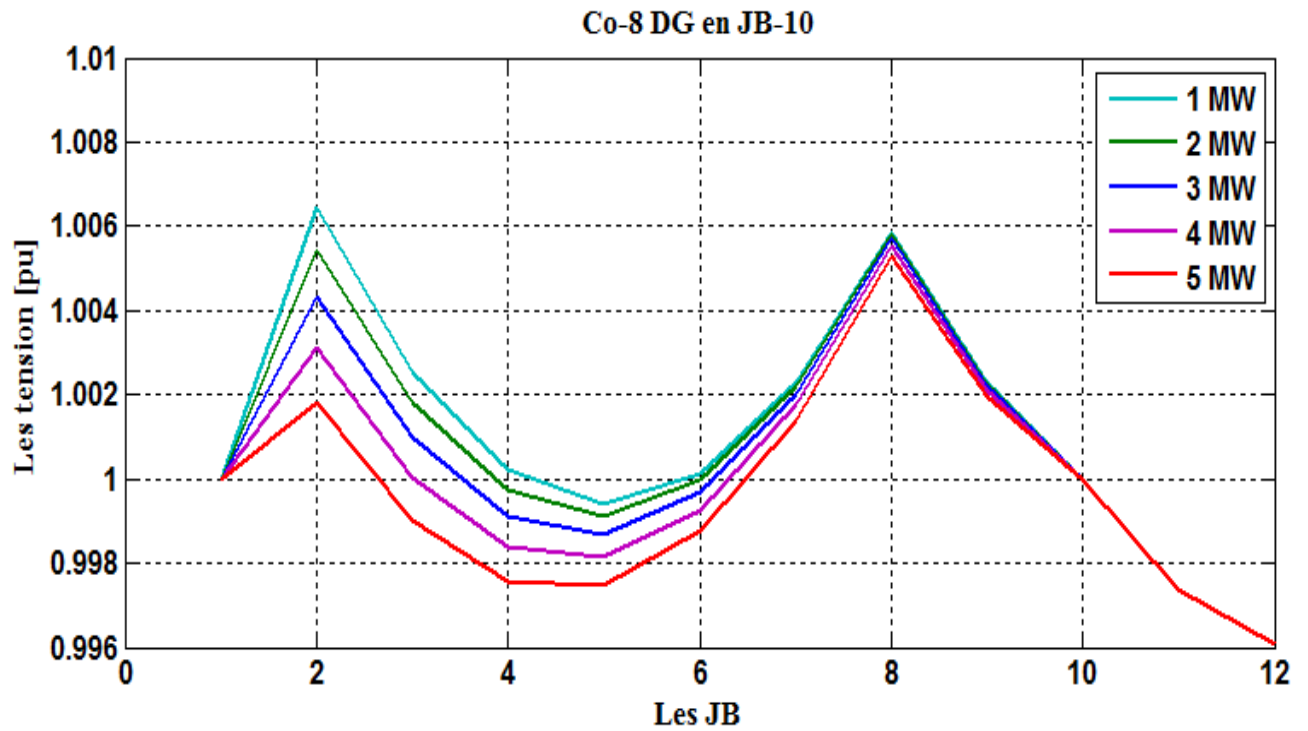


Figure IV.39 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisée au JB 10

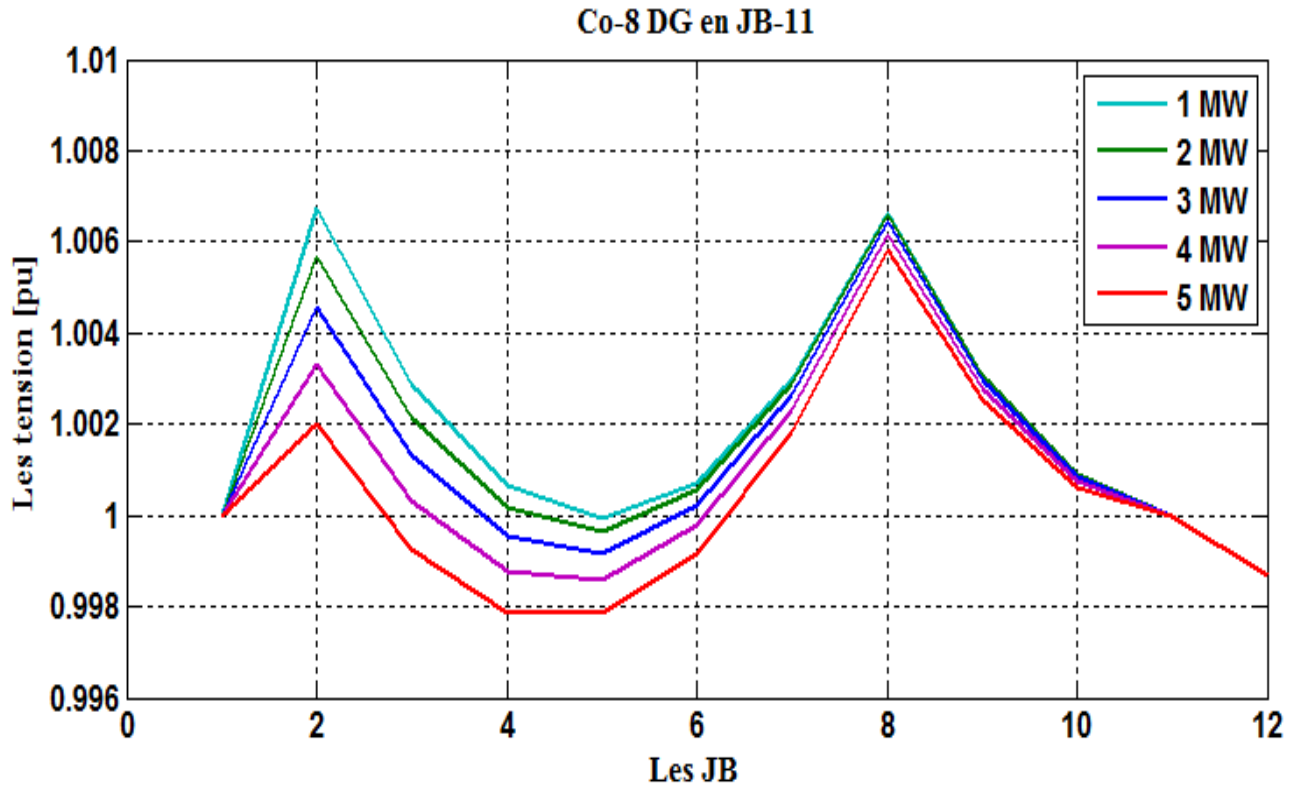


Figure IV.40 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisée au JB 11

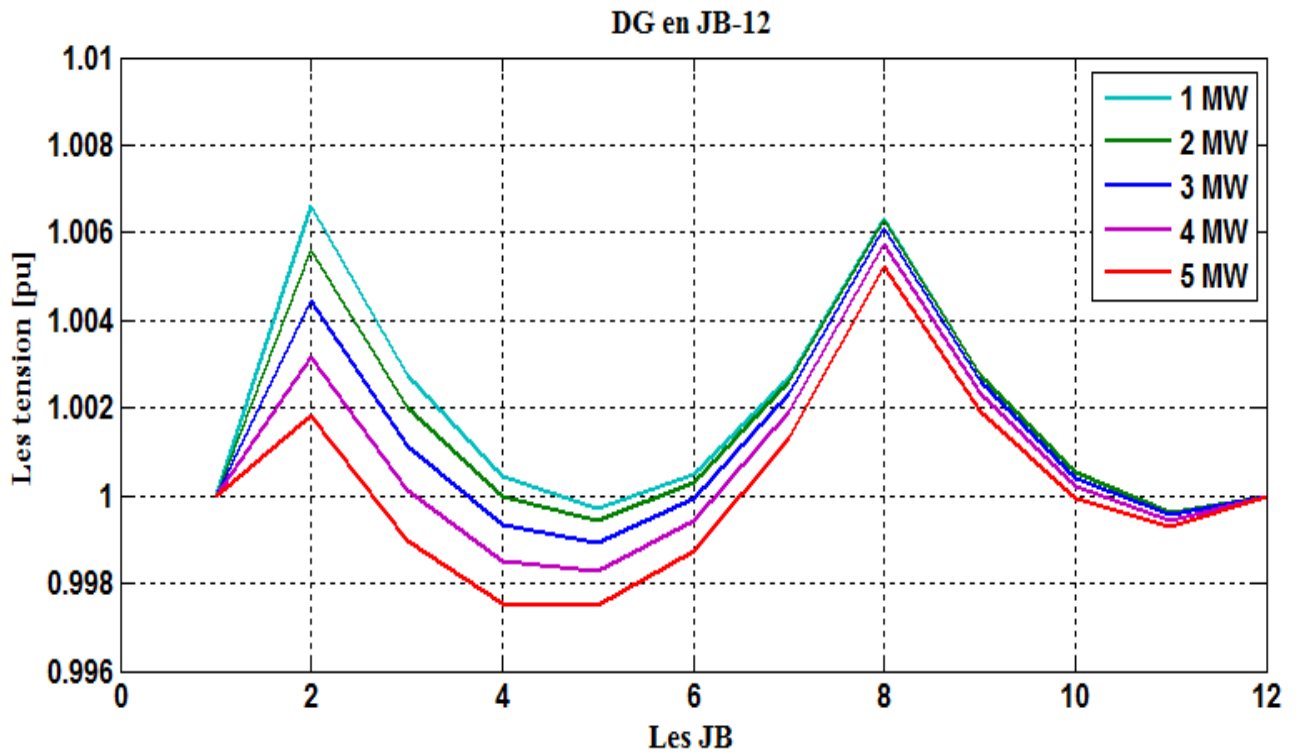


Figure IV.41 Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 4 : SD localisé au JB 12.

Placement de SD	Cas normale					Compensation de 5 MVAR				
