Errata de la 1ère édition de ”Commande des procédés”

Ceci représente quelques corrections concernant des points particuliers du livre. Depuis la publication, certains points d'amplitude variable dont l'auteur n'était pas satisfait ont été modifiés et approfondis. N'hésitez pas à contacter l'auteur pour tout renseignement: corriou@ensic.inpl-nancy.fr

Page 8, 2eme ligne: En prenant pour référence n_o le nombre total de moles ”d'espèces actives”

La référence est en général le débit molaire entrant F'_o incluant toutes les espèces j ”actives” entrantes

Equation (1.17)

$$F'_j = F'_{jo} + \sum_{i=1}^{R} \nu_{ij}\,\dot{\xi}_i$$

Equation (1.18)

$$r_i = \frac{F'_o}{V}\,(\chi_{is} - \chi_{ie}) = \frac{F_o\,C_o}{V}\,(\chi_{is} - \chi_{ie})$$

Page 9, 2eme ligne: ”constituants” au lieu de ”constitutants”

Equation (1.19)

$$\tau = \frac{V}{F_0} = \frac{C_o\,(\chi_{is} - \chi_{ie})}{r_i}$$

Equation (1.61), Translation complexe :

$$\mathcal{L}[f(t)\,\exp(at)] = F(s-a)$$

Equation (1.62), Changement d'échelle :

$$\mathcal{L}[f(t/a)] = a\,F(a\,s)$$

Equation (1.67), Convolution complexe :

$$\mathcal{L}[f(t)\,g(t)] = \frac{1}{2\pi j}\int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty} F(q)\,G(s-q)\,dq$$

Equation (1.68), Relation de Parseval-Plancherel :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f^2(t)dt = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} |F(j\omega)|^2\,d\omega$$

Equation (1.86) :

$$\begin{aligned} G(s) \quad = \quad & \frac{c_1}{s-s_1} + \left(\frac{c_{21}}{s-s_2} + \frac{c_{22}}{(s-s_2)^2} + \ldots + \frac{c_{2m}}{(s-s_2)^m}\right) + \frac{c_3}{s-s_3} + \frac{c_3^*}{s-s_3^*} \\ & + \frac{c_4}{s} + \frac{c_5}{s-s_5} + \frac{c_6}{s-s_6} + \frac{c_6^*}{s-s_6^*} + \frac{c_7}{s-s_7} + \frac{c_7^*}{s-s_7^*} \end{aligned}$$

Equation (1.133): tandis que la réponse totale est :

$$y(t) = \begin{cases} AK_p \left\{ 1 - \exp(-\zeta t/\tau) \left[\cos\left(\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\tau} t \right) + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin\left(\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\tau} t \right) \right] \right\} \\ \text{si} : 0 \leq \zeta < 1 \\ AK_p \left[1 - (1 + \frac{t}{\tau}) \exp(-t/\tau) \right] \\ \text{si} : \zeta = 1 \\ AK_p \left\{ 1 - \exp(-\zeta t/\tau) \left[\cosh\left(\frac{\sqrt{\zeta^2-1}}{\tau} t \right) + \frac{\zeta}{\sqrt{\zeta^2-1}} \sinh\left(\frac{\sqrt{\zeta^2-1}}{\tau} t \right) \right] \right\} \\ \text{si} : 1 < \zeta \end{cases}$$

Equation (1.134):

$$\text{dépassement} = \frac{A'}{B} = \exp(\frac{-\pi\,\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}})$$

Après l'équation (1.162): courbe qui a approximativement la forme d'une exponentielle, mais présente un point d'inflexion pour :

$$t = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 - \tau_2} \ln(\frac{\tau_1}{\tau_2})$$

Equation (1.163):

$$G(s) = \frac{K_p}{\tau^2\, s^2 + 2\,\zeta\,\tau s + 1}$$

Page 67, paragraphe 2.3.1, 6ème ligne: supprimer "proportionnel"

Page 70, avant la formule (2.74), supprimer le mot "échelon"

Après l'équation (3.18) : quelle que soit $\boldsymbol{C}$, matrice symétrique définie positive.

Page 97, 2eme ligne: remplacer "valeur" par "partie"

Equation (3.43):

$$N(s) = a_o s^n + a_1 s^{n-1} + \ldots + a_{n-1} s + a_n$$

Equation (3.50):

$$\begin{array}{l} (s+1)\,(s+4)\,(s+6) + 8\,K_r = 0 \Longleftrightarrow \\ (j\,\omega+1)\,(j\,\omega+4)\,(j\,\omega+6) + 8\,K_{rm} = 0 \Longleftrightarrow \\ (-11\,\omega^2 + 24 + 8\,K_{rm}) + j\,(-\omega^3 + 34\,\omega) = 0 \Longleftrightarrow \\ \begin{cases} -11\omega^2 + 24 + 8\,K_{rm} & = 0 \\ -\omega^3 + 34\,\omega & = 0 \end{cases} \end{array}$$

d'où l'on tire : la fréquence $\omega = 5,831$ radians/unité de temps et le gain maximum du régulateur proportionnel $K_{rm} = 43,75$

Page 106, 3ème ligne: remplacer "déviations" par "dépassements"

Page 108 :
Etape n°3 : On augmente le gain par petits incréments jusqu'à obtenir une oscillation entretenue (correspondant au gain ultime).

