Année Universitaire : 2017/2018

Master1 CE : Examen de Module RTDEE, Durée : 1h-30min

Corrigé type

Questions de cours (4 pts)

a) Donner la structure générale et la composition d'un réseau privé de distribution avec une alimentation en HTB. **(1 points)**

Dans le cas général avec une alimentation en HTB, un réseau privé de distribution comporte (voir fig. 1-1) :

- 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 récepteurs basse tension.

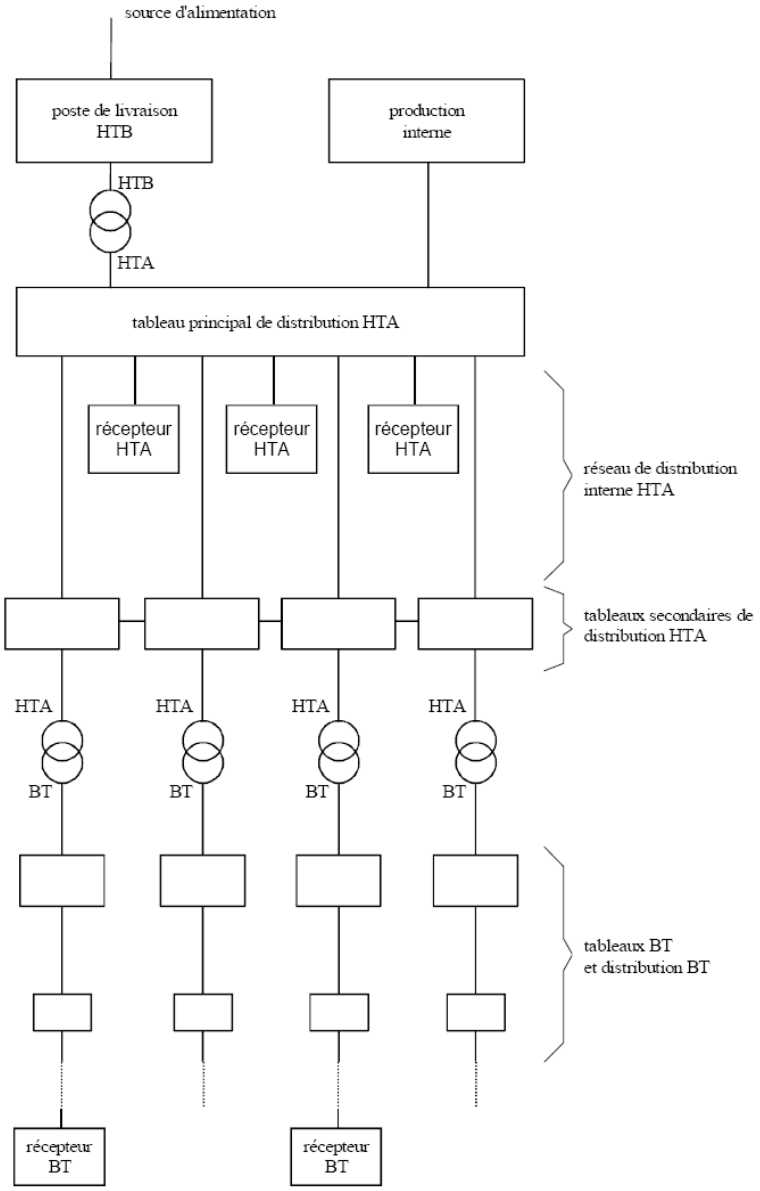
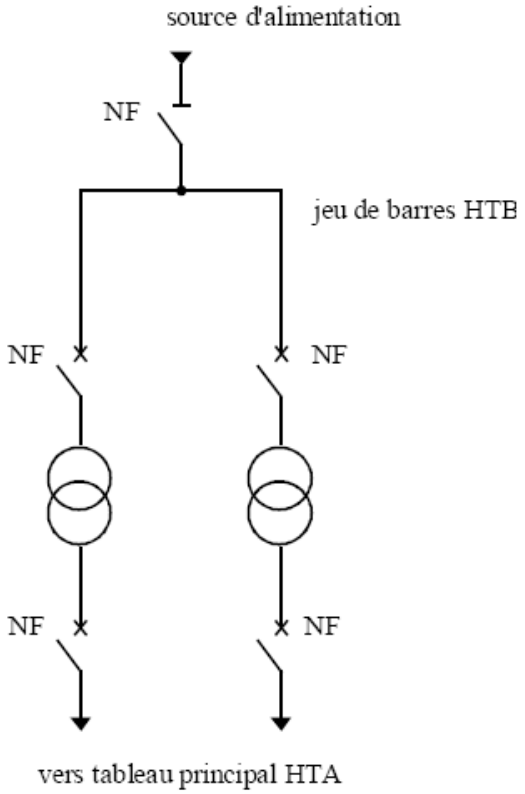


