
chII. REPRESENTATION DU RESEAU

INTRODUCTION

Les composantes de base du réseau de distribution sont :

- générateurs,
- transformateurs,
- les lignes de transmission,
- les protections (disjoncteur, sectionneur,...)
- les charges

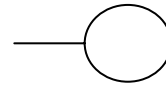
L'interconnexion entre elles peut se faire par un diagramme unifilaire. Les circuits équivalents des composantes sont représentés dans un diagramme appelés *diagrammes des impédances*.

1- Diagramme unifilaire

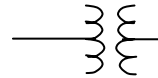
Les symboles utilisés pour représenter les composante typiques d'un système de transmission sont les suivants :

Tableau VII-1: symboles utilisés pour les principales composantes d'un système de transmission.

Moteur ou générateur :



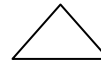
Transformateurs à deux enroulements :



Ligne de transmission :



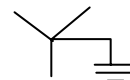
Connexion triangle :



Connexion étoile :



Connexion étoile mis à la terre :



Disjoncteur, sectionneur :



Barre de connexion :



La Figure II-1 est un diagramme unifilaire d'un système de transmission constitué de deux générateurs connectés à une ligne de transmission. L'avantage d'une telle représentation est sa simplicité : une phase représente toutes les 3 phases du système équilibré ; les circuits équivalents des composantes sont remplacés par leur symboles standard.

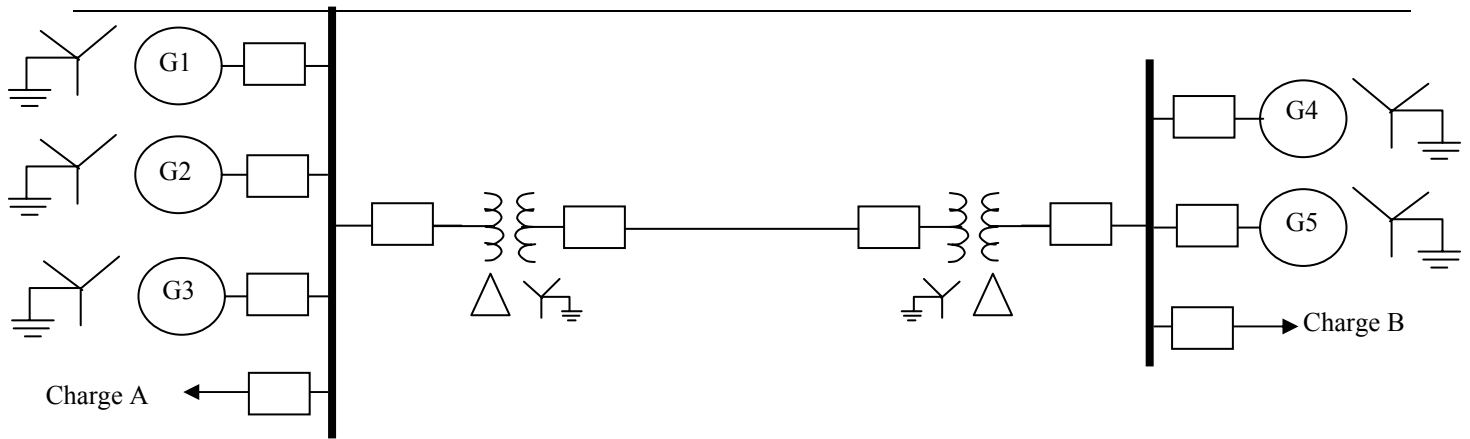


Fig. II-1: exemple de diagramme unifilaire.

1.3 Diagramme d'impédance et de réactance

- un générateur peut être représenté par une source de tension en série avec une inductance et une résistance. Mais la résistance interne peut être négligée comparée à la réactance.
- Les charges sont des résistances en série avec une inductance,
- Les enroulements des transformateurs sont des résistances en série avec une inductance,
- La ligne de transmission peut être représentée par un schéma équivalent (T , π , ...).
- La connexion Δ - Y du transformateur peut être remplacée par un schéma équivalent Y - Y (par transformation Δ - Y) afin que le diagramme d'impédance puissent s'établir de façon unifilaire.

