

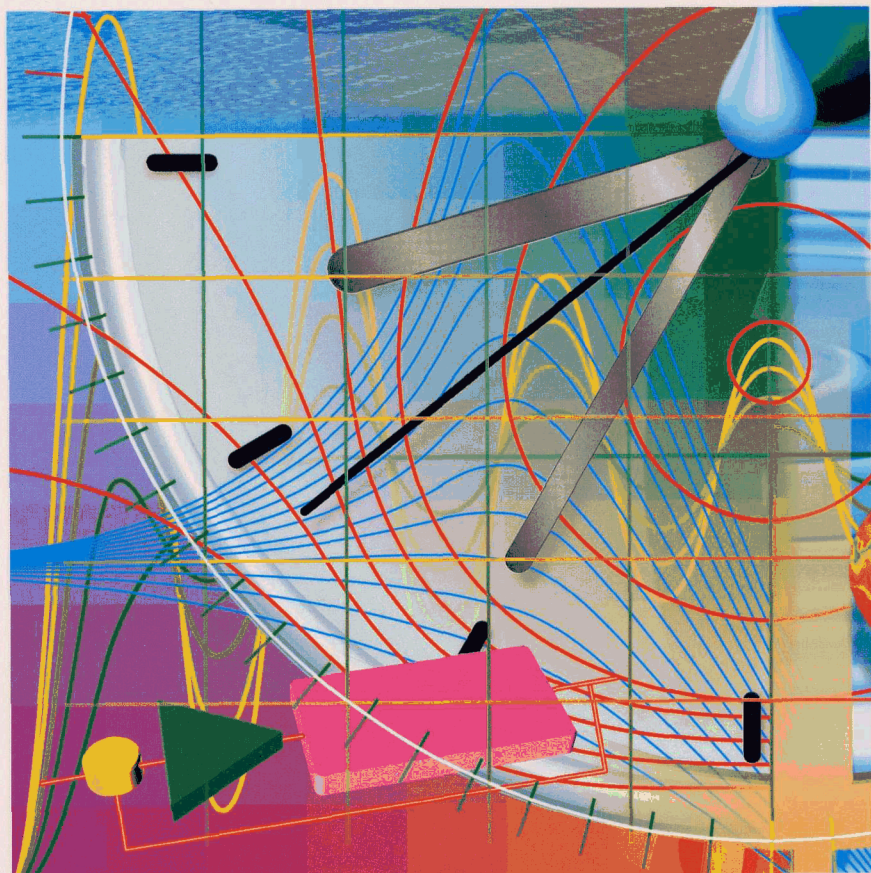
COURS  
D'**AUTOMATIQUE**  
TOME 2

Maurice Rivoire \ Jean-Louis Ferrier

**ASSERVISSEMENT  
RÉGULATION**

**COMMANDE ANALOGIQUE**

CPGE - IUT - IUP - ÉCOLES D'INGÉNIEURS - MAÎTRISE EEA



## ANNEXE

# COMMANDE ANALOGIQUE : DÉFINITIONS, COURBES ET ABAQUES

### SYSTÈME DU SECOND ORDRE

$$H(p) = \frac{1}{1 + 2\xi \frac{p}{\omega_n} + \left(\frac{p}{\omega_n}\right)^2}$$

$\xi$ = facteur d'amortissement $\omega_n$ = pulsation propre non amortie
--

### SYSTÈME DU PREMIER ORDRE

$$H(p) = \frac{1}{1 + Tp}$$

$T$ = constante de temps $\omega_c = 1/T$ = pulsation de coupure
---

MODELE DU SECOND ORDRE

1. La réponse indicielle

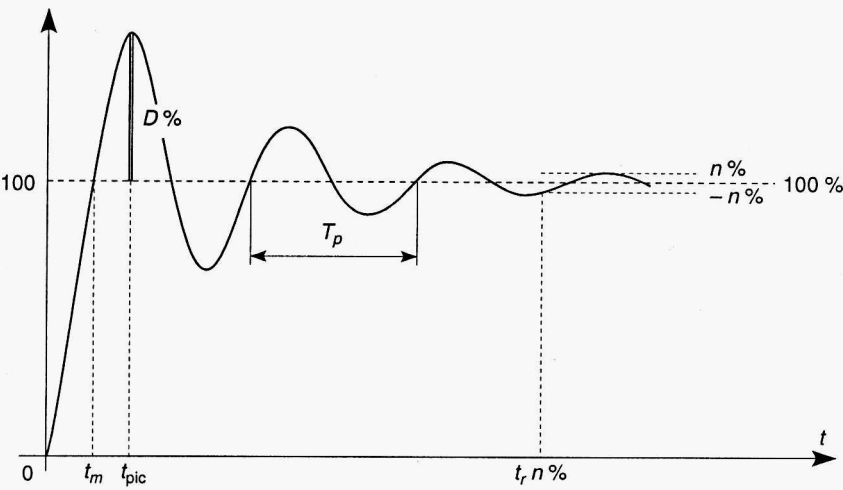


Figure A.1.