Figure 1-1 : structure générale d'un réseau privé de distribution

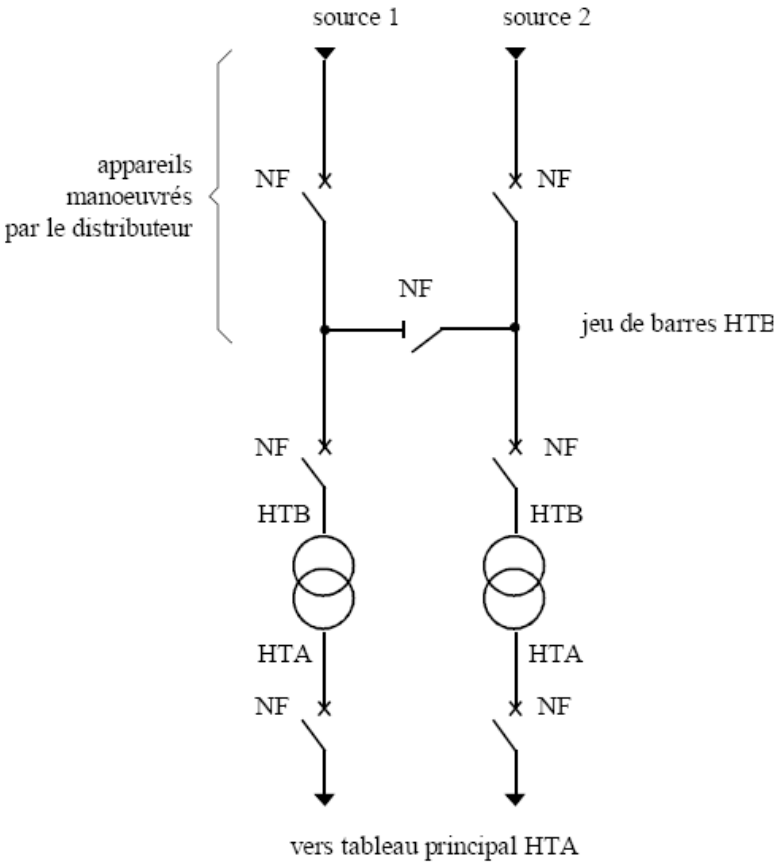
b) Citer les schémas électriques des postes de livraison HTB les plus couramment rencontrés. **(1 points)**

Bonne chance **Prof. F. BENHAMIDA**

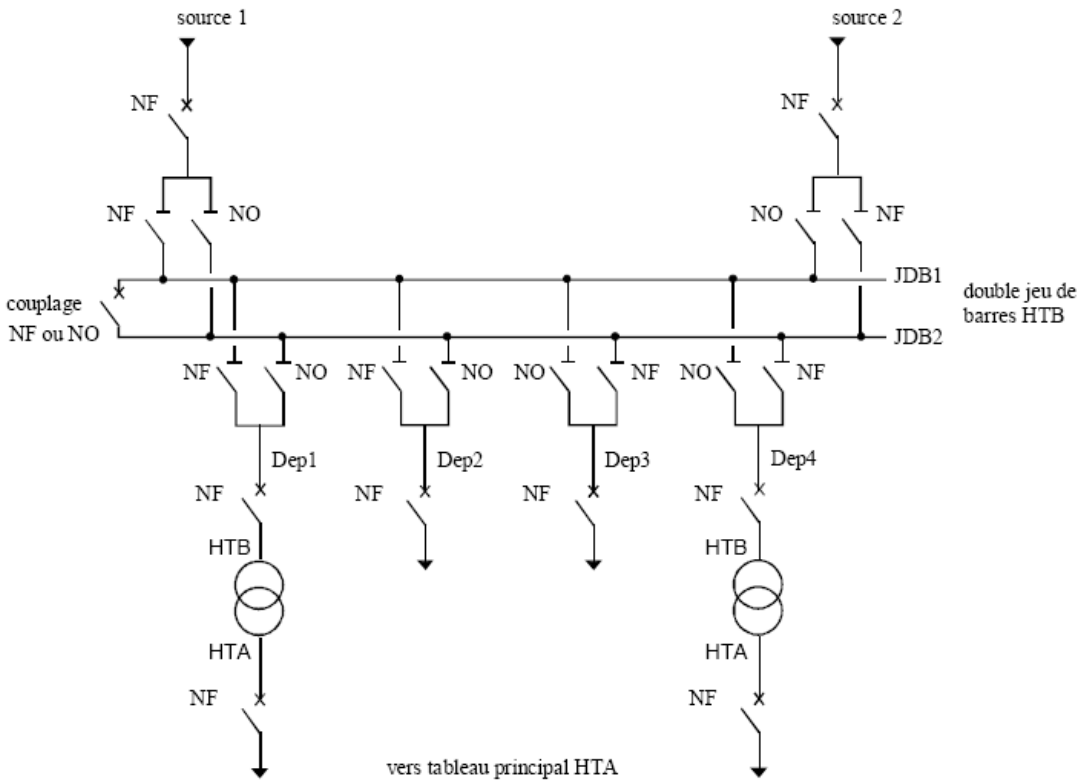
* **simple antenne** (voir fig. 1-2)



