

Diagrammes de Bode, Black et Nyquist avec PGF/TIKZ

Papanicola Robert*

19 octobre 2021

version 1.5 10/17/2021 : Bug fixes and improvements : implementation of a `linear` package option to plot more accurate linear approximation of phase plots - Rushikesh Kamalapurkar.

- Fixed a bug where `'(t<-log10(abs(b))?20*log10(a):-20*t+20*log10(a)-20*log10(abs(b)))'` generates a blank plot for $b \geq 2$.
- Added support for asymptotic Bode plots of real poles and zeros in the right half plane.
- Added support for asymptotic Bode plots of complex conjugate pairs of poles and zeros with negative?.
- When loaded using the option `'linear'` :
 - `\POArgAsymp` changes slopes a decade before and after a pole/zero.
 - `\SOArgAsymp` changes slopes at $\omega_n/10^\zeta$ and $\omega_n 10^\zeta$.
- Due to a bug in `gnuplot` (fixed in 5.4 patchlevel 3), using a negative sign `-\POArgAsymp` and `-\SOArgAsymp`, to plot zeros does not work unless they are subtracted from something.
For example, `\POArgAsymp{1}{1} - \POArgAsymp{10}{10}` is OK,
and so is `0 - \POArgAsymp{10}{10} + \POArgAsymp{1}{1}`.
But, `-\POArgAsymp{10}{10} + \POArgAsymp{1}{1}` does not work.*
- Call `\BodeGraph` with the option `'samples=300'` (or more, as needed) to get accurate asymptotic phase plots.*

version 1.4 09/10/2010 : modification du repertoire par dfaut des fichiers `gnuplot`.

version 1.3 1/05/2010 :

- Ajout de la commande `\semilogNG` qui permet de tracer un diagramme semi-log sans graduation
- suppression de tous les styles (couleurs et paisseurs) et remplacement par des styles dfinis par `\tikzset`;
- Ajout de la commande `\BodePoint`.

version 1.2.1 : 20/01/2010 : ajout de la commande `\semilog*` pour une grille log plus fine.

version 1.2 : 22/08/2009,

- remplacement des commandes `\BodeAmp` et `\BodeArg` par `\BodeGraph`, ces deux commandes sont maintenues pour assurer la compatibilit avec les anciens fichiers.
- ajout des commandes `\BlackText` et `\NyquistText` permettant d'annoter les courbes de Black et Nyquist;
- ajout de la commande `\BodePoint` qui permet de marquer sur les diagrammes une liste de points par une puce (pas d'annotation de ces points);
- ajout d'un style pour les puces;

version 1.1 : 03/05/2009, ajout;

- abaque temps de rponse 2nd ordre,
- abaque des dpassements d'un 2nd ordre;

version 1 : mise en ligne de la version initiale 06/04/2009.

*Merci Germain Gondor pour ses remarques

Table des matières

1	Présentation / Introduction	3
1.1	Necessite / Need	3
1.2	Composition du package / Composition of Package	3
1.3	Utilisation / Use	3
1.4	ToDo	3
2	Les commandes / Orders	4
2.1	Grille semilog / Semilog grid	4
2.2	Grille semilog sans graduation / grid without graduation	5
2.3	Paramtres de configuration des diagrammes / parameters	5
2.4	Trac des diagrammes / Drawing bode graph	6
2.5	Fonctions de transfert lmentaires	6
2.5.1	Premier ordre	6
2.5.2	Second ordre	7
2.5.3	Intgrateur	9
2.5.4	Gain seul	9
2.5.5	Retard	9
2.5.6	Premier Ordre gnralis	9
2.5.7	Fonctions inverses	9
2.6	Correcteurs	10
2.6.1	Correcteur PD	12
2.6.2	Correcteur Avance de phase	12
2.6.3	Correcteur Retard de phase	12
2.6.4	Correcteur PID srie	12
2.7	Fonctions de transfert complexe	13
2.7.1	Exemples	14
3	Diagramme de Black	15
3.1	Lieu de Black	15
3.1.1	styles par dfaut	16
3.2	Grille et abaque de Black-Nichols	16
3.2.1	grille	16
3.2.2	Abaque de Black-Nichols	16
3.3	Exemples	16
4	Diagramme de Nyquist	17
4.0.1	Styles par dfaut	19
4.1	Quelques exemples de trac de lieu de Nyquist	20
5	Rponse temporelle	20
5.1	styles	20
6	Abaques	21
6.1	Temps de rponse d'un second ordre	21
6.2	Abaque des dpassements indiciels	21

1 Prsentation / Introduction

Ce package permet de tracer les diagrammes de Bode, Black et Nyquist l'aide de Gnuplot et Tikz. Les fonctions de transfert lmentaires et les correcteurs courants sont prprogramms pour tre utilis dans les fonctions de trac.

1.1 Ncessite / Need

Pour fonctionner ce package a besoin :

- d'une version CVS de Pgf/Tikz (certaines commandes de calculs ont ts modifies ou intgres depuis la version 2), elle peut tre tlcharge sur le site Texample <http://www.texample.net/tikz/builds/>.
- que *gnuplot* soit install et configur pour tre excut lors de la compilation de votre fichier \LaTeX (Cf. la doc de Pgf/Tikz).

This package allows you to draw the Bode plots, Nyquist, and Black using Gnuplot and Tikz. Elementary Functions Transfer and basics correctors are preprogrammed to be used.

To run this package requires :

- a CVS Pgf / Tikz (some commands calculations have summers modified or integrated since version 2) it can be downloaded from Texample <http://www.texample.net/tikz/builds/>
- that *gnuplot* is installed and configured to run when compiling your \LaTeX file (see the doc Pgf / Tikz)

1.2 Composition du package / Composition of Package

Ce package est constitu de trois fichiers :

- `bodegraph.sys` : le package proprement dit;
- `isom.txt` : macro-commandes de dfinition des courbes iso-module;
- `isoa.tx` : macro-commandes de dfinition des courbes iso-arguments.

et du fichier `bodegraph.tex`, ce fichier contenant la documentation.

Remarque : pour compiler ce document latex, vous avez besoin du package `tkzexample` <http://altermundus.fr/SandBox/tkzexample.zip> de Alain Matthes.

Les courbes gnuplot prcalculs sont dans le rpertoire `/gnuplot/`.

Package This package consists of three files :

- `bodegraph.sys` : the package itself;
- `Isom.txt` : macros defining curves iso-module
- `Isoa.tx` : macros definition curves iso-arguments.

`bodegraph.tex` file, the file containing the documentation.

Note : To compile latex document, you need the package `tkzexample` <http://altermundus.fr/SandBox/tkzexample.zip> by Alain Matthes.

Gnuplot precomputed curves are in the directory `/gnuplot/`.

1.3 Utilisation / Use

Dcompresser l'archive du package dans votre rpertoire personnel.

Rajouter dans l'entte la commande `usepackage{bodegraph}`.

Unzip the archive package in your home directory.

Add in the header control `usepackage{bodegraph}`..

1.4 ToDo

- Complter les fonctions lmentaires,
- Traduction correcte en anglais,
- ...

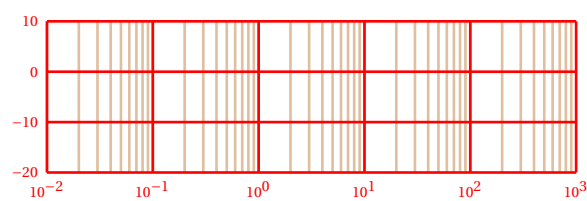
- Complete the basic functions
- Better english!!!
- ...

2 Les commandes / Orders

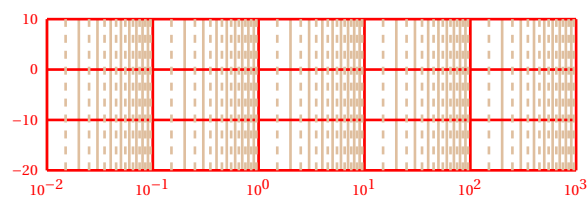
2.1 Grille semilog / Semilog grid

- `\semilog{dcade mini}{dcade maxi}{ymini}{ymaxi}`
- `\semilog*{dcade mini}{dcade maxi}{ymini}{ymaxi}`

Cette commande gnrique, toile ou non permet de tracer une grille semilog. La commande `toile` permet d'afficher une grille logarithmique plus prcise (demi valeur).



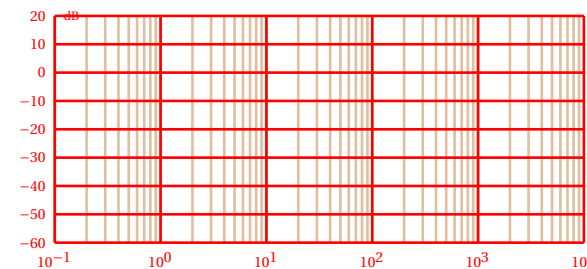
```
\begin{tikzpicture}[yscale=2/30,xscale=7/5]
\semilog{-2}{3}{-20}{10}
\end{tikzpicture}
```



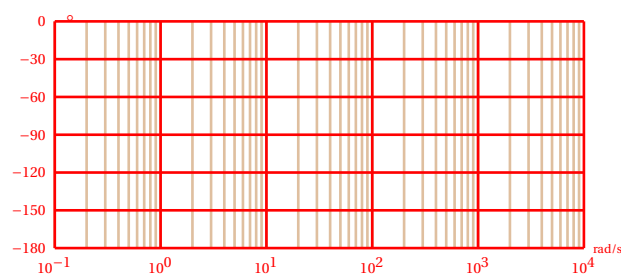
```
\begin{tikzpicture}[yscale=2/30,xscale=7/5]
\semilog*{-2}{3}{-20}{10}
\end{tikzpicture}
```

L'amplitude des coordonnes de l'abscisse doit tre donne en $dcade$, de $10^{dcademini}$ $10^{decademaxi}$, l'ordonne varie elle de $ymini$ $ymaxi$.