Figure 4.10: fonction de transfert = $\dfrac{K_r \tau_D s}{\frac{\tau_D}{N} s + 1}$

Avant l'équation (4.44): en utilisant l'équation (4.41)

Equation (4.54) :

$$T(s) = \frac{0,0793}{1 + 2,58\, s}\, T_v(s) - \frac{0,331}{1 + 2,58\, s}\, F(s)$$

Equation (4.86) : De l'équation (4.74), on tire :

$$T(s) = D_o(s) N_{m,1}(s) = (s + 5) 0,05 = 0,05 s + 0,25$$

Equation (4.97) :

$$J_{lq} = \int_0^\infty \{[y(t) - y_c(t)]^2 + \rho u^2(t)\} dt$$

Equation (4.102) :

$$J_{lq} = \int_0^\infty [y^2(t) + \rho u^2(t)] dt = \int_0^\infty [N^2(\delta) + \rho D^2(\delta)] z^2(t) dt$$

Après l'équation (4.119): avec $D^{c'}(s) = s$.

Equation (5.16) :

$$y(t) = A |G(j\, \omega)| \; \sin(\omega\, t + \phi)$$

Equation (5.58) :

$$|G_{bo}| \propto K_r \rightarrow \frac{|G_{bo}(j\omega_\phi)|}{K_r} \approx \frac{1,5}{2} \approx 0,75$$

Equation (5.59) :

$$(K_r)_u = \frac{K_r}{|G_{bo}(j\omega_\phi)|}$$

Equation (5.75) :

$$1 = |G_r|\, |G_a|\, |G_p|\, |G_m|$$

Equation (5.83) :

$$RA_{bf} = \frac{1}{\sqrt{[1 + (\cos\phi_{bo}/RA_{bo})]^2 + (\sin\phi_{bo}/RA_{bo})^2}}$$

Equation (5.84) :

$$\psi = \text{arctang}\left(\frac{\sin\phi_{bo}/RA_{bo}}{1+\cos\phi_{bo}/RA_{bo}}\right)$$

Page 167, 8ème ligne avant la fin: la fréquence dominante

Equation (8.32) :

$$\boldsymbol{A}W_i = \sigma_i V_i \qquad \forall i$$

Equation (9.228)

$$\dot{x}(t) \approx \frac{x(t+T_e)-x(t)}{T_e}$$

Page 297, 5ème ligne avant la fin: l'opérateur avance q

Equation (13.10) :

$$\left[\begin{array}{c}\underbrace{\begin{array}{ccccc} a_0 & 0 & \ldots & & 0 \\ a_1 & a_0 & & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & & 0 \\ \vdots & & & & \\ a_{n-1} & a_{n-2} & \ldots & & a_0 \\ -- & -- & -- & -- & -- \\ a_n & a_{n-1} & \ldots & & a_1 \\ 0 & a_n & \ddots & & \vdots \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ & & & a_n & a_{n-1} \\ 0 & \ldots & & 0 & a_n \end{array}}_{n \text{ colonnes}}\end{array}\begin{array}{c} | \\ | \\ | \\ | \\ | \\ | \\ | \\ | \\ | \\ | \\ | \end{array}\begin{array}{c}\underbrace{\begin{array}{ccccc} 0 & \ldots & & & 0 \\ b_1 & \ddots & & & \vdots \\ b_2 & \ddots & & & \\ \vdots & & \ddots & & \vdots \\ b_{n-1} & b_{n-2} & \ldots & b_1 & 0 \\ -- & -- & -- & -- & -- \\ b_n & b_{n-1} & \ldots & & b_1 \\ 0 & b_n & \ldots & & b_2 \\ \vdots & \ddots & \ddots & & \vdots \\ \vdots & \ddots & & b_n & b_{n-1} \\ 0 & \ldots & & 0 & b_n \end{array}}_{n \text{ colonnes}}\end{array}\right] \begin{bmatrix} s_0 \\ \vdots \\ s_{n-1} \\ -- \\ r_0 \\ \vdots \\ r_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_0 \\ \vdots \\ P_{n-1} \\ -- \\ P_n \\ \vdots \\ P_{2n-1} \end{bmatrix}$$

Equation (13.74) :

$$\begin{aligned} S(q) &= q-1 \\ R(q) &= K\left[q-1+\frac{T_e}{\tau_I}\right] \\ T(q) &= R(q) \end{aligned}$$