	1 MW	2 MW	3 MW	4 MW	5 MW	1 MW	2 MW	3 MW	4 MW	5 MW
JB-02	414.6	408.3	402.7	397.8	393.7	383.1	377.5	372.7	368.6	389.3
JB-03	378.9	357.8	339.2	323.1	309.3	350.8	332.3	316.1	302.3	371.9
JB-04	355.0	320.1	289.6	263.3	241.2	324.6	294.0	267.6	245.6	359.5
JB-05	339.7	292.0	250.7	215.7	186.9	302.1	260.7	225.6	196.8	349.8
JB-06	330.0	271.0	220.5	178.3	144.3	281.7	231.1	188.8	154.8	340.9
JB-07	324.4	255.5	197.3	149.6	112.2	262.7	204.4	156.6	119.2	331.7
JB-08	321.5	244.3	180.2	128.8	89.8	244.3	180.2	128.8	89.8	321.5
JB-09	320.6	236.9	168.6	115.3	76.5	238.9	172.7	121.1	83.7	320.2
JB-10	321.1	232.7	162.2	108.8	72.2	234.7	167.9	117.7	83.6	318.4
JB-11	322.8	231.7	160.8	109.3	76.6	232.1	166.6	119.5	90.15	316.6
JB-12	325.5	233.6	164.3	116.6	89.8	231.7	169.1	126.7	103.8	315.2

Tableau IV.8 Comparaison des pertes actives engendrées : cas normal, et avec intégration des SD en coordination avec la compensation shunt.