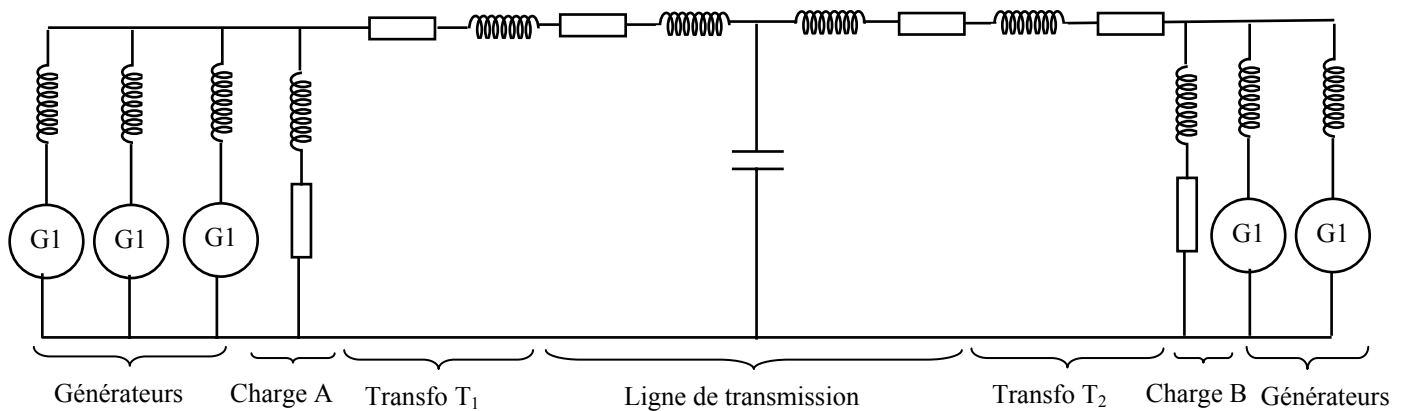


Fig. II-2(a)

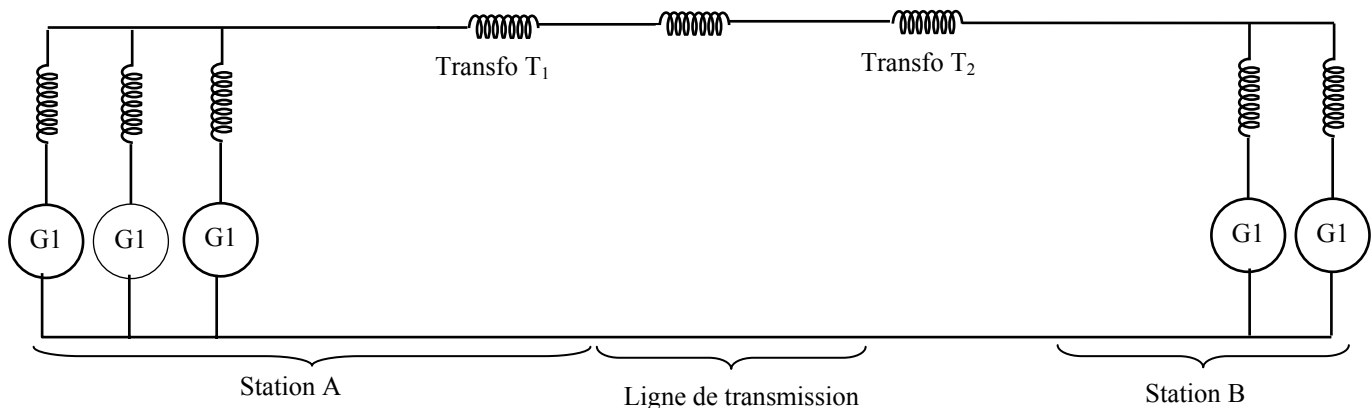


Fig. II-2(b)