Equation (14.21) :

$$\dot{f}_{n+1}(x) = G_{\boldsymbol{f}}^T\dot{\boldsymbol{f}} + G_x + F(x,\boldsymbol{f}(x),\dot{\boldsymbol{f}}(x)) \qquad \text{avec : } f_{n+1}(x_0)=0$$

Page 425 :

Cette condition est relative aux variations faibles $\delta\dot{f}$ au voisinage de $\dot{f}^*$

Equation (14.108):

$$\frac{\partial H}{\partial u} = -u + b\,\psi_1 = 0$$

Equation (14.133):

$$H = -0,5[(\boldsymbol{x}^r - \boldsymbol{x})^T(t)\,\boldsymbol{M}^T\,\boldsymbol{Q}\,\boldsymbol{M}\,(\boldsymbol{x}^r - \boldsymbol{x})(t) + \boldsymbol{u}^T(t)\,\boldsymbol{R}\,\boldsymbol{u}(t)] + \boldsymbol{\lambda}(t)^T\,[\boldsymbol{A}\,\boldsymbol{x} + \boldsymbol{B}\,\boldsymbol{u}]$$

Equation (14.136):

$$\frac{\partial H}{\partial \boldsymbol{u}} = 0 = -\boldsymbol{R}\,\boldsymbol{u} + \boldsymbol{B}^T\,\boldsymbol{\lambda}$$

Equation (14.141):

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\lambda}(t) = \quad & -[\boldsymbol{\Phi}_{\lambda\lambda}(t_f,t) + \boldsymbol{M}^T\,\boldsymbol{Q}_f\,\boldsymbol{M}\boldsymbol{\Phi}_{x\lambda}(t_f,t)]^{-1}\\ & [\boldsymbol{\Phi}_{\lambda x}(t_f,t) + \boldsymbol{M}^T\,\boldsymbol{Q}_f\,\boldsymbol{M}\boldsymbol{\Phi}_{xx}(t_f,t)]\,\boldsymbol{x}(t)\end{aligned}$$

Equation (14.150):

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{A} & -\boldsymbol{B}\,\boldsymbol{R}^{-1}\,\boldsymbol{B}^T \\ -\boldsymbol{M}^T\,\boldsymbol{Q}\,\boldsymbol{M} & -\boldsymbol{A}^T \end{bmatrix}$$

Equation (14.152):

$$\boldsymbol{P}_c = \boldsymbol{U}_{21}\,\boldsymbol{U}_{11}^{-1}$$

Equation (14.155):

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\lambda}(t) = \quad & -[\boldsymbol{\Phi}_{\lambda\lambda}(t_f,t) + \boldsymbol{M}^T\,\boldsymbol{Q}_f\,\boldsymbol{M}\,\boldsymbol{\Phi}_{x\lambda}(t_f,t)]^{-1}\\ & \Big\{[\boldsymbol{\Phi}_{\lambda x}(t_f,t) + \boldsymbol{M}^T\,\boldsymbol{Q}_f\,\boldsymbol{M}\boldsymbol{\Phi}_{xx}(t_f,t)]\,\boldsymbol{x}(t) +\\ & \boldsymbol{M}^T\,\boldsymbol{Q}_f\,\boldsymbol{M}(\boldsymbol{g}_x(t_f,t) - x_{r,f}) + \boldsymbol{g}_\lambda(t_f,t)\Big\}\end{aligned}$$

Equation (14.189):

$$\begin{aligned}\boldsymbol{S}_i \quad & = \boldsymbol{M}^T\,\boldsymbol{Q}\,\boldsymbol{M} + \boldsymbol{F}^T\,\boldsymbol{S}_{i+1}\,(\boldsymbol{F} - \boldsymbol{G}\,\boldsymbol{K}_i)\\ \boldsymbol{g}_i \quad & = -\boldsymbol{M}^T\,\boldsymbol{Q}\,\boldsymbol{z}_i^r + (\boldsymbol{F}^T - \boldsymbol{G}\,\boldsymbol{K}_i)^T\,\boldsymbol{g}_{i+1}\,; \qquad \boldsymbol{g}_N = \boldsymbol{M}^T\,\boldsymbol{Q}_N\,\boldsymbol{z}_N^r\end{aligned}$$

Equation (14.191):

$$\boldsymbol{S} = \boldsymbol{F}^T\,[\boldsymbol{S} - \boldsymbol{S}\,\boldsymbol{G}\,(\boldsymbol{G}^T\,\boldsymbol{S}\,\boldsymbol{G} + \boldsymbol{R})^{-1}\,\boldsymbol{G}^T\,\boldsymbol{S}]\,F + \boldsymbol{M}\,\boldsymbol{Q}\,\boldsymbol{M}$$