* **double antenne** (voir fig. 1-3)



* **double antenne - double jeu de barres** (voir fig. 1-4)



c) Développer la procédure de Newton-Raphson en se basant sur la série Taylor. **(2 points)**

La procédure de Newton-Raphson se repose sur le développement en série Taylor (2 premiers terme) :

<u>Définition</u>

Soit $f(x) = c$

une fonction indéfiniment dérivable d'une variable réelle ou complexe et $x^{(k)}$ un point au voisinage duquel la fonction est définie. La série de Taylor de f en $x^{(k)}$ est la série de fonctions suivante :

$$c = f(x) \approx f(x^{(k)}) + \left(\frac{f'(x^{(k)})}{1!}\right)(x - x^{(k)}) + \left(\frac{f''(x^{(k)})}{2!}\right)(x - x^{(k)})^2 + \ldots + \left(\frac{f^n(x^{(k)})}{n!}\right)(x - x^{(k)})^n$$

ce qui s'écrit sous forme synthétique comme suit :

$$c = f(x) \approx \sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{f^n(x^{(k)})}{n!}\right)(x - x^{(k)})^n$$

Les 2 premiers termes le développement en série Taylor:

$$c = f(x) = f(x^{(k)}) + \left(\frac{df}{dx}\right)^{(k)} \Delta x^{(k)}$$

$$c - f(x^{(k)}) = \left(\frac{df}{dx}\right)^{(k)} \Delta x^{(k)}$$

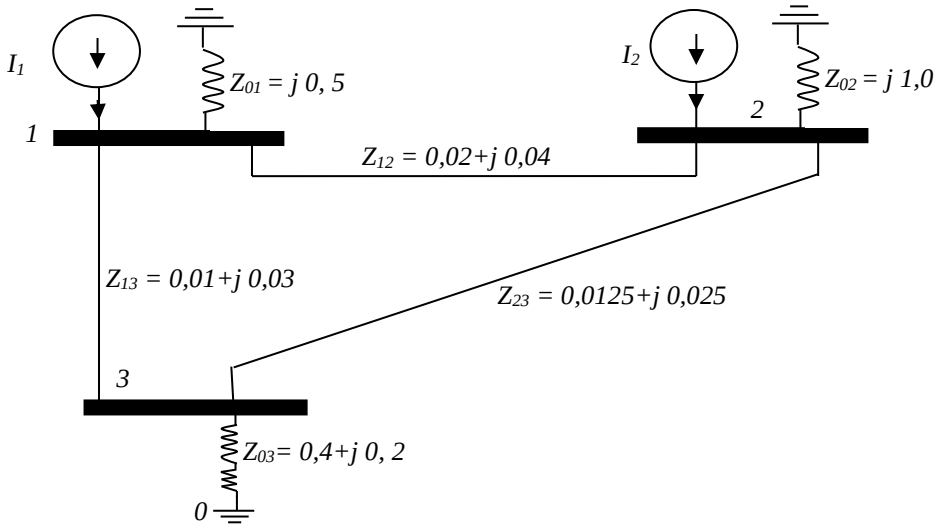
$$\Delta c^{(k)} = c - f(x^{(k)})$$

$$\Delta x^{(k)} = \frac{\Delta c^{(k)}}{\left(\frac{df}{dx}\right)^{(k)}}, \quad x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)}$$

Exercice 1 : (4 pts)

Soit le réseau de trois nœuds illustré dans la figure suivante :

a) Déterminer la matrice admittance nodale Y_{Bus}.