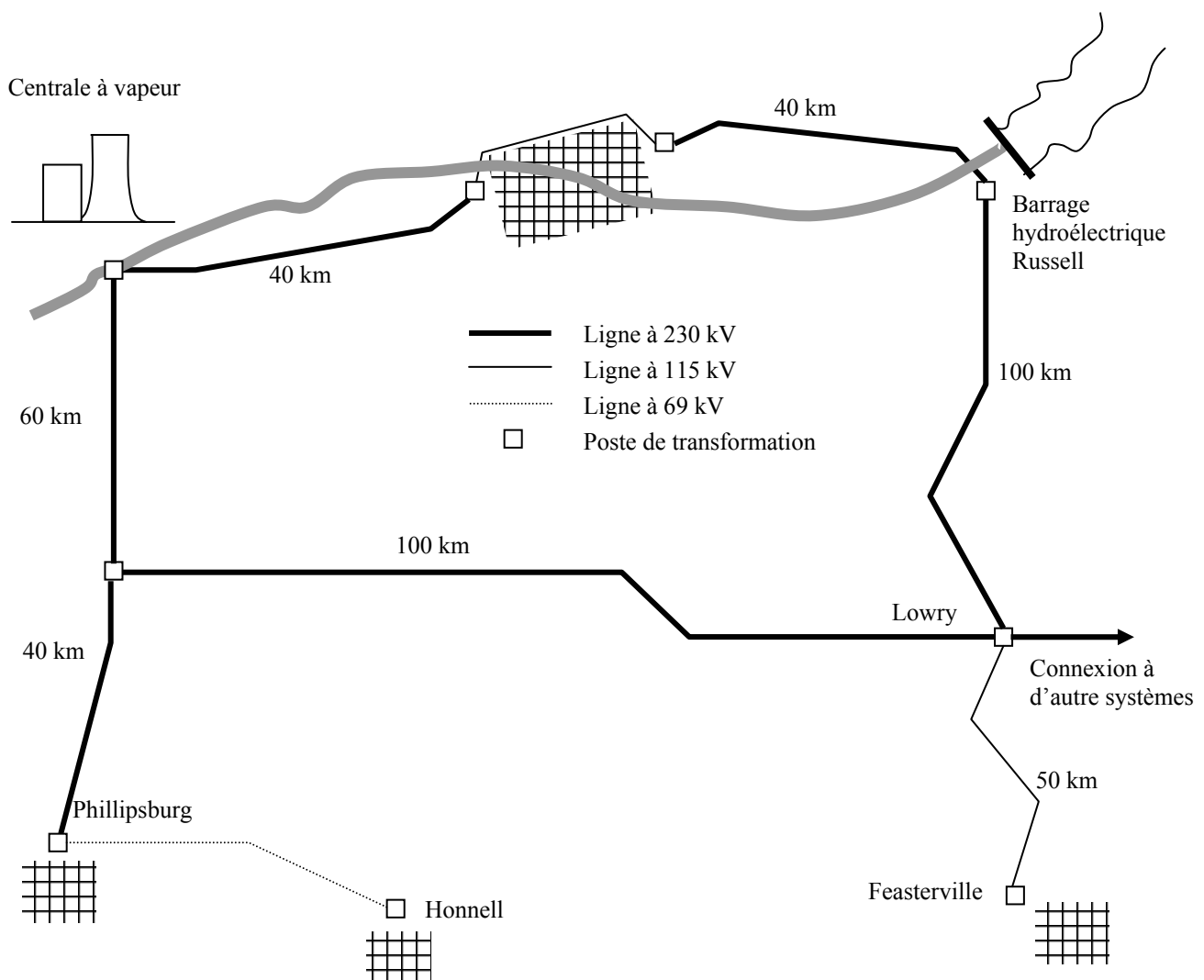


Fig. II-3(a) Exemple de carte de réseau.

La Figure II-3(b) représente le schéma unifilaire de cette carte d'après les conventions définies.