On utilisera les commandes d'chelles de tikz pour adapter les dimensions de la grille celle de la page. Ainsi si on souhaite afficher un diagramme d'amplitude de 5 dcades de 10^{-1} 10^4 sur 7 cm et 80 dB de -60 20 dB sur 3 cm, le diagramme de phase de -180° 0° sur 3 cm avec un pas vertical de 30° en prcisant les units (figure 1) :



```
\begin{tikzpicture}[xscale=7/5]
\begin{scope}[yscale=3/80]
\UnitedB
\semilog{-1}{4}{-60}{20}
\end{scope}
```

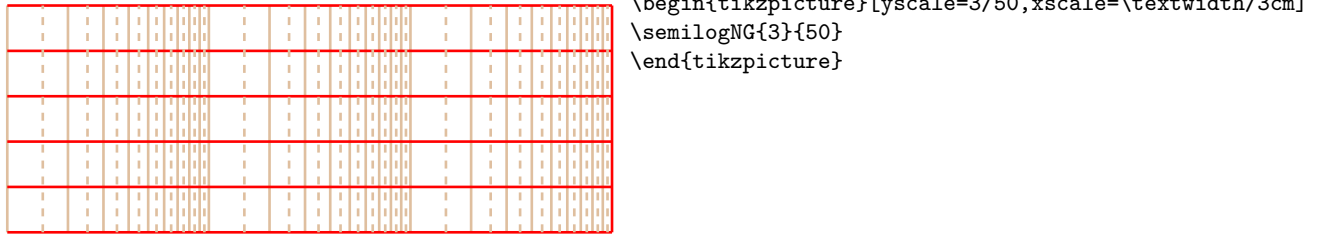


```
\begin{scope}[yshift=-3cm,yscale=3/180]
\UniteDegre
\OrdBode{30}
\semilog{-1}{4}{-180}{0}
\end{scope}
\end{tikzpicture}
```

FIGURE 1 – Grille semilog

2.2 Grille semilog sans graduation / grid without graduation

La commande `\semilogNG{nbdec}{y}` permet de tracer des diagrammes semi log sans graduation, le premier parametre est le nombre de decade, le second l'amplitude des ordonnées.



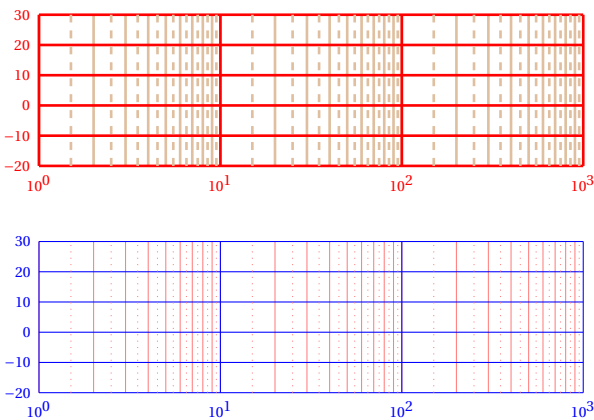
2.3 Paramtres de configuration des diagrammes / parameters

- `\UnitedB` permet d'afficher les units pour un diagramme d'amplitude
- `\UniteDegre` permet d'afficher les units pour un diagramme de phase,
- `\OrdBode{pas}` permet de prciser le pas des graduations verticales (par dfaut 10) du diagramme semilog,
- `\Unitx{}` et `\Unity{}` permettent de choisir directement les units afficher, utiliser sous la forme `\def\Unity{}`

Les styles de trac par dfaut sont dfinis l'aide de la commande `\tikzset` :

- `Bode lines/.style={very thick, blue}` : style par dfaut des trac de bode (amplitude et gain);
- `asyp lines/.style={Bode lines,thin}` : style, dduit du prcdent, utilisable pour tracer les asymp-
- totes;
- `semilog lines/.style={thin, brown}` : style par dfaut de la grille semilog;
- `semilog half lines/.style={semilog lines 2, dashed }` : style par dfaut des demi pas de la grille semilog;
- `semilog label x/.style={semilog lines,below,font=\tiny}` : style des labels de l'axe des abscisses de la grille semilog;
- `semilog label y/.style={semilog lines,right,font=\tiny}` : idem pour l'axe des ordonnées.

Vous pouvez, en modifiant ces styles agir les tracs par dfaut.



```
\begin{tikzpicture}
\begin{scope}[yscale=2/50,
xscale=0.9\textwidth/3cm]
\semilog*{0}{3}{-20}{30}
\end{scope}
\begin{scope}[yshift=-3cm,
yscale=2/50,xscale=0.9\textwidth/3cm]
\tikzset{
semilog lines/.style={thin, blue},
semilog lines 2/.style={semilog lines,
red!50 },
semilog half lines/.style={semilog lines 2,
dotted },
semilog label x/.style={semilog lines,
below,font=\tiny},
semilog label y/.style={semilog lines,
right,font=\tiny}
}
\semilog*{0}{3}{-20}{30}
\end{scope}
\end{tikzpicture}
```

2.4 Trac des diagrammes / Drawing bode graph

Les commandes de tracs necessitent que gnuplot (<http://www.gnuplot.info/>) soit install et utilisable par votre distribution \LaTeX .

Trois commandes permettent de tracer les diagrammes d'amplitude et de phase (figure 2).

- `\BodeGraph [Options] {domain}{fonction}` pour le diagramme d'amplitude et de phase;
- `\BodeGraph* [Options] {domain}{fonction}{[options]{texte}}` realise le trac et ajoute le texte avec les options precises l'extrmit.
- `\BodePoint [Options] {liste}{fonction}` place les points de la liste sur le diagramme;

avec

- `domain` le domaine du trac prcis en puissance de 10, ainsi pour tracer une fonction de 10^{-2} rad/s 10^2 rad/s on notera le domaine `-2:2`;
- `fonction` la fonction trac crite avec la syntaxe gnuplot.
- `options` par dfaut les options suivantes [`samples=50`, `thick`, `blue`] sont appliques, toutes les options de trac de tikz et de gnuplot peuvent tre utilises et substituent celle par dfaut, on notera principalement
 - spcifiques tikz
 - la couleur, [`red`], [`blue`], ...
 - l'paisseur [`thin`], [`thick`], ...
 - le style [`dotted`] [`dashed`], ...
 - spcifiques gnuplot
 - le nombre de points [`samples=xxx`]
 - l'identifiant du fichier cr [`id=nomdufichier`], il est noter que tikz, sauvegarde au premier appel de gnuplot la table des valeurs et que si celle-ci est inchange lors d'une compilation ultrieure, tikz utilise la table prcdemment sauve. il est donc important pour minimiser le temps de compilation de prciser un id diffrent pour chaque courbe, par dfaut les macros sauvegardent les graphes dans des fichiers diffrents (incrmentation d'un compteur), il n'est donc utile de nommer la courbe que si vous souhaitez la retrouver.
 - le rpertoire de sauvegarde des tables de donnes [`prefix=repertoire/`] (par dfaut `prefix=gnuplot/\jobname`). Cette configuration par dfaut est rgl par un style dfini l'aide de `\tikzset{gnuplot def/.style={samples=50,id=\arabic{idGnuplot},prefix=gnuplot/\jobname }`.
- pour les autres options, consulter la documentation de tikz.
- styles prdfinis : plusieurs styles sont prdfinis l'aide de la commande `\tikzset`, voir plus haut, la description des styles.

Ainsi pour tracer le diagramme d'amplitude de la fonction du premier ordre, $H(s) = \frac{3}{1+0.3 \cdot s}$ entre 10^{-2} rad/s et 10^2 rad/s sur une grille semi logarithmique, on utilise la squence de commandes ci-dessous.

2.5 Fonctions de transfert lmentaires

Les fonctions de base pour tracer les diagrammes de Bode des systmes du premier, du second ordre, et l'intgration, sont directement implmentes dans le package ainsi que les diagrammes asymptotiques de ces mme fonctions.

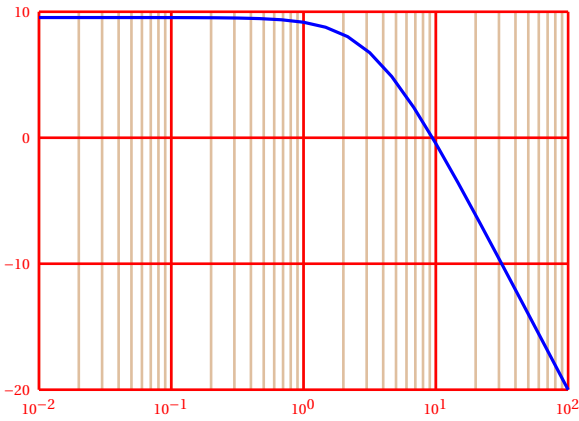
Ces fonctions ne peuvent tre utilises qu'avec les commandes de trac :

- `\BodeGraph [Options] {domaine}{fonction};`
- `\BodeGraph* [Options] {domaine}{fonction};`

Le trac des asymptotes prsente un dfaut la cassure, cela est du la finesse du trac avec gnuplot, pour amliorer ce trac, il est possible d'utiliser l'option `const plot` qui permet de tracer des crneaux et d'augmenter le nombre de points calculer `samples=xxx` et mais cela risque d'accrotre le temps de compilation.