Temps de montée (*)	$t_m = \frac{1}{\omega_n \sqrt{1 - \xi^2}} (\pi - \text{Arccos } \xi)$
Temps de réponse à $n\%$ ( $\xi < 0,7$ )	$t_r \approx \frac{1}{\omega_n \xi} \text{Log}_e \frac{100}{n}$
Temps de pic	$t_{pic} = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \xi^2}}$
Pseudo-période	$T_p = \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \xi^2}}$
Pseudo-pulsation	$\omega_p = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2}$
Dépassement	$D\% = 100 e^{-\pi \xi / \sqrt{1 - \xi^2}}$
Rapport de 2 maxima successifs	$\frac{D_1}{D_2} = e^{2\pi \xi / \sqrt{1 - \xi^2}}$
Nombre d'oscillations complètes	$n \approx Q = \frac{1}{2\xi}$

(\*)  $t_m$  se définit aussi comme le temps nécessaire pour passer de 10 % à 90 % de la valeur finale.

## 2. La réponse fréquentielle

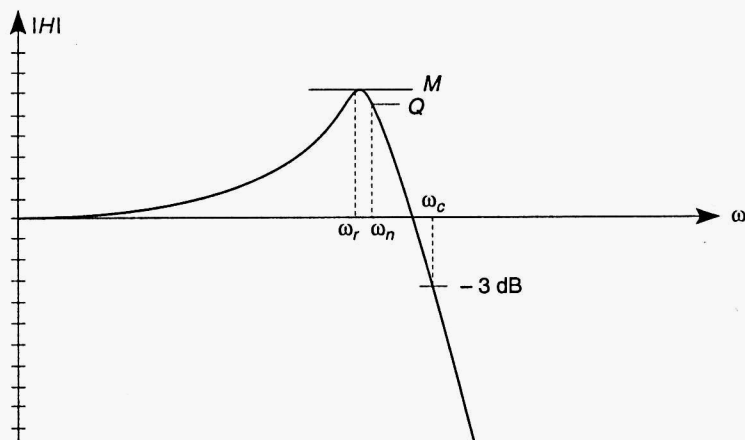


Figure A.2.

Pulsation de résonance	$\omega_r = \omega_n \sqrt{1 - 2\xi^2}$
Pulsation de coupure	$\omega_c = \omega_n \sqrt{1 - 2\xi^2 + \sqrt{1 + (1 - 2\xi^2)^2}}$
Facteur de résonance	$m = \frac{1}{2\xi \sqrt{1 - \xi^2}}$
Facteur de qualité	$Q = \frac{1}{2\xi}$
En décibels	$M_{dB} = 20 \log m$ $Q_{dB} = 20 \log Q$
On a aussi	$Q = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\pi}{t_{pic} \omega_n}\right)^2}}$

### 3. Modèle du 2<sup>e</sup> ordre

Le tableau des valeurs numériques

Amortissement inférieur à 1										
$\xi$	Paramètres temporels					Paramètres fréquentiels				$\xi$
	$t_m \omega_n$	$t_r \omega_n$ (5 %)	$t_{pic} \omega_n$	$T_p \omega_n$	$D \%$	$\frac{\omega_R}{\omega_n}$	$\frac{\omega_c}{\omega_n}$	$\frac{\omega_c}{\omega_R}$	$M_{dB}$	
0,1	1,68	30	3,16	6,31	73	0,99	1,54	1,56	14	0,1
0,15	1,74	20	3,18	6,36	62	0,98	1,53	1,56	10,5	0,15
0,2	1,81	14	3,21	6,41	53	0,96	1,51	1,57	8,1	0,2
0,25	1,88	11	3,24	6,49	44	0,94	1,48	1,59	6,3	0,25
0,3	1,97	10,1	3,29	6,59	37	0,91	1,45	1,61	4,8	0,3
0,35	2,06	7,9	3,35	6,71	31	0,87	1,42	1,63	3,6	0,35
0,4	2,16	7,7	3,43	6,86	25	0,82	1,37	1,67	2,7	0,4
0,45	2,28	5,4	3,52	7,04	21	0,77	1,33	1,72	1,9	0,45
0,5	2,42	5,3	3,63	7,26	16	0,71	1,27	1,80	1,2	0,5
0,55	2,58	5,3	3,76	7,52	12,6	0,63	1,21	1,93	0,7	0,55
0,6	2,77	5,2	3,93	7,85	9,5	0,53	1,15	2,17	0,3	0,6
0,65	3,00	5,0	4,13	8,27	6,8	0,39	1,08	2,74	0,1	0,65
0,7	3,29	3	4,40	8,80	4,6	0,14	1,01	7,14	0	0,7
0,75	3,66	3,1	4,75	9,50	2,84	—	0,94	—	—	0,75
0,80	4,16	3,4	5,24	10,5	1,52	—	0,87	—	—	0,80
0,85	4,91	3,7	5,96	11,93	0,63	—	0,81	—	—	0,85
0,90	6,17	4	7,21	14,41	0,15	—	0,75	—	—	0,90
0,95	9,09	4,1	10,06	20,12	0,01	—	0,69	—	—	0,95

$$H(p) = \frac{1}{1 + 2\xi \frac{p}{\omega_n} + \left(\frac{p}{\omega_n}\right)^2}$$