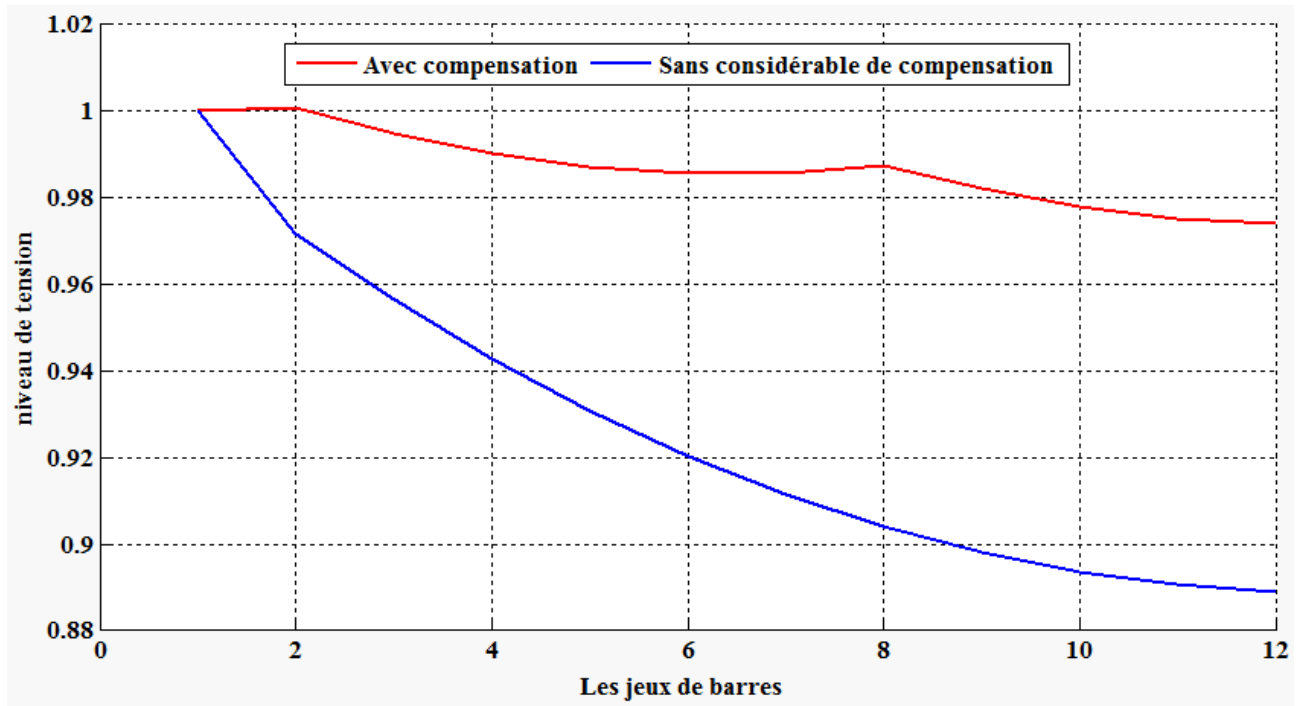


Figure IV.42 Comparaison entre les tensions aux niveaux des jeux de barres pour le cas normal et avec considérable de la compensation shunt.