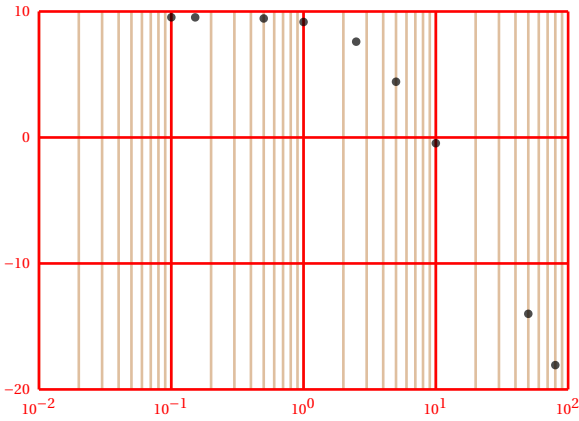
2.5.1 Premier ordre

Deux commandes implmentent les formules permettant le trac des diagrammes d'amplitude et de phase par gnuplot de la fonction du premier ordre $H_1(s) = \frac{K}{1+\tau \cdot s}$ et deux autres les diagrammes asymptotiques (figure 4) :



```
\begin{tikzpicture}[xscale=7/4,yscale=5/30]
\semilog{-2}{2}{-20}{10}
\BodeGraph{-2:2}{20*log10(abs(3/sqrt
(1+(0.3*10**t)**2)))}
\end{tikzpicture}
```

FIGURE 2 – Utilisation de BodeGraph



```
\begin{tikzpicture}[xscale=7/4,yscale=5/30]
\semilog{-2}{2}{-20}{10}
\BodePoint{0.1,0.15,0.5,1,2.5,5,10,50,80}
{20*log10(abs(3/sqrt
(1+(0.3*10**t)**2)))}
\end{tikzpicture}
```

FIGURE 3 – Utilisation de BodePoint

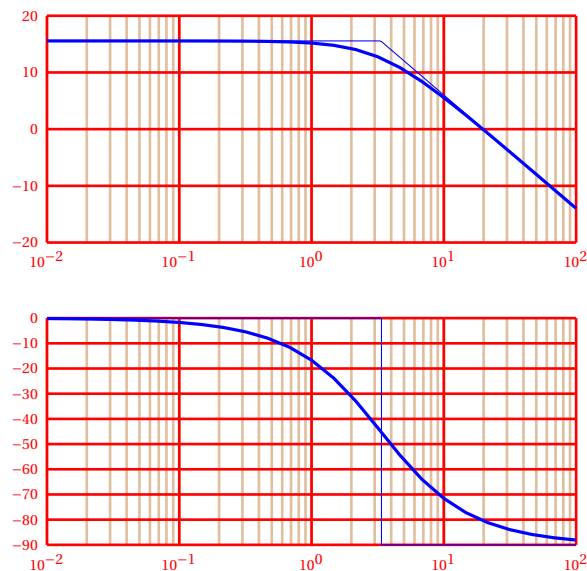
- `\POAmp{K}{tau}` pour le diagramme d'amplitude, avec K le gain tau la constante de temps;
- `\POAmpAsymp{K}{tau}` pour le diagramme asymptotique d'amplitude;
- `\POArg{K}{tau}` pour le diagramme de phase;
- `\POArgAsymp{K}{tau}` pour le diagramme asymptotique de phase. UPDATE : With the package option `linear`, this command and all the following Asymp commands produce linear approximation of phase plots instead of plotting just the asymptotes.

Remarque : la donne, {K} n'est pas utile pour tracer le diagramme de phase, il est juste maintenu pour faciliter l'écriture de la fonction par copie directe de la commande de tracer du module.

2.5.2 Second ordre

Deux commandes implémentent les formules permettant le trac des diagrammes d'amplitude et de phase par gnuplot de la fonction du second ordre $H_2(s) = \frac{K}{1 + \frac{2 \cdot z}{\omega_n} \cdot s + \frac{s^2}{\omega_n^2}}$ et deux pour le trac des asymptotes (figure 5) :

- `\SOAmp{K}{z}{Wn}` pour le diagramme d'amplitude, avec K le gain, z le coefficient d'amortissement et Wn la pulsation propre;
- `\SOAmpAsymp{K}{z}{Wn}` pour le diagramme asymptotique d'amplitude;

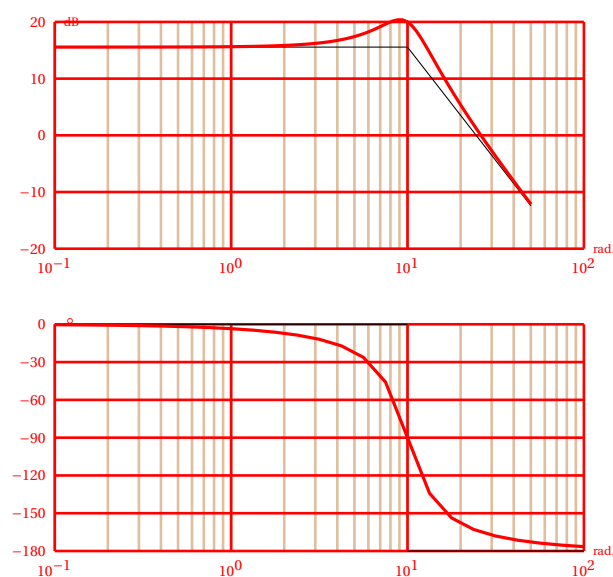


```
\begin{tikzpicture}[xscale=7/4]
\begin{scope}[yscale=3/40]
\semilog{-2}{2}{-20}{20}
\BodeGraph[asyp lines,samples=300]{-2:2}
{\POAmpAsyp{6}{0.3}}
\BodeGraph{-2:2}{\POAmp{6}{0.3}}
\end{scope}

\begin{scope}[yshift=-2.5cm,yscale=3/90]
\semilog{-2}{2}{-90}{0}
\BodeGraph[asyp lines,samples=300, const plot]{-2:2}
{\POArgAsyp{6}{0.3}}
\BodeGraph{-2:2}{\POArg{6}{0.3}}
\end{scope}
\end{tikzpicture}
```

FIGURE 4 – Premier ordre

- $\backslash\text{SOArg}\{K\}\{z\}\{W_n\}$ pour le diagramme de phase;
- $\backslash\text{SOArgAsyp}\{K\}\{z\}\{W_n\}$ pour le diagramme asymptotique de phase;



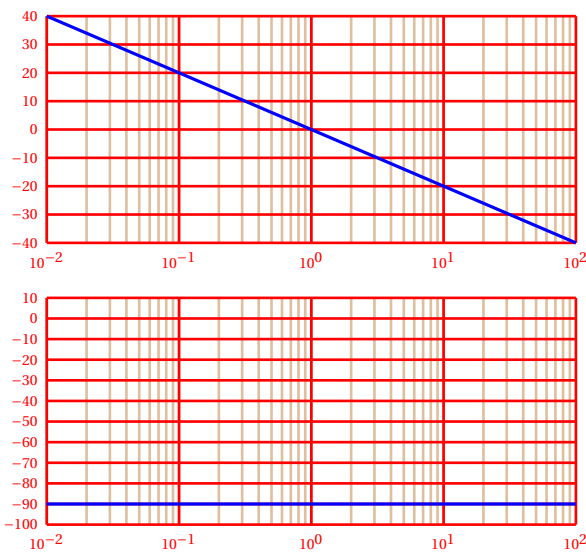
```
\begin{tikzpicture}[xscale=7/3]
\tikzset{
mylines/.style={very thick, red},
myasyp/.style={Bode lines,thin,black},
}
\begin{scope}[yscale=3/40]
\UnitedB
\semilog{-1}{2}{-20}{20}
\BodeGraph[myasyp,samples=300]{-1:1.7}
{+\SOAmpAsyp{6}{0.3}{10}}
\BodeGraph[mylines,samples=101]{-1:1.7}
{\SOAmp{6}{0.3}{10}}
\end{scope}
\begin{scope}[yshift=-2.5cm,yscale=3/180]
\OrdBode{30}
\UniteDegre
\semilog{-1}{2}{-180}{0}
\BodeGraph[myasyp,samples=300]{-1:0.999}
{\SOArgAsyp{6}{0.3}{10}}
\BodeGraph[myasyp,samples=300]{1:2}
{\SOArgAsyp{6}{0.3}{10}}
\BodeGraph[mylines]{-1:2}
{\SOArg{6}{0.3}{10}}
\end{scope}
\end{tikzpicture}
```

FIGURE 5 – Second ordre

2.5.3 Intgrateur

$$H_i(s) = \frac{K}{s} \text{ (figure 6)}$$

- `\IntAmp{K}` pour le diagramme d'amplitude;
- `\IntArg{K}` pour le diagramme de phase.



```
\begin{tikzpicture}
\begin{scope}[xscale=7/4,yscale=3/80]
\semilog{-2}{2}{-40}{40}
\BodeGraph{-2:2}{\IntAmp{1}}
\end{scope}

\begin{scope}[yshift=-2.5cm,
xscale=7/4,yscale=3/110]
\semilog{-2}{2}{-100}{10}
\BodeGraph{-2:2}{+\IntArg{1}}
\end{scope}
\end{tikzpicture}
```

FIGURE 6 – Intgrateur

2.5.4 Gain seul

$H_K(s) = K$: `\KAmp{K}` pour le diagramme d'amplitude (pas de diagramme de phase).