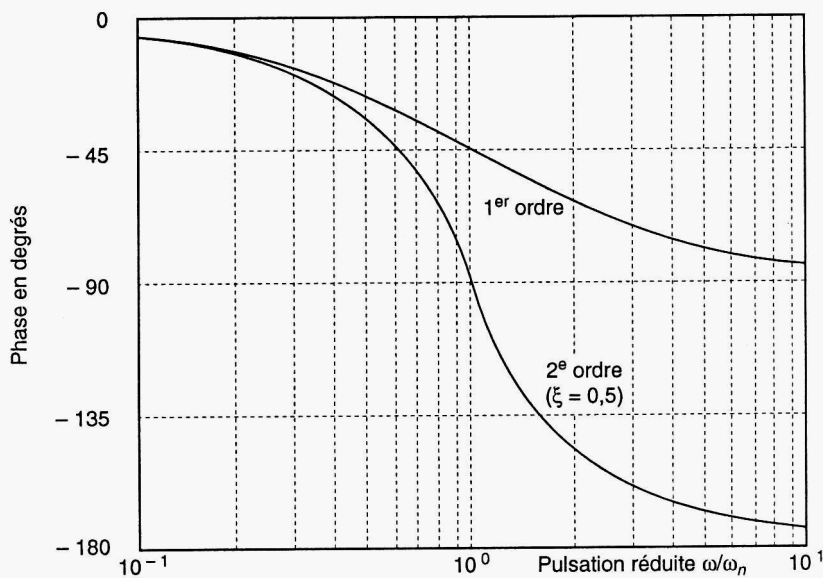
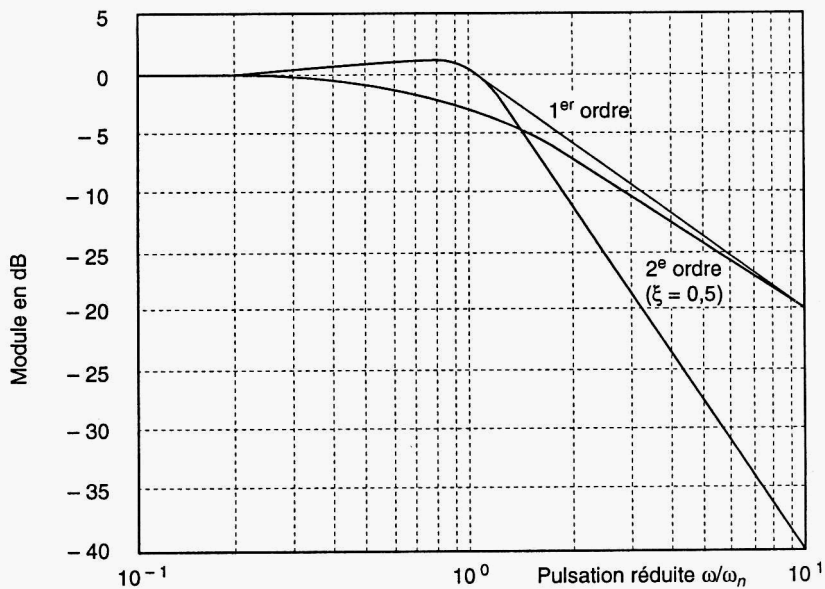
$$H(p) = \frac{1}{(1 + T_1 p)(1 + T_2 p)}$$

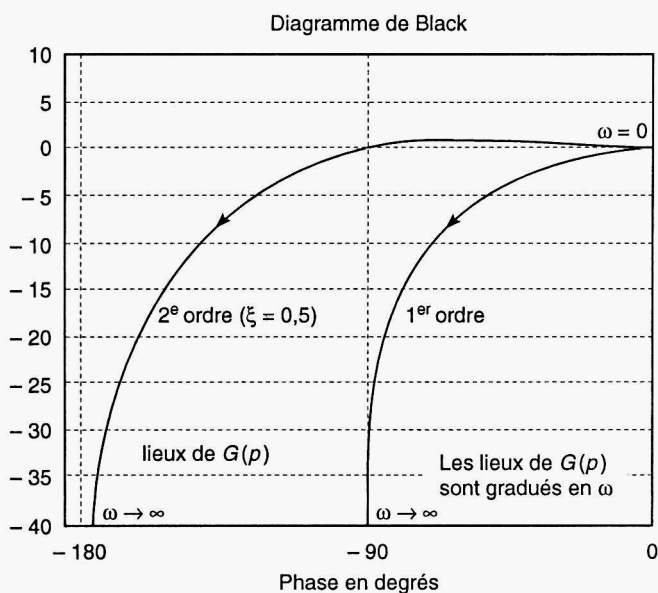
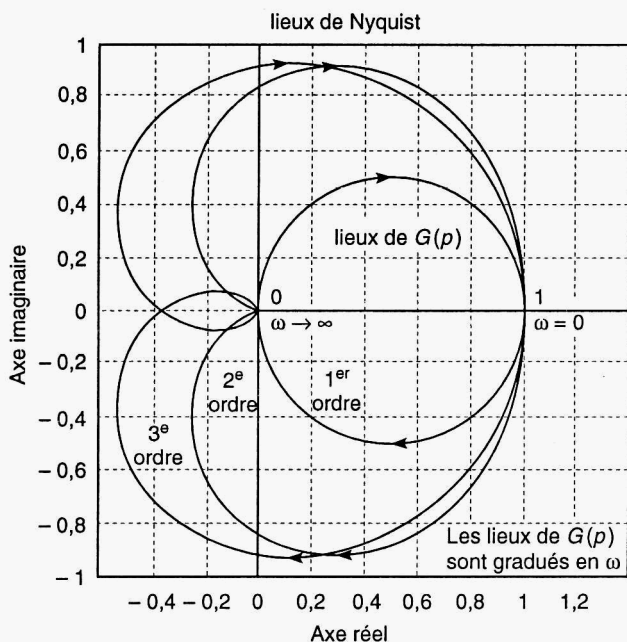
$$\xi = \frac{1}{2} \frac{T_1 + T_2}{\sqrt{T_1 T_2}} \quad \omega_n = \frac{1}{\sqrt{T_1 T_2}}$$