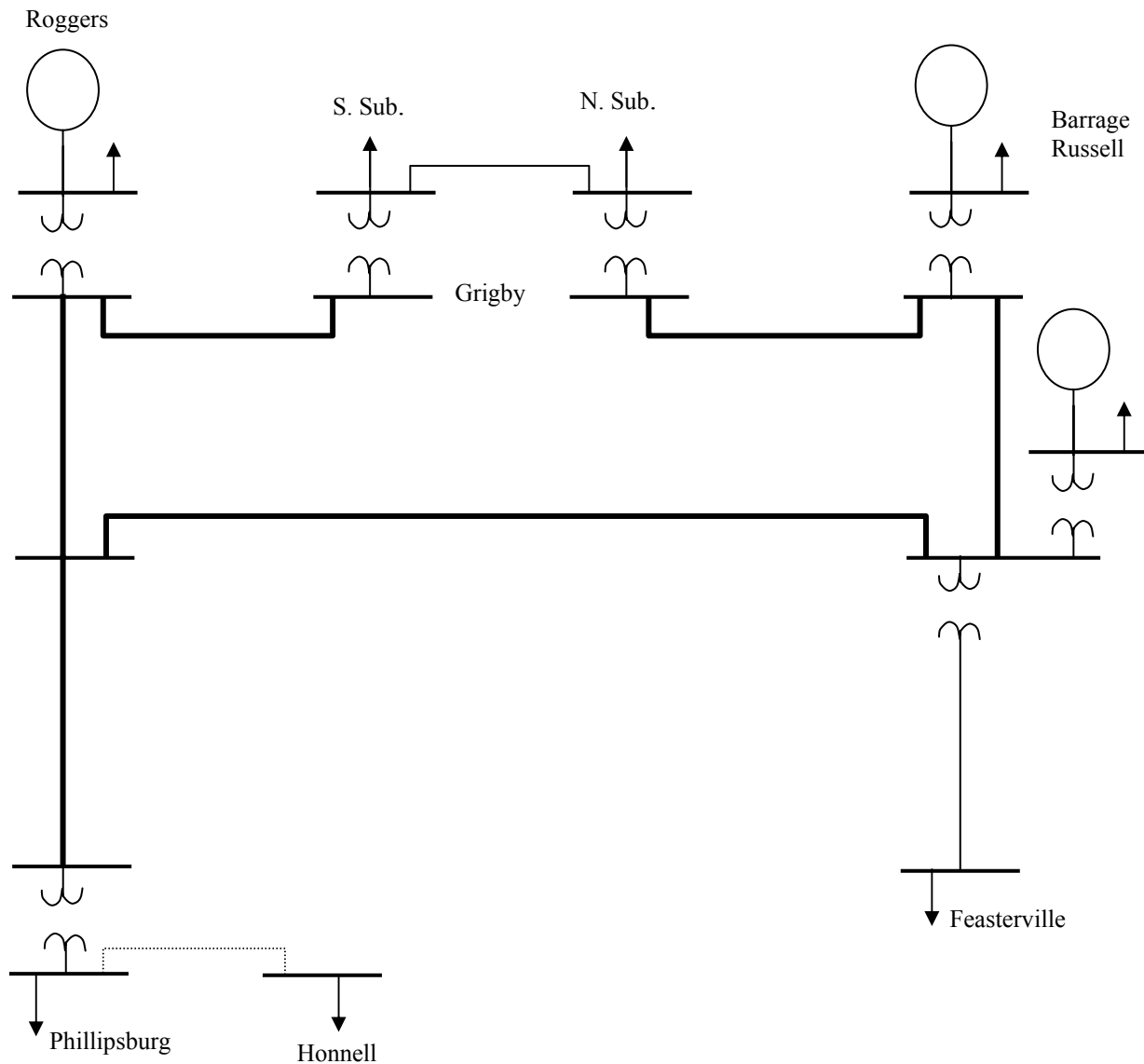


Fig. II-3(b) Schéma unifilaire de carte de réseau précédente.

3- Représentation par unité

Les alternateurs génèrent des tensions entre 12 et 18 kV. Des transfo élèvent ces tensions à des niveaux beaucoup plus importants entre 220 et 765 kV pour les lignes de transmission qui l'acheminement vers les centres d'utilisation. Près des grands centres, la tension est baissée d'abord à environ 110 kV et l'énergie transportée à ce niveau de tension à des postes de distribution où la tension est alors diminuée à 25 kV. C'est ce niveau de tension qui se trouvent dans les rues et qui alimente les transformateurs de distribution qui baissent la tension à par exemple 120/240 V pour les abonnés résidentiels (Fig. II-4).

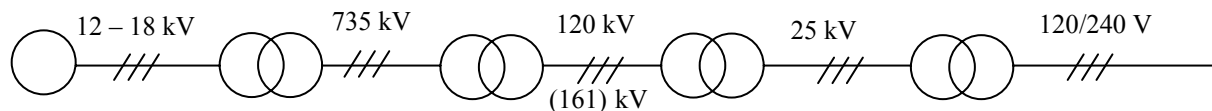


Fig. II-4 : Réseau de distribution Hydro-Québec.