2.5.5 Retard

$$H_r(s) = e^{-T_r \cdot s} \text{ (figure 7)}$$

- `\RetAmp{Tr}` pour le diagramme d'amplitude;
- `\RetArg{Tr}` pour le diagramme de phase.

2.5.6 Premier Ordre gnralis

$$H(p) = K \frac{a_1 + a_2 \cdot p}{b_1 + b_2 \cdot p} \text{ (figure 8)}$$

Courbes relles

- `\POgAmp{K}{a1}{a2}{b1}{b2}`
- `\POgArg{K}{a1}{a2}{b1}{b2}`

Asymptotes

- `\POgAmpAsymp{K}{a1}{a2}{b1}{b2}`
- `\POgArgAsymp{K}{a1}{a2}{b1}{b2}`

a_1 et b_1 ne doivent pas tre nuls.

2.5.7 Fonctions inverses

partir des fonctions lmentaires ci dessus il est facile de tracer les fonctions inverses en changeant uniquement le signe.

EDIT *10/17/2021 : Need to subtract from zero instead of just changing the sign (Rushikesh Kamalapurkar).

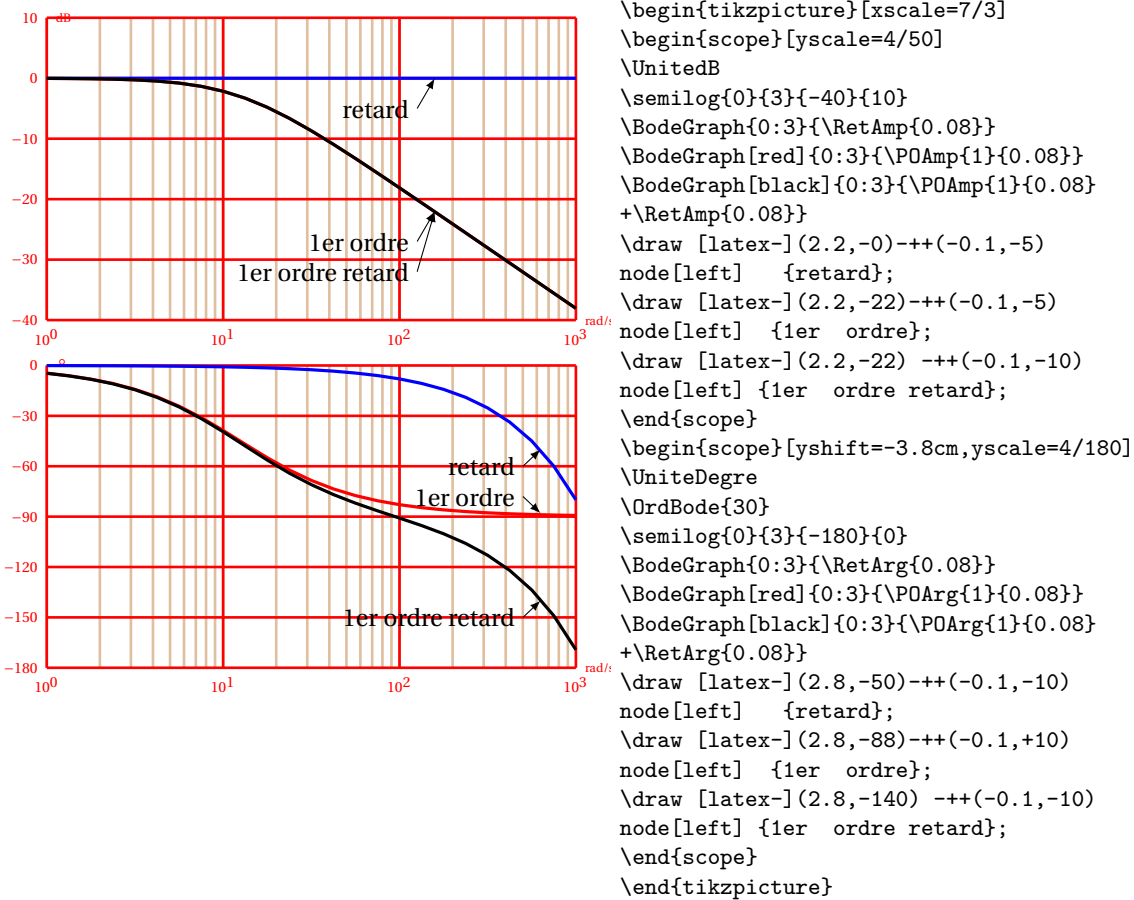


FIGURE 7 – Retard et 1er ordre

Premier ordre au numérateur : $N_1(s) = 1 + T \cdot s$ avec

- `\BodeGraph[Options]{domain}{0-\POAmp{1}{T}}` pour le module,
- `\BodeGraph[Options]{domain}{0-\POArg{1}{T}}` pour la phase;

Second ordre au numérateur : $N_2(s) = 1 + 2\frac{2 \cdot z}{\omega_n}cdots + \frac{s^2}{\omega_n^2}$ avec

- `\BodeGraph[Options]{domain}{0-\SOAmp{1}{z}{\omega_n}}` pour le module,
- `\BodeGraph[Options]{domain}{0-\SOArg{1}{z}{\omega_n}}` pour la phase;

Drvateur : $N_d(s) = s$ avec

- `\BodeGraph[Options]{domain}{-\IntAmp{1}}` pour le module,
- `\BodeGraph[Options]{domain}{-\IntArg{1}}` pour la phase.,

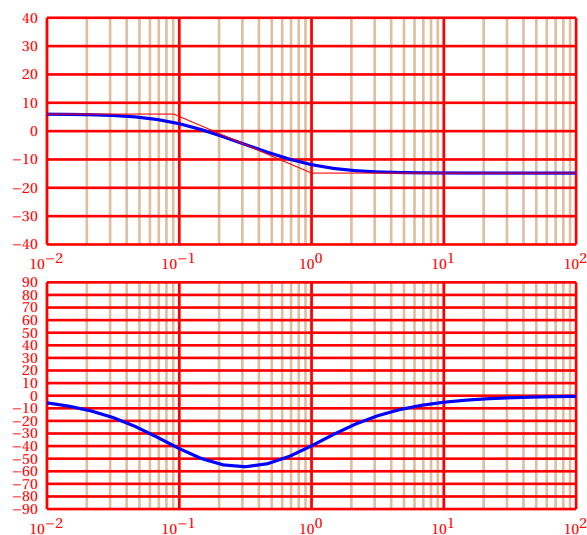
2.6 Correcteurs

Les correcteurs de base sont aussi pre-programms.

Correcteur P $C(p) = K$

- module : `\Kamp{K}`
- argument : `\Karg{K}`¹

1. commande inutile, elle retourne 0



```
\begin{tikzpicture}
\begin{scope}[xscale=7/4,yscale=3/80]
\semilog{-2}{2}{-40}{40}
\BodeGraph{-2:2}{\P0gAmp{3}{4}{5}{6}{70}}
\BodeGraph[thin,red,samples=300]{-2:2}
{0+\P0gAmpAsymp{3}{4}{5}{6}{70}}
\end{scope}

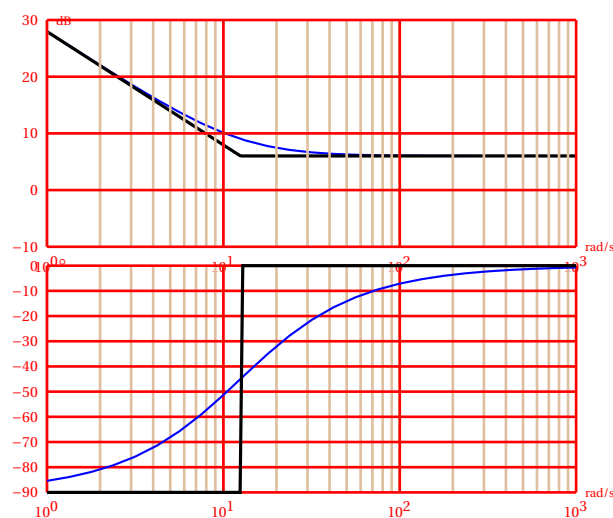
\begin{scope}[yshift=-3.5cm,
xscale=7/4,yscale=3/180]
\semilog{-2}{2}{-90}{90}
\BodeGraph{-2:2}{\P0gArg{3}{4}{5}{6}{70}}
\BodeGraph[thin,red,const plot,samples=300]{-2:2}
{0+\P0gArgAsymp{3}{4}{5}{6}{70}}
\end{scope}
\end{tikzpicture}
```

FIGURE 8 – Premier ordre gnralis

Correcteur PI $C(s) = K_p \cdot \frac{1 + T_i \cdot s}{T_i \cdot s}$ (figure 9)