$$H(p) = \frac{1}{(1 + T p)^2}$$

$$\xi = 1 \quad \omega_n = \frac{1}{T}$$

Amortissement supérieur à 1								
$\xi$	temps de réponse $t_r \omega_n$				pulsation de coupure $\frac{\omega_c}{\omega_n}$			$\xi$
	10 %	5 %	2 %					
1	3,9	4,8	5,8			0,64		1
1,25	5,2	6,6	8,4			0,47		1,25
1,5	6,4	8,2	10,8			0,37		1,5
1,75	7,7	9,9	13,0			0,31		1,75
2	8,9	11,4	14,6			0,27		2
2,25	10,0	13,0	16,5			0,23		2,25





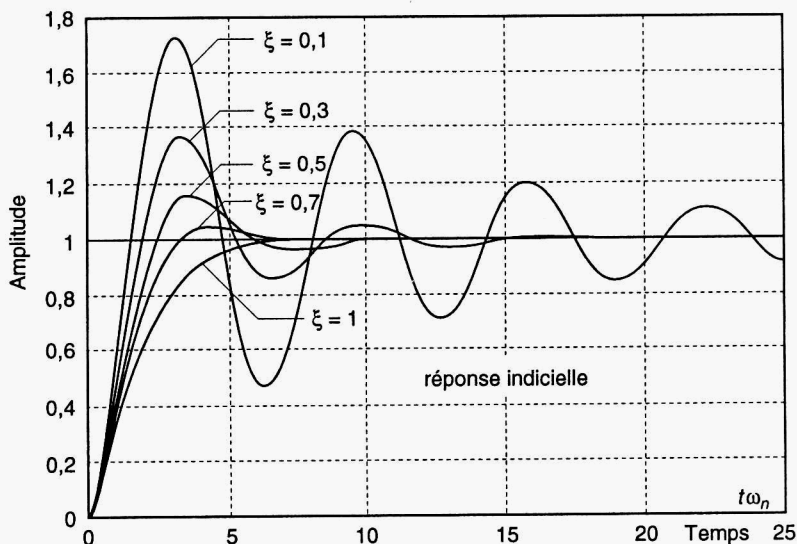
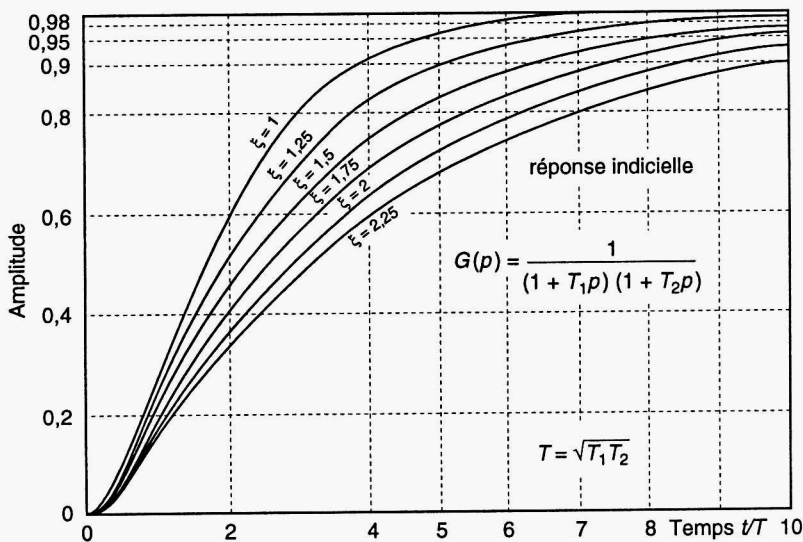
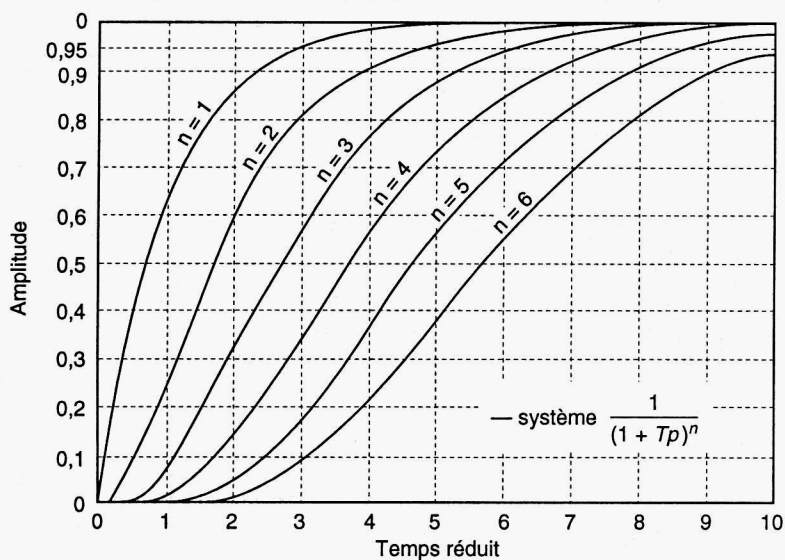
2<sup>e</sup> ordre amorti2<sup>e</sup> ordre apériodique