Soit le réseau de trois nœuds illustré dans la figure suivante :

a) Les éléments diagonaux de la matrice admittance nodale sont :

$$Y_{11} = -j2 + (10 - j20) + (10 - j30) = 20 - j52$$

$$Y_{22} = -j1 + (10 - j20) + (16 - j32) = 26 - j53$$

$$Y_{33} = (2 - j1) + (10 - j30) + (16 - j32) = 28 - j63$$

Les éléments non diagonaux de la matrice admittance nodale sont :

$$Y_{12} = -10 + j20$$

$$Y_{13} = -10 + j30$$

$$Y_{21} = -10 + j20$$

$$Y_{23} = -16 + j32$$

$$Y_{31} = -10 + j30$$

$$Y_{32} = -16 + j32$$

La matrice admittance nodale:

$$Y_{Bus} = \begin{bmatrix} 20 - j52 & -10 + j20 & -10 + j30 \\ -10 + j20 & 26 - j53 & -16 + j32 \\ -10 + j30 & -16 + j32 & 28 - j63 \end{bmatrix}$$ **(2 points)**

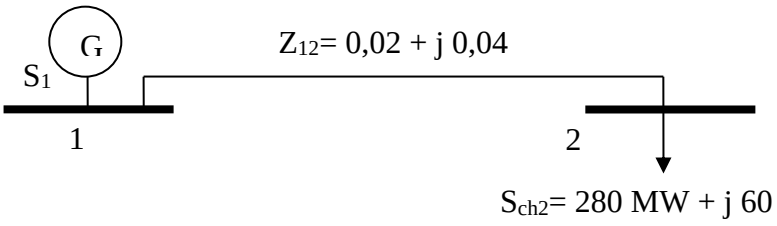
a) Ecrire les équations de réseau sous forme I = Y_{Bus} V.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20 - j52 & -10 + j20 & -10 + j30 \\ -10 + j20 & 26 - j53 & -16 + j32 \\ -10 + j30 & -16 + j32 & 28 - j63 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix}$$ **(1 point)**

Exercice 2 : (6 pts)

Soit le réseau de deux nœuds de la figure suivante. Le nœud 1 est considéré comme Slack us avec $V_1 = 1{,}0\angle 0°$ pu. Une charge de 280MW et 60Mvar est connecté au nœud 2. L'impédance de la ligne Z_{12} = 0,02 + j0,04 pu dans la base 100 MVA.

a) Utiliser une méthode itérative pour déterminer le module et l'angle du déphasage de la tension de nœud 2. Commencer par la valeur initiale $|V_2|^{(0)} = 1{,}0$ pu et $\delta_2^{(0)} = 0°$ ($V_2^{(0)}$ = 1,0 + j0,0). **Effectuer une seul itération**.



Soit le réseau de deux nœuds de la figure suivante. Le nœud 1 est considéré comme Slack bus avec $V_1 = 1{,}0\angle 0°$ pu. Une charge de 280MW et 60Mvar est connecté au nœud 2. L'impédance de la ligne Z_{12} = 0,02 + j0,04 pu dans la base 100 MVA.

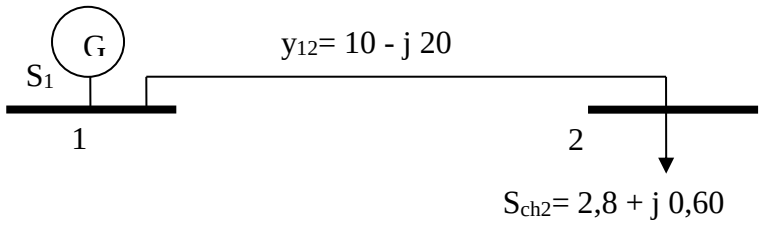
Bonne chance **Prof. F. BENHAMIDA**

$$y_{12} = \frac{1}{Z_{12}} = \frac{1}{0,02 + j0,04} = 10 - j20\,,\ \Rightarrow Y_{22} = 10 - j20$$