— module : `\PIAmp{Kp}{Ti}`,
— argument : `\PIArg{Kp}{Ti}`
et les tracs asymptotiques

— module : `\PIAmpAsymp{Kp}{Ti}`,
— argument : `\PIArgAsymp{Kp}{Ti}`



```
\begin{tikzpicture}[xscale=7/3]
\begin{scope}[yscale=3/40]
\UnitedB
%\node{\tiny \PIAmp{3}{0.5}};
\BodeGraph[thick]{0:3}
{\PIAmp{2}{0.08}}
\BodeGraph[black,samples=300]{0:3}
{\PIAmpAsymp{2}{0.08}}
\semilog{0}{3}{-10}{30}
\end{scope}

\begin{scope}[yshift=-1cm,yscale=3/90]
\UniteDegre
\semilog{0}{3}{-90}{0}
\BodeGraph[thick]{0:3}
{\PIArg{2}{0.08}}
\BodeGraph[samples=2,black
,samples=201]{0:3}{\PIArgAsymp{2}{0.08}}
\end{scope}
\end{tikzpicture}
```

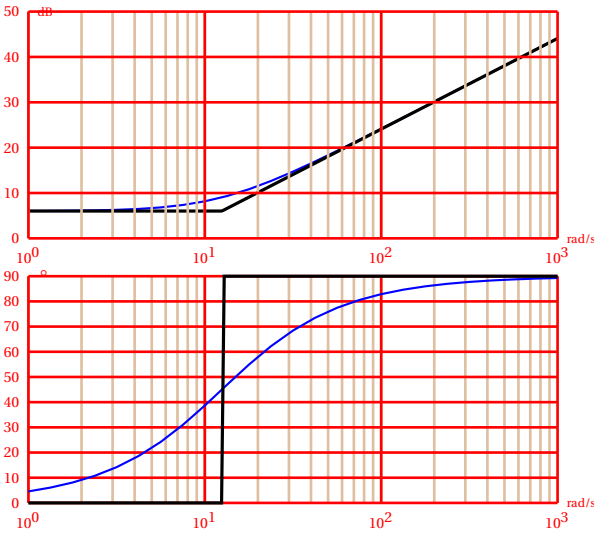
FIGURE 9 – Correcteur PI

2.6.1 Correcteur PD

$C(p) = K_p \cdot (1 + T_d \cdot p)$, le correcteur PD programmé est un correcteur idéal, pour réaliser un correcteur réel, on utilisera le correcteur avance de phase (figure 10).

— module : `\PDamp{Kp}{Td}`,
 — argument : `\PDarg{Kp}{Td}`
 Asymptotes

— module : `\PDampAsymp{Kp}{Td}`,
 — argument : `\PDargAsymp{Kp}{Td}`



```
\begin{tikzpicture}[xscale=7/3]
\begin{scope}[yscale=3/50]
\UnitedB
\BodeGraph[thick]{0:3}{\PDamp{2}{0.08}}
\BodeGraph[black,samples=300]{0:3}{\PDampAsymp{2}{0.08}}
\semilog{0}{3}{0}{50}
\end{scope}
\begin{scope}[yshift=-3.5cm,yscale=3/90]
\UnitedDegr
\semilog{0}{3}{0}{90}
\BodeGraph[thick]{0:3}{\PDarg{2}{0.08}}
\BodeGraph[samples=2,black,samples=201]{0:3}{\PDargAsymp{2}{0.08}}
\end{scope}
\end{tikzpicture}
```

FIGURE 10 – Correcteur PD

2.6.2 Correcteur Avance de phase

$$C_{AP}(p) = K_p \cdot \frac{1 + a \cdot T_1 \cdot p}{1 + T_1 \cdot p} \text{ (figure 11)}$$

Courbes relles

— module : `\APamp{Kp}{T1}{a}`,
 — argument : `\AParg{Kp}{Ti}{a}`

Asymptotes

— module : `\APampAsymp{Kp}{T1}{a}`,
 — argument : `\APargAsymp{Kp}{Ti}{a}`

2.6.3 Correcteur Retard de phase

$$C_{RP}(p) = K_p \cdot \frac{1 + T_1 \cdot p}{1 + a \cdot T_1 \cdot p} \text{ (figure 12)}$$

— module : `\RPamp{Kp}{T1}{a}`,
 — argument : `\RParg{Kp}{Ti}{a}`
 Asymptotes

— module : `\RPampAsymp{Kp}{T1}{a}`,
 — argument : `\RPargAsymp{Kp}{Ti}{a}`

2.6.4 Correcteur PID srie

$$C(s) = K_p \cdot \frac{1 + T_i \cdot s}{T_i \cdot s} \cdot (1 + T_d \cdot s) \text{ (figure 13)}$$

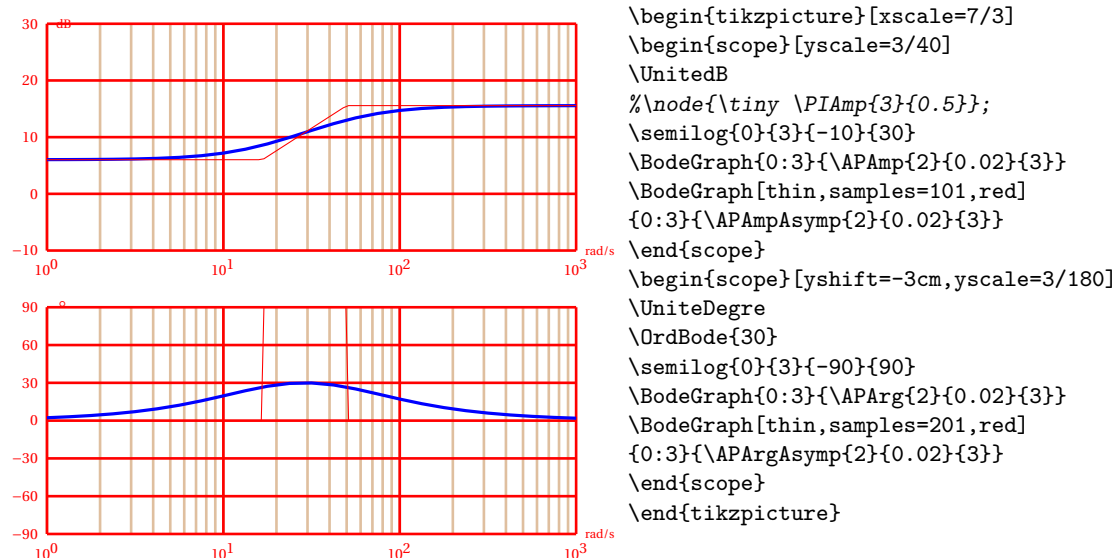


FIGURE 11 – Correcteur avance de phase

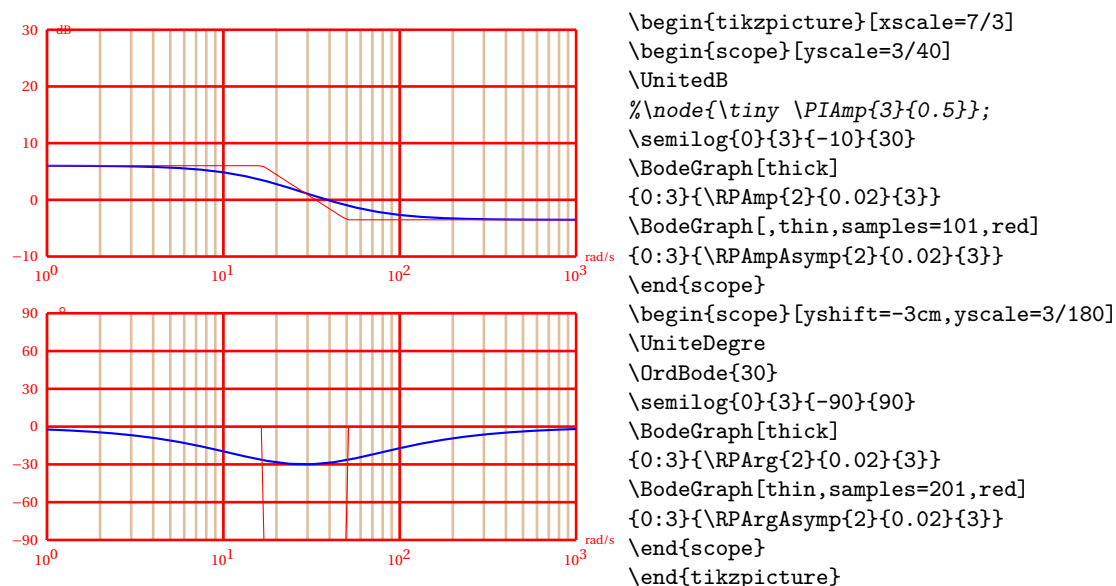


FIGURE 12 – Correcteur retard de phase

Courbes relles

- module : $\backslash\text{PIDAmp}\{K_p\}\{T_i\}\{T_d\}$,
- argument : $\backslash\text{PIDArg}\{K_p\}\{T_i\}\{T_d\}$

Asymptotes

- module : $\backslash\text{PIDAmpAsymp}\{K_p\}\{T_i\}\{T_d\}$,
- argument : $\backslash\text{PIDArgAsymp}\{K_p\}\{T_i\}\{T_d\}$

2.7 Fonctions de transfert complexe

Pour trac les diagrammes de Bode d'un fonction de transfert complexe, dfinie par le produit de fonctions lmen-
taires, il suffit de sommer les representation, aussi bien pour le trac de la fonction que pour les asymptotes.