La représentation mathématique du réseau est entièrement dépendant de la conception de ce dernier. Le fait que la puissance soit multi-phase est une complication majeure :

Les générateurs, les lignes et les transformateurs contribuent davantage à la complication. Les transformateurs subdivisent le réseau à plusieurs niveaux de tension. La méthode de représentation du réseaux devrait donc en tenir compte en minimisant autant que possible ces effets de complications.

La représentation par unité a été introduite afin de s'affranchir de l'effet de partitionnement des transformateurs. Cela es très important pour la simplification de la représentation du réseau d'énergie électrique.

L'on procède alors à un changement de base.

Historiquement, ceci simplifiait les opérations qui étaient faite à la main. De nos jours cet avantage a été éliminé par l'avènement de logiciels adaptés. Néanmoins certains avantages demeurent :

- les paramètres de différents dispositifs sont réduits à des valeurs plus faibles, réduisant les risques d'erreurs de calcul
- la méthode a été définie afin de réduire les transformateurs parfaits comme éléments. Sachant qu'un réseau de distribution typique en contient 100 à 1000, ceci devient une réduction non triviale.
- Lié à cet avantage, la tension à travers le réseau est normalement proche de l'unité.

3.1 Définitions et notations

$$\text{Valeur par unité} = \frac{\text{Valeur réelle}}{\text{Valeur de base}} \quad (\text{par unité ou pu})$$

$$\text{Courant par unité} = \frac{\text{Courant actuel}}{\text{courant de base}} \quad (\text{par unité ou pu})$$

$$\text{Tension par unité} = \frac{\text{Tension actuel}}{\text{Tension de base}} \quad (\text{par unité ou pu})$$

$$\text{Impédance par unité} = \frac{\text{Impédance actuel}}{\text{Impédance de base}} \quad (\text{par unité ou pu})$$

Mais

$$\text{Courant de base} = \frac{\text{Puissance apparente de base}}{\text{tension de base}} \quad (\text{A})$$

$$\text{Impédance de base} = \frac{\text{Puissance apparente de base}}{\text{tension de base}} \quad (\Omega)$$

$$\underline{V}_{\text{pu}} = \frac{\underline{V}}{V_{\text{base}}} \quad \text{avec } \underline{V} : \text{valeur complexe et } V_{\text{base}} : \text{valeur réelle}$$

$$\underline{I}_{\text{pu}} = \frac{\underline{I}}{I_{\text{base}}} \quad \underline{S}_{\text{pu}} = \frac{\underline{S}}{S_{\text{base}}} \quad \underline{Z}_{\text{pu}} = \frac{\underline{Z}}{Z_{\text{base}}}$$

$$\underline{S}_{\text{b}} = \underline{V}_{\text{b}} \underline{I}_{\text{b}}$$

$$\text{et } \underline{V}_{\text{b}} = \underline{Z}_{\text{b}} \underline{I}_{\text{b}}$$

On choisit deux valeurs de bases S_b et V_b et on calcule les autres à partir des relations précédentes, soit :

$$I_b = S_b/V_b$$

$$Z_b = V_b/I_b = V_b^2/S_b$$

3.2 Exemples

3.2.1 Exercice 1 :

On considère un transformateur avec les caractéristiques suivantes : $S = 5$ kVA, 400/200 V. Le transformateur est représenté par une réactance de 2Ω . $V_b = 200$ V, $S_b = S = 5$ kVA. Exprimer la réactance du transformateur par unité.

Solution :

Nous avons $S_b = 5$ kVA et $V_b = 200$ V

$$I_b = S_b/V_b = 25 \text{ A}$$

$$Z_b = V_b/I_b = 200/25 = 8 \Omega.$$

Alors $Z_{pu} = Z/Z_b = 2/8 = 0,25$ pu.

3.2.2 Exercice 2 :

Une ligne de transmission 345 kV a une impédance série $Z = 4 + j60 \Omega$ et une admittance shunt $Y = j2 \cdot 10^{-3}$ Siemens. Sachant que $S_b = 100$ MVA et $V_b = 345$ kV calculer Z_{pu} et Y_{pu} .