La charge en per unit dans le nœud 2 est

$$S_2 = -S_{ch2} = -\frac{280\ +\ j\ 60}{100} = -2,8 - j0,60$$

Le schéma unifilaire des admittances du réseau en pu est :



(2 points)

On commence par la valeur initiale de $V_2^{(0)}$=1,0 + j0,0, la tension dans le nœud 2 calculée à partir de L'équation suivante pour une seul itération est :

$$V_i \quad = \quad \frac{1}{Y_{ii}}\left(\frac{S_i^*}{V_i^*} - \sum_{k=1,k\neq i}^{n} Y_{ik}V_k\right)$$

$$V_2 \quad = \quad \frac{1}{Y_{22}}\left(\frac{S_2^*}{V_2^*} - Y_{21}V_1\right)$$

$$V_2 \quad = \quad \frac{1}{y_{12}}\left(\frac{S_2^*}{V_2^*} + y_{21}V_1\right)$$

$$V_2^{(1)} = \frac{\dfrac{-2,8 + j0,60}{1,00000 - j0,00000} + (10 - j20)(1)}{10 - j20} = 0,92000 - j0,10000$$

(3 points)

a) On suppose que la tension au nœud 2 converge vers V_2 = 0,90 + j0,10. Déterminez les pertes actives et réactives dans la ligne.

$I_{12} = y_{12}\,(V_1 - V_2)$ = (10 – j 20) [(1 + j 0) - (0,9 – j 0,10)] = 3,0 – j 1.0
$I_{21} = -\,I_{12}$ = -3,0 + j 1.0
$S_{12} = V_1\,I_{12}^*$= (1,0 + j 0,0) (3,0 + j 1,0) = 3 + j 1 pu
= 300MW+ j 100 Mvar
$S_{21} = V_2\,I_{21}^*$= (0,9 - j0,1) (-3,0 – j 1,0) = -2,8 - j0,6 pu
= -280 MW – j 60 Mvar
Les pertes de la ligne sont
$S_{L12} = S_{12} + S_{21}$ = (300 + j100) + (-280 – j 60) = 20 MW + j 40 Mvar

Les puissances réelles et réactives du nœud bilan sont P_1 = 300 MW, et Q_1 = 100 Mvar.

(1 points)

Exercice 3 : (6 pts)

Les fonctions coûts de trois centrales thermiques en \$/hr sont:

$C_1 = 350 + 7,20P_1 + 0,0040(P_1)^2$; $C_2 = 500 + 7,30P_2 + 0,0025(P_2)^2$; $C_3 = 600 + 6,74P_3 + 0,0030(P_3)^2$

Les limites sur la production des centrales en MW:

$$122 \le P_1 \le 400,\quad 260 \le P_2 \le 600,\quad 50 \le P_3 \le 445$$

En négligeant les pertes, déterminer la production optimale de chaque générateur pour les conditions de charge:

(a) P_D = 450 MW (b) P_D = 1335 MW

(1) par la technique analytique en utilisant,

Bonne chance **Prof. F. BENHAMIDA**

$$P_i = \frac{\lambda - b_i}{2c_i}, \qquad i = 1, \ldots, n \qquad \text{et} \qquad \lambda = \frac{P_D + \sum_{i=1}^{n} \frac{b_i}{2c_i}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2c_i}}$$

(2) Ou en utilisant une méthode itérative. Commencer par une estimation initiale de λ = 7,5 $/MWh.

(1)

(1)-a

Pour P_D = 450 MW,

$$\lambda = \frac{P_D + \sum_{i=1}^{n} \frac{b_i}{2c_i}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2c_i}} = \frac{450 + \frac{7,2}{2(0,004)} + \frac{7,3}{2(0,0025)} + \frac{6,74}{2(0,003)}}{\frac{1}{2(0,004)} + \frac{1}{2(0,0025)} + \frac{1}{2(0,003)}}$$ **(0,5 points)**

$$\lambda = 8 \ \$/\text{MWh}$$

On remplace la valeur de λ dans les équations de puissance produites optimales :

$$P_i = \frac{\lambda - b_i}{2c_i}, \qquad i = 1, \ldots, n$$

$$P_1 = \frac{\lambda - b_1}{2c_1} = \frac{8 - 7,2}{2(0,004)} = 100$$

$$P_2 = \frac{\lambda - b_2}{2c_2} = \frac{8 - 7,3}{2(0,0025)} = 140$$ **(1 points)**

$$P_3 = \frac{\lambda - b_3}{2c_3} = \frac{8 - 6,74}{2(0,003)} = 210$$

Vu que les limites sur la production des centrales :

$$122 \leq P_1 \leq 400$$
$$260 \leq P_2 \leq 600$$
$$50 \leq P_3 \leq 445$$

Étant donné que P_1 et P_2 sont inférieurs à leurs limites minimums respectivement, les productions de ces deux centrales sont fixées à leurs limites minimums. Autrement dit,

P_1 = 122, et

P_2 = 260 MW.