Figure A.4.



## Réponse indicielle



## Réponse à la rampe unitaire

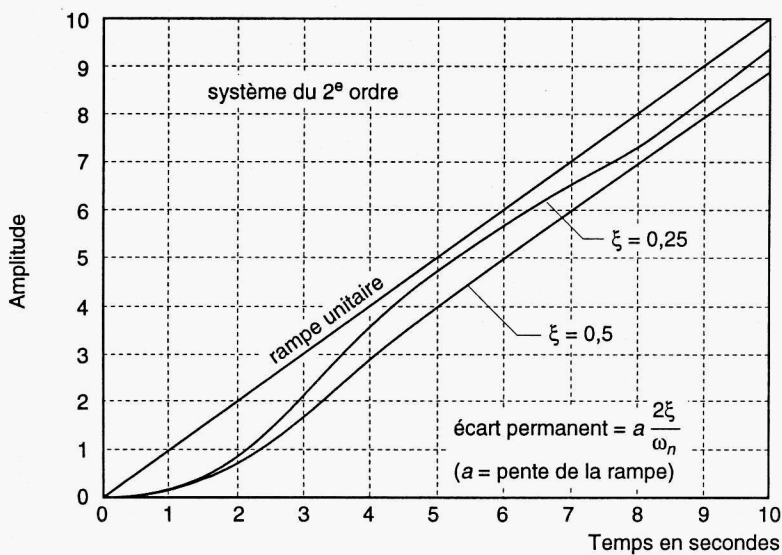


Figure A.5.

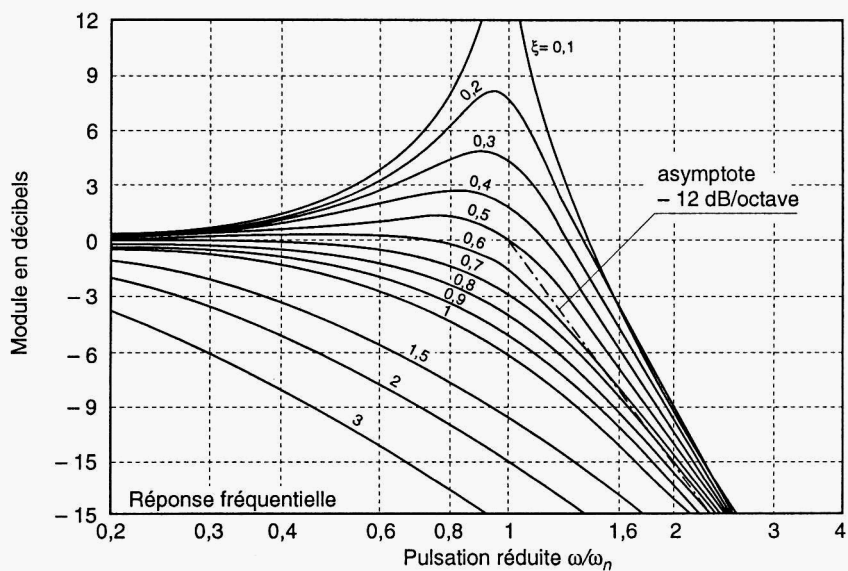
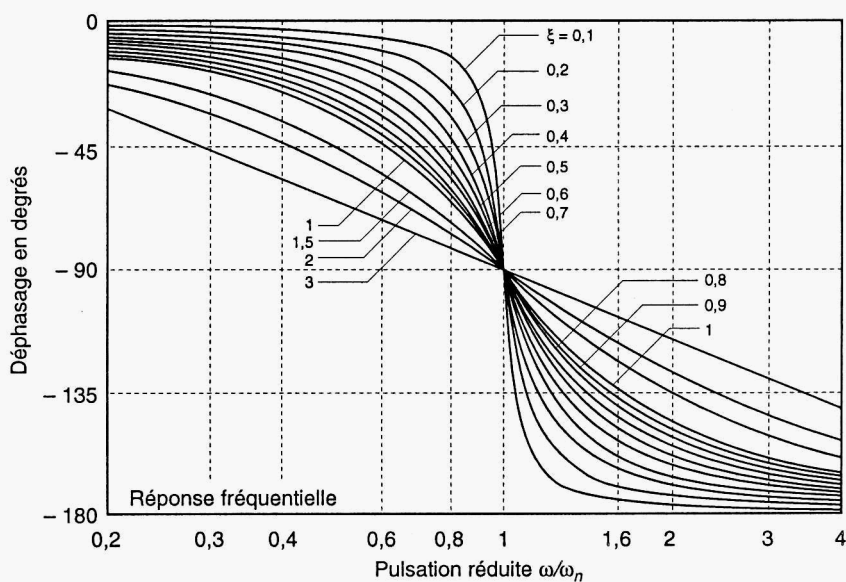
2<sup>e</sup> ordre2<sup>e</sup> ordre