IV. 2. 2. Description du réseau test II (20 jeux de barres):

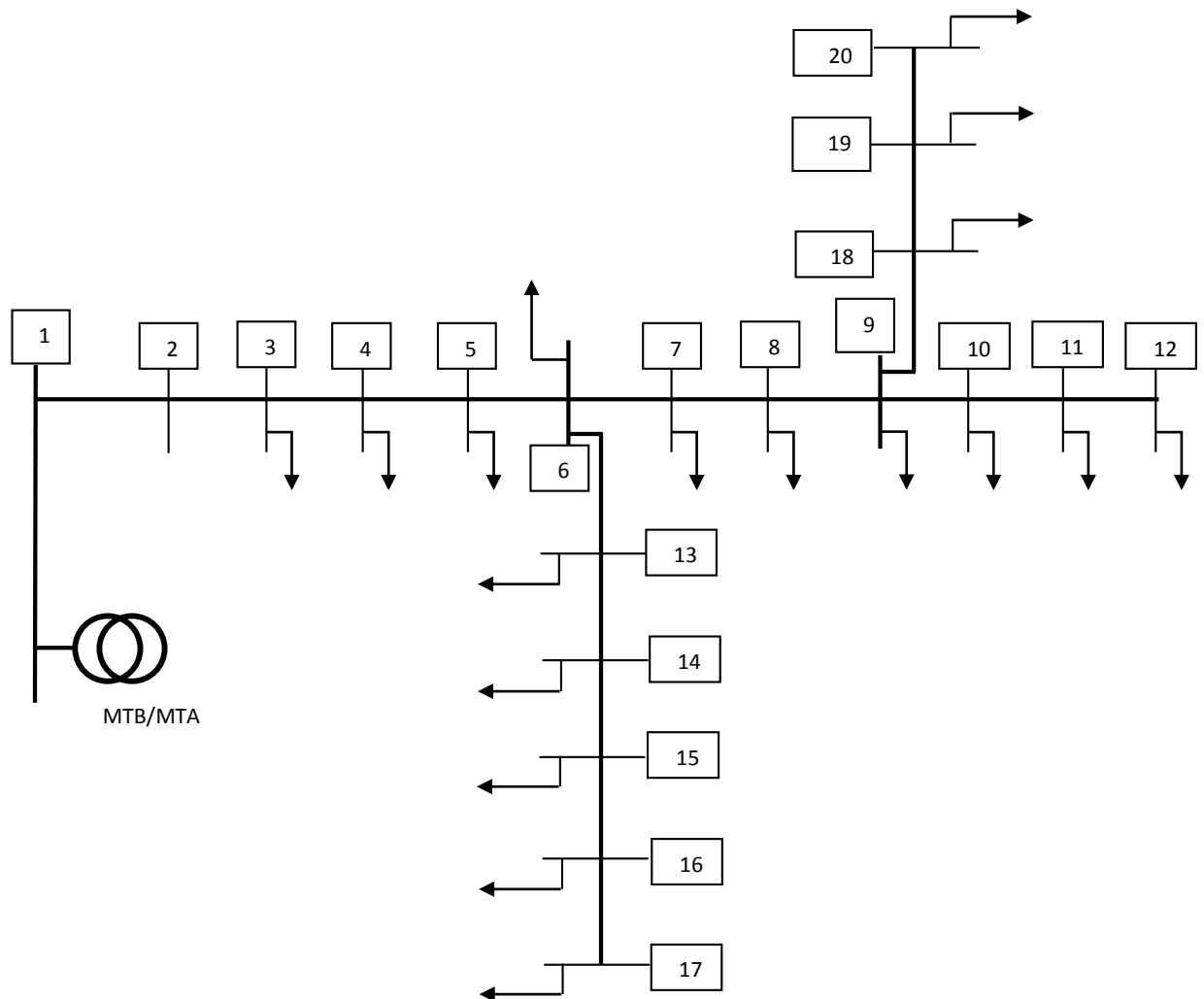


Figure IV.43 : Schéma unifilaire du réseau radial.

Ce 2^{ème} réseau test assure la livraison de l'énergie aux consommateurs sous une tension 12.66 KV, ce réseau est de type radial composé d'une branche principale, et deux branches auxiliaires, le nombre de nœuds et de branches sont 20 et 19 respectivement, la puissance active demandée total est de 18 MW, la puissance réactive totale demandée est de 5.4 MVAR. Le schéma unifilaire du réseau test est présenté dans la **figure IV.43**. Les caractéristiques techniques des branches et des charges sont présentées dans le **tableau IV.9**.

Branches	R	X	Les jeux de barres	Puissance active de charge MW	Puissance réactive de charge MVAR
1-2	0.035	0.570	2	-	-
2-3	0.08	0.17	3	1	0.3
3-4	0.08	0.17	4	1	0.3
4-5	0.08	0.17	5	1	0.3
5-6	0.08	0.17	6	1	0.3
6-7	0.08	0.17	7	1	0.3
6-13	0.08	0.17	8	1	0.3
13-14	0.08	0.17	9	1	0.3
14-15	0.08	0.17	10	1	0.3
15-16	0.08	0.17	11	1	0.3
16-17	0.08	0.17	12	1	0.3
7-8	0.08	0.17	13	1	0.3
8-9	0.08	0.17	14	1	0.3
9-10	0.08	0.17	15	1	0.3
9-18	0.08	0.17	16	1	0.3
18-19	0.08	0.17	17	1	0.3
19-20	0.08	0.17	18	1	0.3
10-11	0.08	0.17	19	1	0.3
11-12	0.08	0.17	20	1	0.3

Tableau IV.9 : caractéristiques techniques des branches et des charges : réseau test 20 _Bus

Afin de démontrer l'efficacité de l'algorithme généralisé proposé, nous avons analysés l'effet de l'intégration des SD sur un autre type de réseau de distribution possédant plusieurs dérivations. Le **tableau IV.10** récapitule les résultats obtenus lors de l'intégration des SD aux jeux de barres. La figureIV.44 représente une comparaison des tensions aux niveaux des jeux de barres entre le cas normal et avec considération des SD à l'endroit optimal.