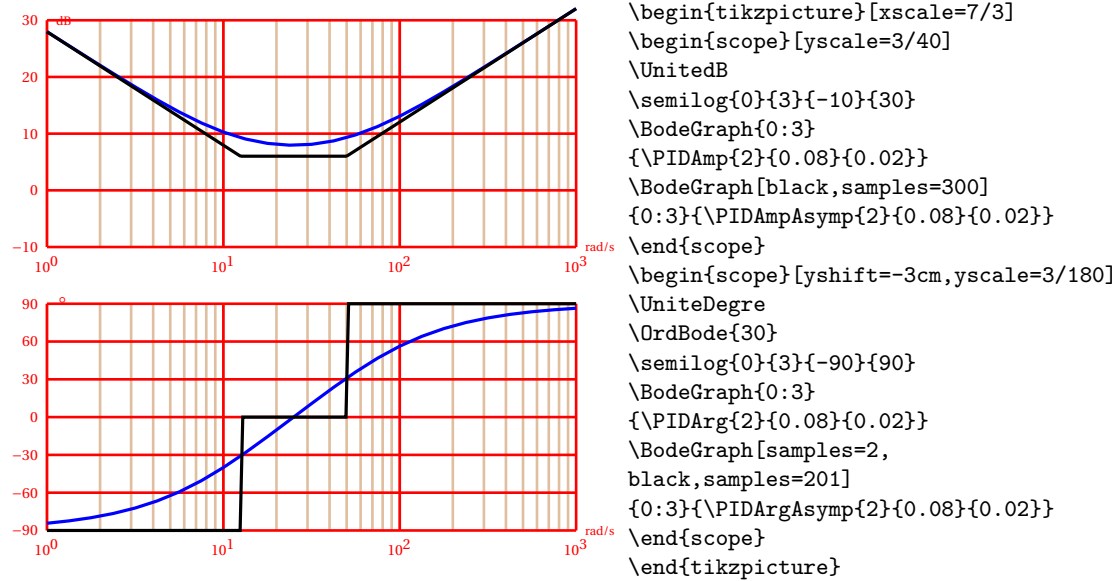


FIGURE 13 – Correcteur P.I.D srie

2.7.1 Exemples

Premier ordre + integrateur : $H(s) = \frac{8}{s \cdot (1 + 0.5 \cdot s)}$ (figure 14)

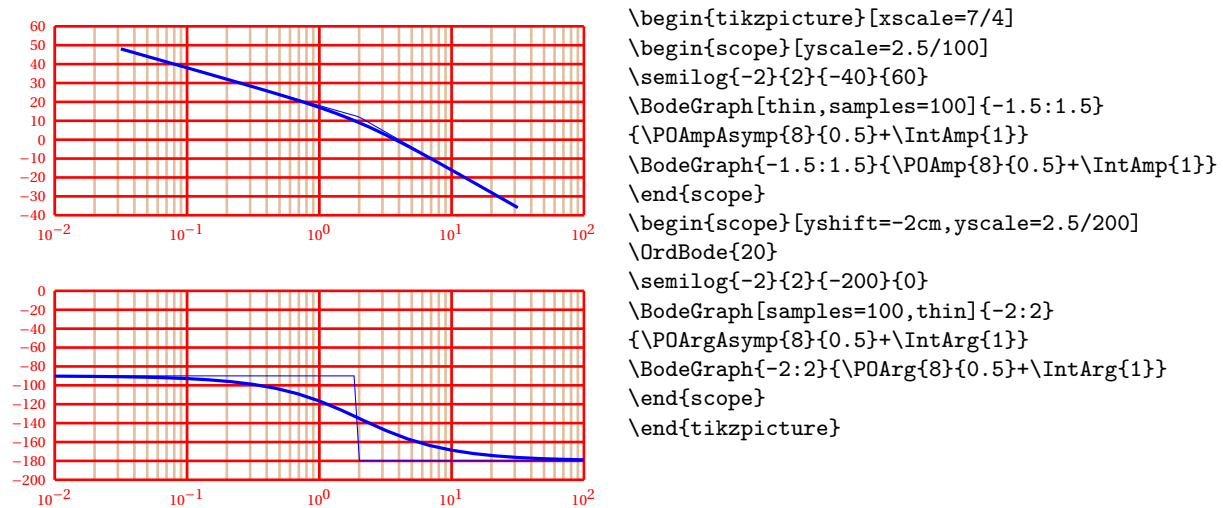
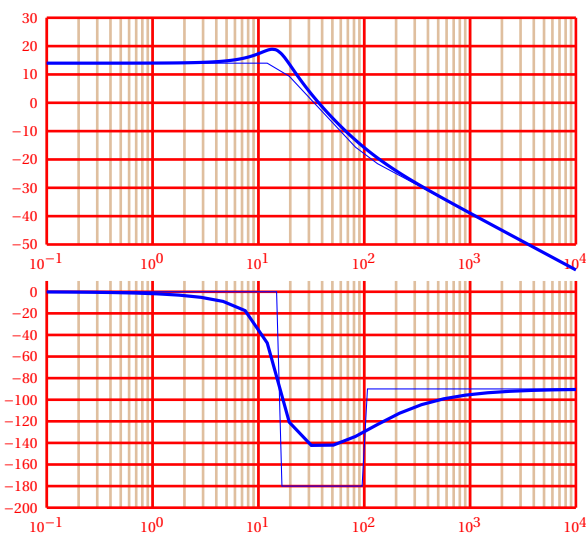


FIGURE 14 – Premier ordre + integrateur

Second ordre gnralis : $5 \cdot \frac{1 + 0.01 \cdot s}{1 + \frac{2 \cdot 0.3}{15} \cdot s + \frac{s^2}{15^2}}$ (figure 15)



```
\begin{tikzpicture}[xscale=7/5]
\begin{scope}[yscale=3/80]
\semilog{-1}{4}{-50}{30}
\BodeGraph[thin]{-1:4}
{\SOAmpAsymp{5}{0.3}{15}-\POAmpAsymp{1}{0.01}}
\BodeGraph[smooth,samples=100]{-1:4}
{\SOAmp{5}{0.3}{15}-\POAmp{1}{0.01}}
\end{scope}
\begin{scope}[yshift=-2.5cm,yscale=3/210]
\OrdBode{20}
\semilog{-1}{4}{-200}{10}
\BodeGraph[thin,samples=100]{-1:4}
{\SOArgAsymp{5}{0.3}{15}-\POArgAsymp{1}{0.01}}
\BodeGraph{-1:4}{\SOArg{5}{0.3}{15}-\POArg{1}{0.01}}
\end{scope}
\end{tikzpicture}
```

FIGURE 15 – Second ordre gnralis

3 Diagramme de Black

3.1 Lieu de Black

Trois commandes (et 3 toiles) et permettent de tracer et commenter le lieu de Black d'une fonction (figure 16).

- `\BlackGraph[options de trace]{domaine}{fonction argument,fonction module}`
 - `{domaine}`, c'est le domaine de trac au sens de GnuPlot, il est conseil de dfinir le domaine dcade (entire ou non) comme `{-1:3}`, GnuPlot va tracer la fonction pour ω compris entre 10^{-1} et 10^3 .
 - `{argument,module}`, la fonction tracer doit tre dfinie par la fonction `argument` qui retourne l'argument en $^\circ$ et la fonction `module` qui retourne le module en dB. On peut bien sur utiliser les fonctions dfinies au dessus pour les diagrammes de Bode pour ces fonctions.
 - `[options de trace]`, toutes les options tikz pour tracer des fonctions gnuplot.
- `\BlackGraph*[options de trace]{domaine}{fonction argument,fonction module}{[options]{texte}}` cette commande permet de rajouter commentaire (nom, rfrence, quation) l'extrmit d'un trac. Les paramtres sont identiques, se rajoute uniquement `{[options]{texte}}`
 - `[options]`, ce sont les options d'criture du texte (couleur, position,...),
 - `{texte}`, le texte crire entre parenthses;
- `\BlackPoint[options]{liste pulsations}{fonction argument,fonction module}` cette commande permet de tracer et noter des points particuliers du graphe, la valeur de la pulsation est place cot (droite par dfaul).
 - `[options]` options de trac (couleur, id, prefix,...),
 - `{liste pulsations}` pulsations en rad/s spares par une virgule,
 - `{fonction argument,fonction module}` identique `\BlackGraph`
- `\BlackPoint*[options]{liste pulsations}{fonction argument,fonction module}` la version toile de la commande prcdente permet de choisir la position de chaque texte, comme l'exemple `{1/right,10/left,150/above right,...}`
- `\BlackText[options]{pulsation/pos/texte}{fonction argument,fonction module}` cette commande permet de positionner un texte par rapport la courbe dfinie par `{fonction argument,fonction module}` le texte tant positionn la pulsation `pulsation`, le paramtre `pos` permet de prciser la position du texte (`right`, `above`, `below` `left`, ...). Le point est nomm `NBlack`
- `\BlackText*[options]{pulsation/pos/texte}{fonction argument,fonction module}` cette com-

mande est identique la précédente mais ne dessine pas de points.

3.1.1 styles par défaut

Le trac du diagramme de Black, de la grille et de l'abaque de Black-Nichols utilise plusieurs styles que vous pouvez modifier, avec la commande `\tikzset`.