Figure A.6.

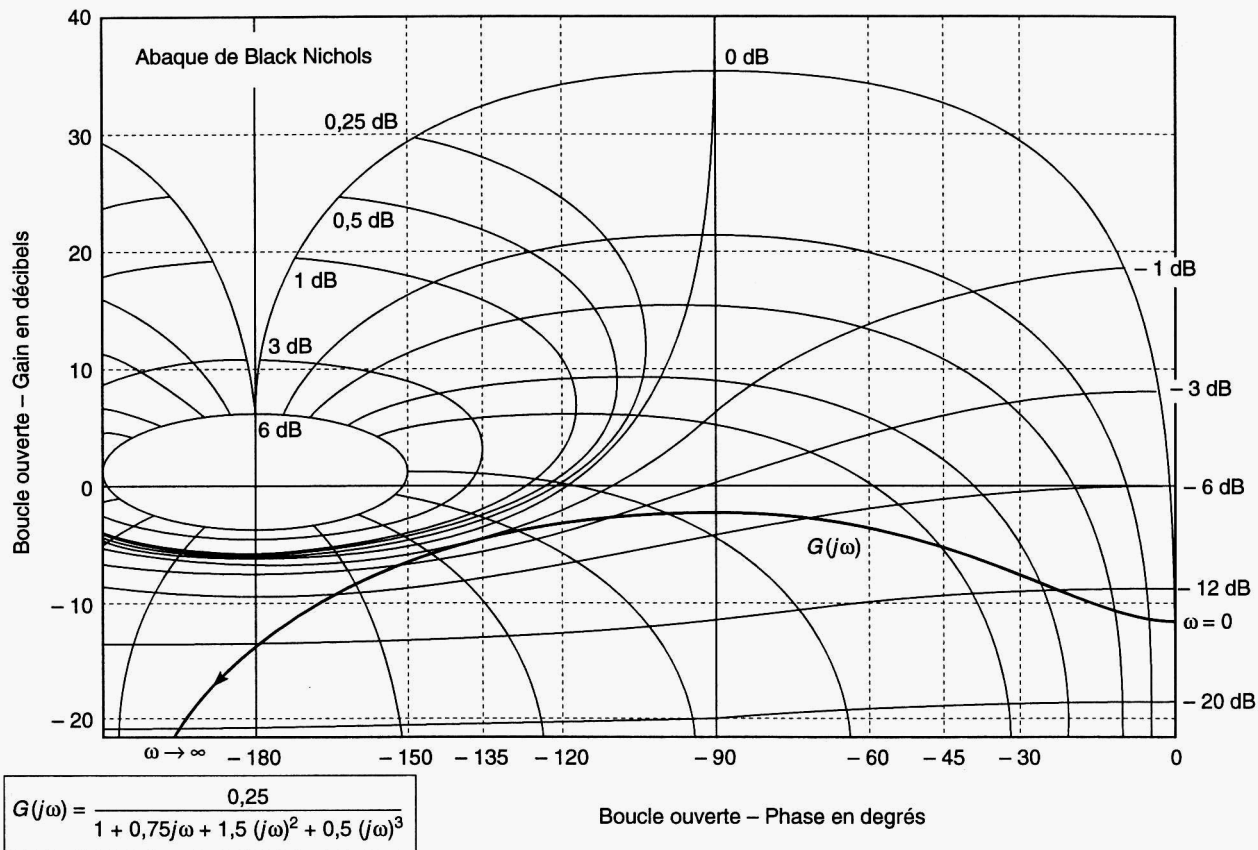


Figure A.7.