SD en JB	1		2		3		4		5	
	Perte	V pu	Perte	V pu	Perte	V pu	Perte	V pu	Perte	V pu
2	2202.7	0.84	2202.7	0.84	2202.7	0.84	2202.7	0.84	2202.7	0.84
3	1717.9	0.8796	1705.0	0.8796	1692.8	0.8796	1681.4	0.8796	1670.7	0.8796
4	1530.6	0.9098	1487.3	0.9098	1446.6	0.9098	1408.5	0.9098	1372.8	0.9098
5	1417.9	0.9358	1344.1	0.9358	1275.0	0.9358	1210.6	0.9358	1150.8	0.9358
6	1355.5	0.9584	1251.0	0.9584	1153.8	0.9584	1063.7	0.9584	980.5	0.9584
7	1327.5	0.9714	1192.5	0.9714	1067.6	0.9714	952.52	0.9714	846.9	0.9714
8	1353.1	0.9637	1195.9	0.9641	1051.9	0.9643	920.5	0.9645	801.6	0.9646
9	1380.7	0.9561	1202.6	0.9567	1041.1	0.9571	895.5	0.9574	765.2	0.9576
10	1409.1	0.9461	1211.8	0.9468	1034.6	0.9474	876.6	0.9479	737.1	0.9482
11	1450.4	0.9366	1240.6	0.9376	1054.7	0.9384	891.43	0.9390	749.6	0.9393
12	1487.6	0.9277	1267.8	0.9289	1075.7	0.9298	909.71	0.9305	768.3	0.9309
13	1521.5	0.9444	1294.3	0.9446	1098.6	0.9447	932.49	0.9447	794.0	0.9448
14	1388.9	0.9320	1238.0	0.9323	1100.2	0.9325	975.21	0.9327	862.5	0.9327
15	1441.1	0.9206	1276.5	0.9211	1128.3	0.9215	996.03	0.9217	878.9	0.9218
16	1486.4	0.9101	1310.6	0.9108	1154.6	0.9113	1017.4	0.9116	898.5	0.9117
17	1526.5	0.9003	1341.9	0.9011	1180.6	0.9017	1041.6	0.9020	923.1	0.9022
18	1562.6	0.9461	1371.8	0.9468	1207.8	0.9474	1069	0.9479	954.08	0.9482
19	1450.4	0.9366	1240.6	0.9376	1054.7	0.9384	891.4	0.9390	749.6	0.9393
20	1487.6	0.9277	1267.8	0.9289	1075.7	0.9298	909.7	0.9305	768.3	0.9309

Tableau IV.10 : Comparaison des pertes totales avec les tensions minimales pour chaque placement des SD.