Solution :

Nous avons $Z_{pu} = Z/Z_b$ avec $Z_b = V_b^2/S_b$.

$$Z_{pu} = (4 + j60)(100 \cdot 10^6)/(345 \cdot 10^3)^2 = (3,36 + j50,4) \cdot 10^{-3} \text{ pu}$$

Nous avons $Y_{pu} = Y/Y_b$ avec $Y_b = 1/Z_b$.

$$Y_{pu} = (j2 \cdot 10^{-3}) (345 \cdot 10^3)^2/(100 \cdot 10^6) = (j2,38) \cdot 10^{-3} \text{ pu.}$$

4- Système triphasé et valeurs par unité

Tension : $V_{\phi b}$ à choisir et

$$V_{Lb} = \sqrt{3} V_{\phi b}$$

Puissance : $S_{1\phi b}$ à choisir et

$$S_{3\phi} = 3 S_{\phi b}$$

Impédance : Z_{Yb} à choisir et

$$Z_{\Delta b} = 3 Z_{Yb}$$

$$V_{\phi} \text{ pu} = \frac{V_{\phi}}{V_{\phi b}} = \frac{V_L/\sqrt{3}}{V_{Lb}/\sqrt{3}} = \frac{V_L}{V_{Lb}} = V_L \text{ pu} \quad \text{d'où :}$$

$$\boxed{V_{\phi} \text{ pu} = V_L \text{ pu}}$$

$$S_{3\phi} \text{ pu} = \frac{S_{3\phi}}{S_{3\phi b}} = \frac{3S_{1\phi}}{3S_{1\phi b}} = \frac{S_{1\phi}}{S_{1\phi b}} = S_{1\phi} \text{ pu} \quad \text{d'où}$$

$$\boxed{S_{3\phi} \text{ pu} = S_{1\phi} \text{ pu}}$$

$$S_{3\phi \text{ pu}} = \sqrt{3} V_L I_L = \sqrt{3} V_L \frac{V_L / \sqrt{3}}{Z_Y} = \frac{V_L^2}{Z_Y} \quad \Rightarrow \quad Z_Y = \frac{V_L^2}{S_{3\phi}} \quad \text{d'où}$$

$$\boxed{Z_{Yb} = \frac{V_{Lb}^2}{S_{3\phi b}}}$$

$$Z_{\Delta b} = 3Z_{Yb} \text{ et } I_{Lb} = S_{3\phi b} / (\sqrt{3} V_{Lb})$$

En triphasé, c'est préférable de choisir V_{Lb} et $S_{3\phi b}$ et on calcule le reste.

3.3.Changement de base

Généralement, les valeurs d'impédances des générateurs et transformateurs fournies par les constructeurs sont donnée dans un système per unit dont les grandeurs de base correspondent aux tension et puissance nominales (par construction) de l'appareil.

Lors de nos calculs, il conviendra de ne faire référence qu'à un seul système per unit. Le problème qui se pose alors est celui d'uniformiser les données, soit, de convertir les impédances et admittances - exprimées dans un système quelconque - dans le système lié aux grandeurs de base (SB et VB) choisies pour le tronçon considéré.

Nous pouvons écrire, pour deux systèmes de base différents :

$$\bar{Z} = \bar{Z}_{\text{pu1}} \cdot Z_{B1} = \bar{Z}_{\text{pu2}} \cdot Z_{B2}$$

d'où :

$$\bar{Z}_{\text{pu2}} = \bar{Z}_{\text{pu1}} \cdot \frac{Z_{B1}}{Z_{B2}} = \bar{Z}_{\text{pu1}} \cdot \frac{U_{B1}^2 \cdot S_{B2}}{U_{B2}^2 \cdot S_{B1}}$$

Pour les admittances, nous obtenons une formule analogue :

$$\bar{Y}_{\text{pu2}} = \bar{Y}_{\text{pu1}} \cdot \frac{Y_{B1}}{Y_{B2}} = \bar{Y}_{\text{pu1}} \cdot \frac{U_{B2}^2 \cdot S_{B1}}{U_{B1}^2 \cdot S_{B2}}$$