## Correcteur à Avance de Phase

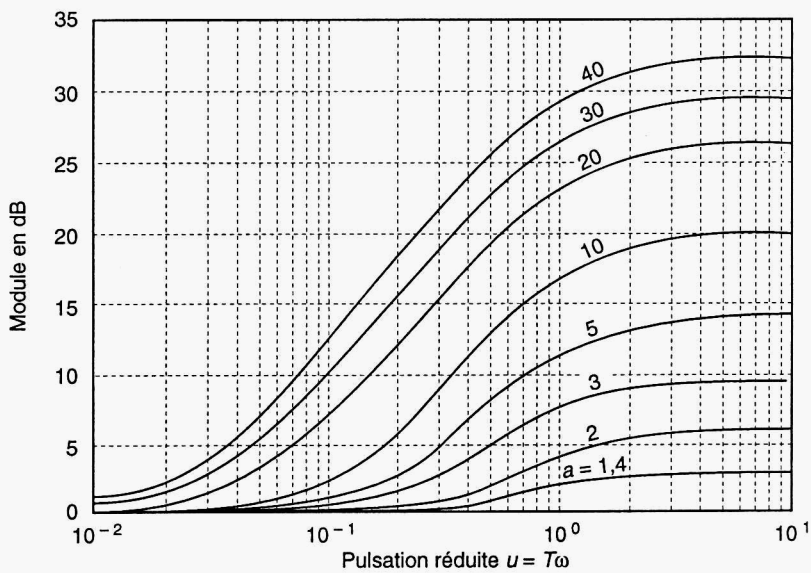
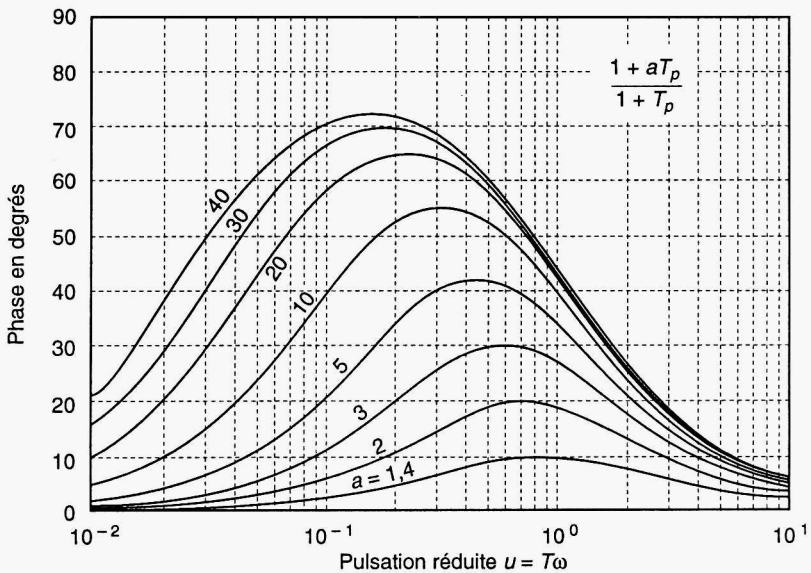


Figure A.8.

# LEXIQUE FRANÇAIS-ANGLAIS

Abaque de Black-Nichols	<i>Nichols chart</i>
Action directe	<i>Feed-forward</i>
Actionneur	<i>Actuator</i>
Amortissement	<i>Damping</i>
Analyse	<i>Analysis</i>
Analyse fréquentielle	<i>Frequency analysis</i>
Asservissement	<i>Feedback control</i>
Asservissement de position	<i>Position-control system</i>
Avance de phase	<i>Phase lead</i>
Avance-retard	<i>Lead-lag</i>
Bande passante	<i>Bandwidth</i>
Bloqueur d'ordre zéro	<i>Zero order hold</i>
Boucle	<i>Loop</i>
Bruit pseudoaléatoire	<i>Pseudorandom noise</i>
Calculateur	<i>Computer</i>
Capteur	<i>Sensor</i>
Commande	<i>Control</i>
Commande analogique	<i>Analog control</i>
Commande de vitesse	<i>Speed control</i>
Commande dérivée	<i>Derivative control</i>
Commande en boucle fermée	<i>Closed loop control</i>
Commande en boucle ouverte	<i>Open loop control</i>
Commande intégrale	<i>Integral control</i>
Commande par calculateur	<i>Digital (computer) control</i>
Commande PID	<i>PID (3 term) control</i>
Compensation pôle-zéro	<i>Pole-zero cancellation</i>
Consigne	<i>Reference input</i>
Constante de temps	<i>Time constant</i>
Contre-réaction	<i>Feedback</i>
Convertisseur analogique-numérique	<i>Analog-to-digital converter</i>
Convertisseur numérique-analogique	<i>Digital-to-analog converter</i>
Correcteur analogique	<i>Analog controller</i>