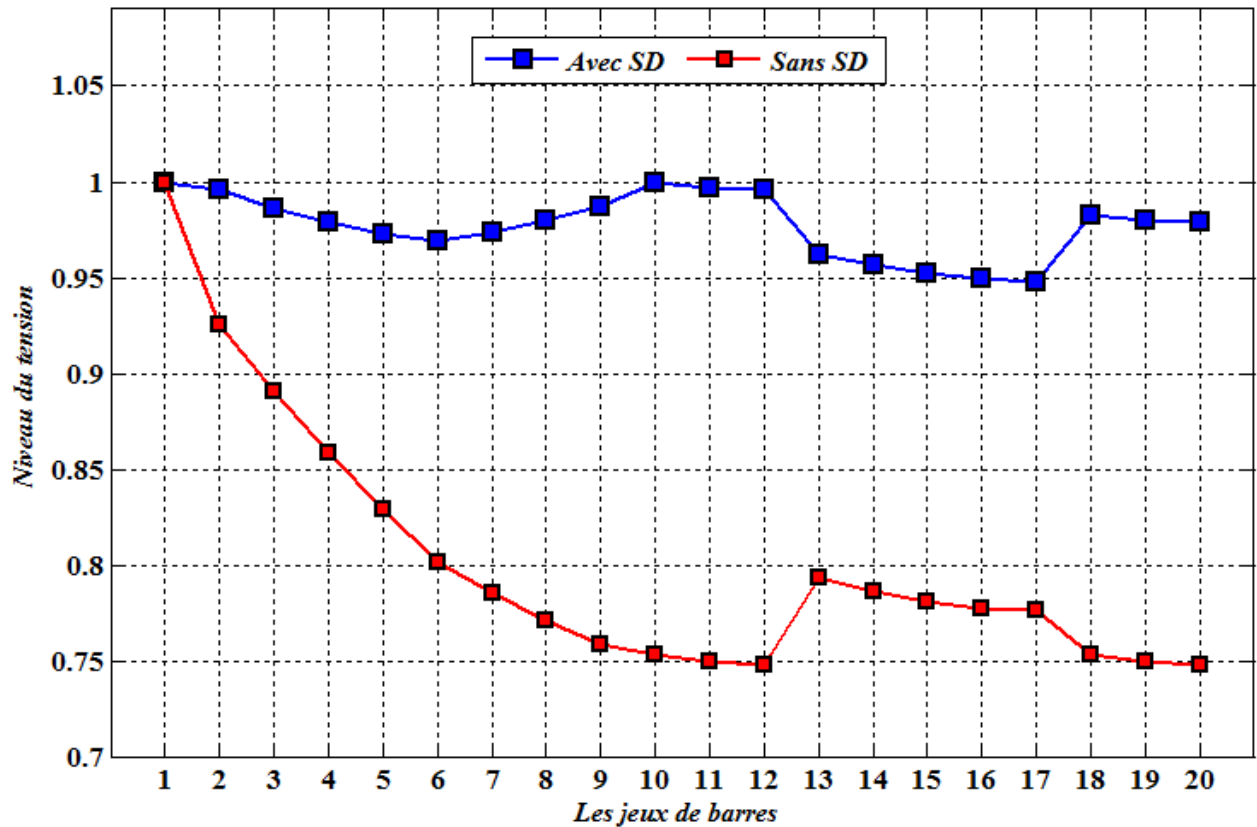


Figure IV.44 : Comparaison des tensions aux niveaux des jeux de barres entre le cas normal et avec considération des SD à l'endroit optimal

IV. 3. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons appliqué une méthode heuristique basée sur un processus itérative par utilisation de la méthode de N-R pour déterminer le placement optimal des sources distribuées pour minimiser les pertes active totales, minimiser le coût des pertes actives et aussi assurer une répartition des tensions aux niveaux des jeux barres dans les limites admissibles. L'efficacité de la méthodologie généralisée proposé est validée sur deux réseaux tests. Les résultats ainsi trouvées confirment l'efficacité et l'impact de l'intégration des sources distribuées dans les réseaux électriques de distribution.

Conclusion générale

L'insertion massive d'une nouvelle source d'énergie électrique dans un réseau de distribution qui est généralement non dimensionné pour accueillir des sources d'énergie a des conséquences sur l'exploitation du réseau électrique. Cette présence touche essentiellement le plan de tension et les pertes. Ce travail de fin d'étude orienté pour déterminer et évaluer l'impact de l'intégration des sources de production décentralisées sur les tensions et les pertes actives totales dans les réseaux électrique de distribution HTA.

Dans le premier chapitre nous avons exposé les différentes architectures des réseaux électriques, les architectures de différentes postes de livraison HTB et HTA, et le régime du neutre.

Le deuxième chapitre a été consacré à donner un aperçu sur le principe de base de différentes sources de production décentralisée (énergie renouvelable et non renouvelable).

Le troisième chapitre récapitule, les différentes méthodes utilisées pour l'analyse de l'écoulement des charges dans les réseaux électriques de distribution. Trois méthodes sont utilisées par les experts chargés de la planification et l'exploitation des réseaux électriques pour l'analyse du problème de l'écoulement de puissance à savoir, la méthode de Gauss-Seidel, la méthode de Newton Raphson, et en particulier la méthode spéciale la plus robuste appelé méthode spéciale. On général le choix entre ces méthodes dépend des caractéristiques des réseaux à exploités.

Le quatrième chapitre est consacré à valider l'importance de l'intégration des SD au placement optimal. Nous avons appliqué une méthode heuristique basée sur un processus itérative par utilisation de la méthode de N-R pour déterminer le placement optimal des sources distribuées pour minimiser les pertes active totales, minimiser le coût des pertes actives et aussi assurer une répartition des tensions aux niveaux des jeux barres dans les limites admissibles. L'effet de l'intégration de la compensation shunt sur les pertes totales et les déviations de tensions et aussi traité.