Par conséquent, P_3 = 450 - (122 + 260) = 68 MW. **(1,5 points)**

(1)-b

Pour P_D = 1335 MW,

$$\lambda = \frac{P_D + \sum_{i=1}^{n} \frac{b_i}{2c_i}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2c_i}} = \frac{1335 + \frac{7,2}{2(0,004)} + \frac{7,3}{2(0,0025)} + \frac{6,74}{2(0,003)}}{\frac{1}{2(0,004)} + \frac{1}{2(0,0025)} + \frac{1}{2(0,003)}}$$ **(0,5 points)**

$$\lambda = 9,8 \ \$/\text{MWh}$$

On remplace la valeur de λ dans les équations de puissance produites optimales :

$$P_i = \frac{\lambda - b_i}{2c_i}, \qquad i = 1, \ldots, n$$

$$P_1 = \frac{\lambda - b_1}{2c_1} = \frac{9,8 - 7,2}{2(0,004)} = 325$$

$$P_2 = \frac{\lambda - b_2}{2c_2} = \frac{9,8 - 7,3}{2(0,0025)} = 500$$ **(1 points)**

$$P_3 = \frac{\lambda - b_3}{2c_3} = \frac{9,8 - 6,74}{2(0,003)} = 510$$

Vu que les limites sur la production des centrales :

$$122 \leq P_1 \leq 400$$
$$260 \leq P_2 \leq 600$$
$$50 \leq P_3 \leq 445$$

Étant donné que P_3 dépasse la limite maximale, la production de cette centrale est fixée à sa limite maximale. Autrement dit,

$P_3 = 445$ MW,

Par conséquent la charge restante P_D':

$P_D' = P_D - P_3 = 1335 - 445 = 890$ MW **(0,5 points)**

Sera dispatché économiquement sur les centrales 1 et 2 avec un cout incrémentale égale.

$$\lambda = \frac{P_D' + \sum_{i=1}^{2} \frac{b_i}{2c_i}}{\sum_{i=1}^{2} \frac{1}{2c_i}} = \frac{890 + \frac{7,2}{2(0,004)} + \frac{7,3}{2(0,0025)}}{\frac{1}{2(0,004)} + \frac{1}{2(0,0025)}}$$

$$\lambda = 10 \ \$/\text{MWh}$$

On remplace la valeur de λ dans les équations de puissance produites optimales :

$$P_i = \frac{\lambda - b_i}{2c_i}, \qquad i = 1, \ldots, 2$$

$$P_3 = P_3^{\max}$$

$$P_1 = \frac{\lambda - b_1}{2c_1} = \frac{10 - 7,2}{2(0,004)} = 350$$

$$P_2 = \frac{\lambda - b_2}{2c_2} = \frac{10 - 7,3}{2(0,0025)} = 540$$ **(1 points)**

$$P_3 = P_3^{\max} = 445$$

Étant donné que les puissances produites de P_1 et que P_2 satisfont la contraintes de limites sur la production des centrales, la solution est le dispatching économique

$$P_1^{(3)} = \frac{\lambda^{(3)} - b_1}{2c_1} = \frac{10 - 7,2}{2(0,004)} = 350$$

$$P_2^{(3)} = \frac{\lambda^{(3)} - b_2}{2c_2} = \frac{10 - 7,3}{2(0,0025)} = 540$$

$$P_3^{(3)} = P_3^{\max} = 445$$

L'erreur ΔP

$$\Delta P^{(k)} = P_D - \sum_{i=1}^{n} P_i^{(k)}$$

$$\Delta P^{(3)} = 1335 - (350 + 540 + 445) = 0$$

Puisque $\Delta P^{(3)} = 0$, la contrainte d'égalité est satisfaite en trois itérations et P_1 et P_2 sont dispatchées dans leurs limites, respectivement.

La consultation des notes aura lieu le 01/02/2018 à 14 :15 h dans la salle des enseignants

Bonne chance **Prof. F. BENHAMIDA**