Correcteur numérique	<i>Digital controller</i>
Correction par avance de phase	<i>Lead compensation</i>
Correction par retard de phase	<i>Lag compensation</i>
Couple	<i>Torque</i>
Courbe de gain	<i>Magnitude curve</i>
Courbe de phase	<i>Phase curve</i>
Critère de stabilité	<i>Stability criterion</i>
Demi-plan droit	<i>Right-half plane</i>
Demi-plan gauche	<i>Left-hand plane</i>
Dépassement	<i>Overshoot</i>
Déphasage	<i>Dephasing</i>
Deuxième ordre	<i>Second-order</i>
Diagramme de Bode	<i>Bode plot</i>
Échantillonnage	<i>Sampling</i>
Échelon unité	<i>Unit step</i>
Équation caractéristique	<i>Characteristic equation</i>
Erreur de poursuite	<i>Tracking error</i>
Erreur de régime permanent	<i>Steady-state error</i>
Erreur en vitesse	<i>Velocity error</i>
État	<i>State</i>
Facteur d'amortissement	<i>Damping ratio</i>
Facteur de résonance	<i>Resonant peak</i>
Filtre antirepliement	<i>Antialiasing filter</i>
Fonction de transfert	<i>Transfer function</i>
Forme canonique	<i>Canonical form</i>
Gain	<i>Gain</i>
Gain en position	<i>Position constant</i>
Gain en vitesse	<i>Velocity constant</i>
Génératrice tachymétrique	<i>Tachometer</i>
Intégrateur	<i>Integrator</i>
Lieu des racines	<i>Root locus</i>
Linéarisation	<i>Linearization</i>
Logiciel	<i>Software (package)</i>
Loi de commande dérivée	<i>Derivative control law</i>
Loi de commande intégrale	<i>Integral control law</i>
Loi de commande proportionnelle	<i>Proportional control law</i>
Marge de gain	<i>Gain margin</i>
Marge de phase	<i>Phase margin</i>
Matrice diagonale	<i>Diagonal matrix</i>
Matrice exponentielle	<i>Exponential matrix</i>
Matrice inverse	<i>Inverse matrix</i>
Matrice unité (identité)	<i>Identity matrix</i>
Modèle interne	<i>Internal model</i>
Moteur à CC	<i>DC motor</i>

Non minimum de phase	<i>Nonminimum phase</i>
Parabole	<i>Parabola</i>
Période d'échantillonnage	<i>Sampling period</i>
Perturbation	<i>Disturbance</i>
Perturbation additive	<i>Additive perturbation</i>
Placement de pôles	<i>Pole-placement</i>
Point critique	<i>-I point</i>
Pôles « lents »	<i>« slow » poles</i>
Pôles « rapides »	<i>« Fast » poles</i>
Pôles complexes conjugués	<i>Complex conjugate poles</i>
Position des pôles	<i>Pole locations</i>
Poursuite	<i>Tracking</i>
Précision	<i>Accuracy</i>
Préfiltrage	<i>Prefiltering</i>
Premier ordre	<i>First-order</i>
Processus	<i>Plant</i>
Pseudo-pulsation (fréquence)	<i>Damped natural frequency</i>
Pulsation (fréquence) de résonance	<i>Resonant frequency</i>
Pulsation (fréquence) propre non amortie	<i>Undamped natural frequency</i>
Racines multiples	<i>Multiple roots</i>
Rampe	<i>Ramp</i>
Rang (matrice)	<i>Rank (matrix)</i>
Régime permanent	<i>Steady state</i>
Réglage du PID	<i>PID tuning</i>
Régulateur	<i>Regulator</i>
Régulateur de Smith	<i>Smith regulator</i>
Rejet de perturbation	<i>Disturbance rejection</i>
Réponse dynamique	<i>Dynamic response</i>
Réponse en fréquence	<i>Frequency response</i>
Réponse impulsionnelle	<i>Impulse response</i>
Réponse indicielle	<i>Step response</i>
Réponse transitoire	<i>Transient response</i>
Réseau	<i>Network</i>
Retard de phase	<i>Phase lag</i>
Retard pur	<i>Pure Time delay</i>
Robustesse	<i>Robustness</i>
Saturation de l'actionneur	<i>Actuator saturation</i>
Schéma-bloc	<i>Block diagram</i>
Second-ordre dominant	<i>Dominant second-order</i>
Sensibilité	<i>Sensitivity</i>
Signal de commande	<i>Control signal</i>
Simulation	<i>Simulation</i>
Stabilité	<i>Stability</i>
Synthèse d'un régulateur	<i>Regulator design</i>

Synthèse du correcteur	<i>Compensator design</i>
Système à retour unitaire	<i>Unity feedback system</i>
Système dynamique	<i>Dynamical system</i>
Système masse-ressort	<i>Spring-mass system</i>
Systèmes électriques	<i>Electrical systems</i>
Systèmes mécaniques	<i>Mechanical systems</i>
Systèmes non linéaires	<i>Non linear systems</i>
Temps de montée	<i>Rise time</i>
Temps de pic	<i>Peak time</i>
Temps de réponse (à n %)	<i>Settling time</i>
Théorème de la valeur finale	<i>Final-value theorem</i>
Transformation de Laplace	<i>Laplace transformation</i>
Transformées de Laplace	<i>Laplace transforms</i>
Valeurs propres	<i>Eigenvalues</i>
Vecteurs propres	<i>Eigenvectors</i>