- `Black lines/.style={very thick, blue}`: style par défaut du trac du lieu de Black;
- `Black grid/.style={ultra thin,brown!50}`: Style par défaut de la grille (commande `\BlackGrid`);
- `Black label points/.style={font=\tiny}`: style par défaut du label des points marqués (commandes `\BlackPoint` et `\BlackText`);
- `Black label axes/.style={Black grid, font=\tiny}` style par défaut des axes du diagramme;
- `Black abaque mag/.style={gray,ultra thin,dashed,smooth}`: style par défaut des contours isogains;
- `Black abaque phase/.style={gray,ultra thin,smooth}`: style par défaut des contours isoarguments;
- `ref points/.style={circle,draw, black, opacity=0.7,fill, minimum size= 2pt, inner sep=0}`: style utilisé pour marquer les points sur le diagramme.

3.2 Grille et abaque de Black-Nichols

3.2.1 grille

Une grille peut aussi être ajoutée avec la commande `\BlackGrid` qui dessine une grille dont le pas horizontal est défini par la variable `\valgridBx` (par défaut 45° que l'on change si on le souhaite par `\def\valgridBx{10}`), le pas vertical est lui défini par `\valgridBy` (par défaut 10 dB). Cette commande dessine aussi le point critique (-180° , 0 dB) et gradue les axes. La commande `\BlackGrid*`, ne dessine que la grille.

3.2.2 Abaque de Black-Nichols

`\AbaqueBlack` permet de tracer les courbes isomodule et isoargument de l'abaque de Black-Nichols (figure 17). Les seules valeurs possibles pour ces courbes de gain et d'argument sont les suivantes :

- isomodule, gain en dB : -30, -25, -20, -15, -12, -10, -8, -6, -5, -4, -3, -2, -1, -0.5, -0.2, 0, 0.2, 0.5, 1, 2, 2.3, 3, 4, 5, 6, 8, 10;
- isoargument, en $^\circ$: 359, 357, 354, 350, 345, 340, 330, 315, 300, 285, 270, 255, 240, 225, 210, 195, 190, 170, 165, 150, 135, 120, 105, 90, 75, 60, 45, 30, 20, 15, 10, 6, 3, 1.

Deux autres commandes permettent de limiter l'affichage quelques courbes :

- `\IsoModule[listdB]` cette commande permet de tracer uniquement les courbes d'amplitude de la liste `listdB`, par défaut, toutes les courbes sont dessinées.
- `\IsoArgument[listdeg]`, cette commande permet de tracer uniquement les courbes d'amplitude de la liste `listdeg`, par défaut, toutes les courbes sont tracées.

Le style des courbes tracées est modifiable l'aide des deux commandes :

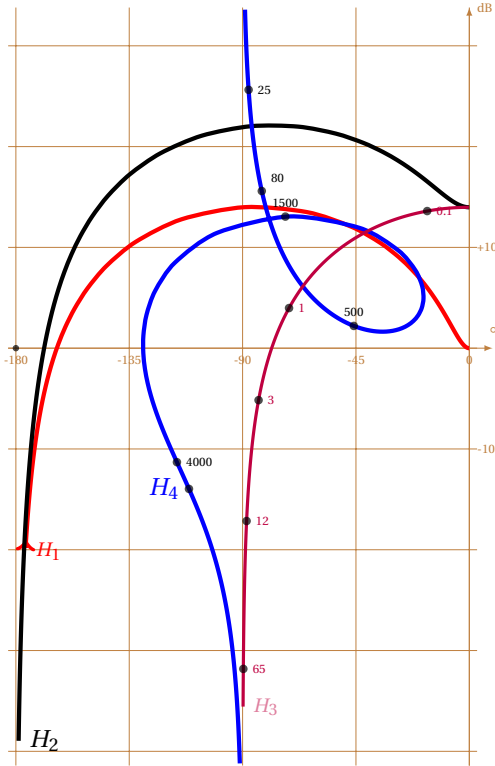
- `\StyleIsoM[couleur,paisseur, ...]` pour les courbes isomodules.
- `\StyleIsoA[couleur,paisseur, ...]` pour les courbes isoarguments.

Ces deux commandes se rajoutent aux options de style définies par défaut.

Remarque : pour ne pas trop ralentir la compilation, les courbes sont pré-calculées. Elles sont définies dans les deux fichiers `isom.txt` et `isoa.txt` (respectivement pour le module et l'argument). Si vous souhaitez ajouter de nouvelles courbes, il faut les ajouter dans ces fichiers en respectant la syntaxe.

3.3 Exemples

Sur l'exemple figure 16 sont représentées les fonctions suivantes :



```
\begin{tikzpicture}
\begin{scope}[xscale=6/180,yscale=8/60]
\BlackGraph*[samples=150,red,smooth,ultra thick,-<]
{-2:1}{\SOBlack{1}{0.1}{1500}}
{[red,right]{\footnotesize $H_1$}}
\BlackGraph*[samples=150,black,smooth,ultra thick]
{-1:3.5}{\SOArg{5}{0.2}{150},\SOAmp{5}{0.2}{150}}
{[right]{ $H_2$ }}
\BlackGraph[samples=150,blue,smooth,ultra thick]
{1:5}{\SOArg{1}{0.1}{1500}+\IntArg{0.43/0.0009}
-2*\POArg{1}{0.0009},\SOAmp{1}{0.1}{1500}+
\IntAmp{0.43/0.0009}-2*\POAmp{1}{0.0009}}
\BlackGraph*[samples=100,purple,smooth]
{-3:2}{\POArg{5}{3},\POAmp{5}{3}}
{[purple!50,right]{\footnotesize $H_3$}}

\BlackPoint[purple]{0.1,1,3,12,65}
{\POArg{5}{3},\POAmp{5}{3}}

\BlackPoint*[black]{25/right,
80/above right,500/above,1500/above,4000/right}
{\SOArg{1}{0.1}{1500}+\IntArg{0.43/0.0009}
-2*\POArg{1}{0.0009},\SOAmp{1}{0.1}{1500}+
\IntAmp{0.43/0.0009}-2*\POAmp{1}{0.0009}}

\BlackText[blue]{5000/left/{\normalsize $H_4$}}
{\SOArg{1}{0.1}{1500}+\IntArg{0.43/0.0009}
-2*\POArg{1}{0.0009},\SOAmp{1}{0.1}{1500}+
\IntAmp{0.43/0.0009}-2*\POAmp{1}{0.0009}}

\BlackGrid
\end{scope}
\end{tikzpicture}
```

FIGURE 16 – Diagramme de Black

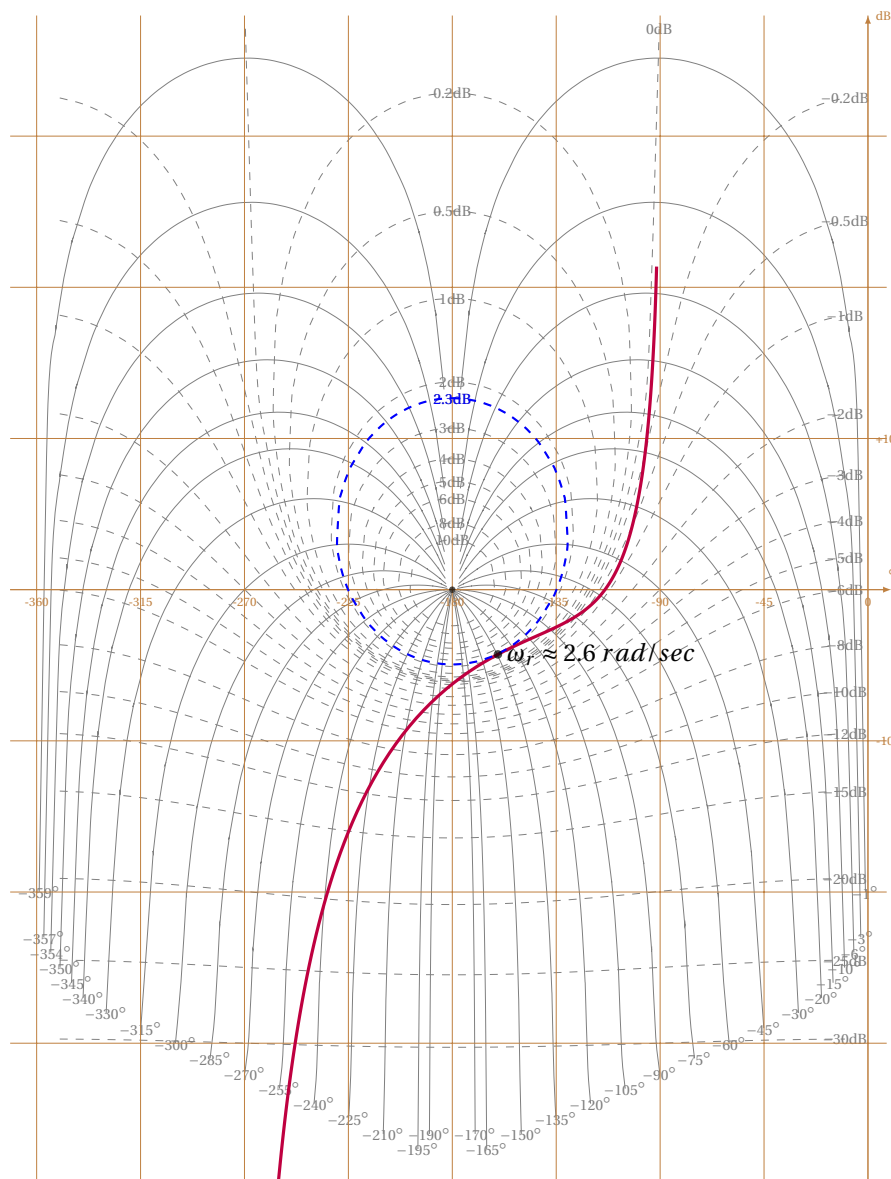
$$\begin{aligned}
- H_1(p) &= \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot 0.1}{1500} \cdot p + \frac{p^2}{1500^2}}, \\
- H_2(p) &= \frac{5}{1 + \frac{2 \cdot 0.2}{150} \cdot p + \frac{p^2}{150^2}},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
- H_3(p) &= \frac{5}{1 + 3 \cdot p}, \\
- H_4(p) &= \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot 0.1}{1500} \cdot p + \frac{p^2}{1500^2}} \cdot \frac{0.43 \cdot (1 + 0.0009 \cdot p)^2}{0.0009 \cdot p}
\end{aligned}$$