Equation (14.192):

$$\boldsymbol{H} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{F}^{-1} & -\boldsymbol{F}^{-1}\,\boldsymbol{G}\,\boldsymbol{R}^{-1}\,\boldsymbol{G}^T \\ \boldsymbol{M}^T\,\boldsymbol{Q}\,\boldsymbol{M}\,\boldsymbol{F}^{-1} & -\boldsymbol{F}^T - \boldsymbol{M}^T\,\boldsymbol{Q}\,\boldsymbol{M}\,\boldsymbol{F}^{-1}\,\boldsymbol{G}\,\boldsymbol{R}^{-1}\,\boldsymbol{G}^T \end{bmatrix}$$

Equation (14.193):

$$\boldsymbol{H}^{-1} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{F} + \boldsymbol{G}\,\boldsymbol{R}^{-1}\,\boldsymbol{G}^T\,\boldsymbol{F}^{-T}\,\boldsymbol{M}^T\,\boldsymbol{Q}\,\boldsymbol{M} & -\boldsymbol{G}\,\boldsymbol{R}^{-1}\,\boldsymbol{G}^T\,\boldsymbol{F}^{-T} \\ \boldsymbol{F}^{-T}\,\boldsymbol{M}^T\,\boldsymbol{Q}\,\boldsymbol{M} & -\boldsymbol{F}^{-T} \end{bmatrix}$$

Equation (14.195):

$$\boldsymbol{S}_\infty = \boldsymbol{U}_{21}\,\boldsymbol{U}_{11}^{-1}$$

Equation (15.30):

$$\begin{aligned} \hat{y}(t+1) = \quad & 1,97y(t) - 0,97y(t-1) + 1,2\Delta u(t) + 0,58\Delta u(t-1) \\ \hat{y}(t+2) = \quad & 2,9109y(t) - 1,9109y(t-1) \\ & +1,2\Delta u(t+1) + 2,944\Delta u(t) + 1,1426\Delta u(t-1) \\ \hat{y}(t+3) = \quad & 3,8236y(t) - 2,8236y(t-1) \\ & +1,2\Delta u(t+2) + 2,944\Delta u(t+1) + 4,6357\Delta u(t) + 1,6883\Delta u(t-1) \end{aligned}$$

Equation (15.31):

$$\begin{array}{lll} j=1 & G_1 = 1,2 & \Gamma_1 = 0,58 \\ j=2 & G_2 = 1,2 + 2,944\,q^{-1} & \Gamma_2 = 1,1426 \\ j=3 & G_3 = 1,2 + 2,944\,q^{-1} + 4,6357\,q^{-2} & \Gamma_3 = 1,6883 \end{array}$$

Equation (15.32):

$$\begin{aligned} \hat{y}(t+1|t) &= 0,58\Delta u(t-1) + 1,97y(t) - 0,97y(t-1) \\ \hat{y}(t+2|t) &= 1,1426\Delta u(t-1) + 2,9109y(t) - 1,9109y(t-1) \\ \hat{y}(t+3|t) &= 1,6883\Delta u(t-1) + 3,8236y(t) - 2,8236y(t-1) \end{aligned}$$

Equation (15.35):

$$\begin{aligned} \Delta u(t) \quad = \quad & 0,5181[r(t+1) - \hat{y}(t+1|t)] + 0,1823[r(t+2) - \hat{y}(t+2|t)] \\ & -0,0435[r(t+3) - \hat{y}(t+3|t)] \\ = \quad & -0,4354\Delta u(t-1) - 1,385y(t) + 0,7281y(t-1) \\ & +0,5181r(t+1) + 0,1823r(t+2) - 0,0435r(t+3) \end{aligned}$$

Equation (15.36):

$$\begin{aligned} & R = 1,385 - 0,728q^{-1} \quad ; \quad S = 1 + 0,4354q^{-1} \\ & T = 0.5181q^{-2} + 0.1823q^{-1} - 0.0435 \end{aligned}$$

Equation (16.146)

$$u = \frac{v - L_f^r h(x) - \beta_1 L_f^{r-1} h(x) - \ldots - \beta_{r-1} L_f h(x) - \beta_r h(x)}{L_g L_f^{r-1} h(x)}$$

Equation (16.149)

$$v(t) = K_c \left[y_{\text{ref}}(t) - y(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_0^t (y_{\text{ref}}(\tau) - y(\tau)) \, d\tau \right]$$

Page 534 :

- la dérivée de Lie de $h(x)$ dans la direction du champ de vecteurs g :

$$L_g L_f^0 h(x) = L_g h(x) = 0$$

qui implique que le degré relatif est supérieur à 1.

Page 537 :
concentration de l'alimentation : 3900 mol/m^3, capacité calorifique du contenu : 3000 J/kg.K,

Page 538 : $T_j = 325$ K.