L'efficacité de la méthodologie généralisée proposé est validée sur deux réseaux tests. Les résultats ainsi trouvées confirment l'efficacité et l'impact de l'intégration des sources distribuées dans les réseaux électriques de distribution.

BIBLIOGRAPHIE

Titre :

-
- [1]- Christophe PRÉVÉ et Robert JEANNO, Guide de conception des réseaux électriques industriels, n° : 6 883 427/A, date : Février 1997
 - [2]- Addi Radouane, Etude et Analyse des Réseaux de Distribution (MT-BT), Mémoire MASTER Réseau électrique, Université Mohamed Khider Biskra / Juin 2012
 - [3]- Belkacem Mahdad, K. Srairi, T. Bouktir, "Optimal Coordination and Penetration of Distributed Generation with Shunt FACTS Using GA/Fuzzy Rules," Chapter published in a Book (Distributed Generation): InTech Education and Publishing KG, Intechweb.org, April 2010.
 - [4]- Mr. ZELLAGUI Mohamed, Etude des protections des réseaux électriques MT (30 & 10 kv), Mémoire magistère, ANNÉE 2010
 - [5]- Belkacem Mahdad, "Dispatching Economique Par Matlab (Cours et Exercices) Partie 1 Méthodes Mathématiques, Publication Maison d'Édition Eldjazair, 2014
 - [6]- Nouredine Hadjsaïd, La distribution d'énergie électrique en présence de production décentralisée, Livre, Publication Maison d'Édition EGEM, 2010
 - [7]- Mr. BOUABDALLAH AMARA, Application des algorithmes génétiques au dispatching économique et environnemental Mémoire MASTER Réseau électrique, Université Mohamed Khider Biskra / Juin 2012
 - [8]- Damien Thirault, Architectures des Réseaux de Distribution pour l'Électrification rurale des Pays en Développement, Thèse, Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble dans le cadre de l'Ecole Doctorale EEATS « Electronique, Electrotechnique, Automatique, Télécommunication, Signal», 2004
 - [9]- Modélisation d'un générateur photovoltaïque dans l'environnement « Matlab », D.Saheb-Koussa, Centre of development of renewable energies Route de l'observatoire, BP.62 Bouzareah, Algiers, Algeria. Et M.Haddadi, Laboratoire des dispositifs de communications et de conversions photovoltaïques Ecole Nationale Polytechnique, 10 Avenue Hassen Badi, El Harrach, Alger, Algérie/ International Conférence on Computer Integrated Manufacturing November 2007
 - [10]- Mekhtoub et R. Ibtouen, Analyse dynamique des générateurs éoliens lors d'un creux de tension du réseau, Article, S. Laboratoire de Recherche en Electrotechnique, 'LRE' Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, 10 Avenue Pasteur, B.P. 182, El Harrach, Alger, Algérie /S. Bacha- Grenoble Génie Electrique Laboratoire, 'G2Elab' Domaine Universitaire, B.P. 45 St Martin d'Hères, Grenoble, France/2009.

- [11]- Me. NAAMA Bakhta, Mr. BOUZEBODJA Hamid et Mr. ASRAOUI Abderrahmane, Simulation des Réseaux Electriques par le Logiciel Power World Version 17, Travaux Pratiques, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran-Mohamed Boudiaf, Année : 2014-2015
- [12]- S. K. Injeti, V. K. Thunuguntla et SHAREEF Meera, Optimal allocation of capacitor banks in radial distribution systems for minimization of real power loss and maximization of network savings using bio-inspired optimization algorithms, Article, Electrical Power and Energy Systems/ www.elsevier.com/locate/ijepes, 2015
- [13]- A. Kumar, Article, Optimal placement of DG in radial distribution systems based on new voltage stability index under load growth /www.elsevier.com/locate/ijepes, 2015
- [14]- Nick Jenkins et coll. Traduction et adaptation français : Michel Pinard et Michel Villo, Électrotechnique des énergies renouvelables et de la cogénération, livre Publication Maison d'Édition DUNOD juin 2008 N° 1041.