4 Diagramme de Nyquist

Le package permet aussi de tracer le diagramme de Nyquist (figure 18) d'une fonction linéaire, le trac est réalisé partir de la description polaire de la fonction de transfert $H(i \cdot \omega) = \|H(i \cdot \omega)\| \cdot e^{\arg(H(i \cdot \omega))}$. Cela permet de tracer le diagramme de Nyquist partir des définitions précédentes du module et de l'argument.

- La commande `\NyquistGraph[options]{domaine}{Module en dB}{Argument en degre}` trace donc le lieu de Nyquist de fonctions simples ou de fonctions composées (voir les exemples ci-dessous).
- [options], options de trac voir plus haut,
- {domaine}, le domaine de trac doit être défini en decade,



```

\begin{tikzpicture}
\begin{scope}
[xscale=11/360,
yscale=12/60]

\BlackGraph[samples=100,
purple,smooth]
{-1:1}{\IntArg{0.3}+
\SOArg{3.9}{0.4}{3},
\IntAmp{0.3}+
\SOAmp{3.9}{0.4}{3}}

\def\valmaxBf{-360}
%\StyleIsoM[blue!50,dashed]
%\StyleIsoA[green,thin]
\AbaqueBlack

\StyleIsoM[blue,thick]
\IsoModule[2.3]

\BlackGrid

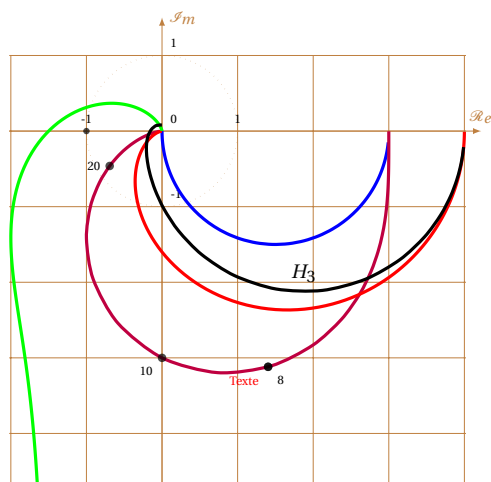
\BlackText[black]{2.6/right/
{\normalsize $\omega_r$
\approx 2.6~rad/sec$}}
{\IntArg{0.3}+
\SOArg{3.9}{0.4}{3},
\IntAmp{0.3}+
\SOAmp{3.9}{0.4}{3}}

\end{scope}
\end{tikzpicture}

```

FIGURE 17 – Abaque de Black

- {Module en dB}, le module doit être crit en dB, on peut bien sûr utiliser les fonctions lmentaires ci-dessus comme \POAmp, \SOAmp pour obtenir ce module.
- {Argument en degré}, l'argument doit être défini en degré, on peut utiliser les fonctions arguments ci-dessus comme \POArg, \SOArg.
- \NyquistGraph*[options]{domaine}{Module en dB}{Argument en degré}{[options]{texte}}, cette version toile permet de rajouter un commentaire l'extrémité du trac.
- \NyquistPoint{options}{liste pulsations}{Module en dB}{Argument en degré}, cette commande permet de tracer et noter des points particuliers du graphe, la valeur de la pulsation est placée coté (droite par défaut).
- \NyquistPoint*[options]{liste pulsations}{Module en dB}{Argument en degré}, la version toile



```
\begin{tikzpicture}
\begin{scope}
\NyquistGraph[smooth,samples=81]{-1:4}
{\POAmp{3}{0.5}}{\POArg{3}{0.5}}
\NyquistGraph[purple,smooth,samples=81,]
{-2:2}{\SOAmp{3}{0.5}{10}}{\SOArg{3}{0.5}{10}}
\NyquistGraph[red,smooth,samples=151,smooth,]
{-3:2}{\POAmp{4}{0.5}+\POAmp{1}{2}}
{\POArg{4}{0.5}+\POArg{1}{2}}
\NyquistGraph[green,samples=101,smooth,]
{0.5:2}{\SOAmp{15}{0.5}{10}+\IntAmp{1}}
{\SOArg{15}{0.5}{10}+\IntArg{1}}
\NyquistGraph[black,smooth,]{-1:2}
{\POAmp{4}{0.5}+\RetAmp{1.8}}
{\POArg{4}{0.5}+\RetArg{1.8}}

\NyquistGraph*[black,smooth,samples=2,
only marks,mark=.]{-1:0.3}
{\POAmp{4}{0.5}+\RetAmp{1.8}}
{\POArg{4}{0.5}+\RetArg{1.8}}{\[above]
{\footnotesize $H_3$}}

\NyquistPoint*[black,]{8/below right,
10/below left,20/left}
{\SOAmp{3}{0.5}{10}}{\SOArg{3}{0.5}{10}}

\NyquistText[red]{8/below left/Texte}
{\SOAmp{3}{0.5}{10}}{\SOArg{3}{0.5}{10}}
\end{scope}
\NyquistGrid

\end{tikzpicture}
```

FIGURE 18 – Diagramme de Nyquist

permet de préciser la position du point.

- `\NyquistText{options}{pulsation/pos/text}{Module en dB}{Argument en degre}` cette commande permet de positionner un texte par rapport la courbe dfinie par {fonction argument, fonction module} le texte tant positionn la pulsation pulsation, le paramtre pos permet de préciser la position du texte (right, above, below left, ...). Le point est nomm NNyquist.
- `\NyquistText*{options}{pulsation/pos/text}{Module en dB}{Argument en degre}` commande identique la prcdente mais le point n'est pas dessin.

Un grille peut tre ajoute au trac par la commande `\NyquistGrid`, par dfaut le pas de la grille est de 1 mais peut tre rgl avec les deux variables `\valgridNx` et `\valgridNy`. La commande `toile` trace la grille seule sans graduation, la commande simple trace en plus le cercle unitaire, le point critique (-1,0).

4.0.1 Styles par dfaut

Comme pour le diagramme de Black, des styles par dfaut sont propos :

- `Nyquist lines/.style={very thick, blue}` : style pour le trac du lieu de Nyquist;
- `Nyquist grid/.style={ultra thin,brown}` : style de la grille;
- `Nyquist label axes/.style={Nyquist grid,font=\tiny}` : style utilis pour les axes;

- Nyquist label points/.style={font=\tiny}, style utilis pour les points
- ref points/.style={circle,draw, black, opacity=0.7,fill, minimum size= 2pt, inner sep=0}: style utilis pour marquer les points sur le diagramme.

4.1 Quelques exemples de trac de lieu de Nyquist

Sur l'exemple figure 18 sont representes les fonctions suivantes :

$$H_1(p) = \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot 0.1}{1500} \cdot p + \frac{p^2}{1500^2}},$$

$$H_2(p) = \frac{5}{1 + \frac{2 \cdot 0.2}{150} \cdot p + \frac{p^2}{150^2}},$$

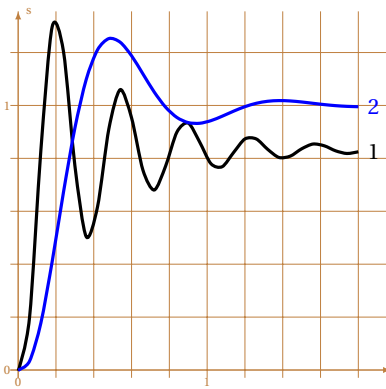
$$H_3(p) = \frac{5}{1 + 3 \cdot p},$$

$$H_4(p) = \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot 0.1}{1500} \cdot p + \frac{p^2}{1500^2}} \cdot \frac{0.43 \cdot (1 + 0.0009 \cdot p)^2}{0.0009 \cdot p}$$

5 Rponse temporelle

figure 19

- \RepTemp[options]{domaine}{fonction} trace la fonction, la fonction doit tre dfinie comme une fonction gnuplot.
- \RepTemp*[options]{domaine}{fonction}{[options]{texte}} trace la fonction et ajoute le texte l'extrmit.



```
\begin{tikzpicture}[xscale=5/2,yscale=7/2]
\RepTemp*[color=black,samples=31,smooth,
]{0:1.8}{
-.198*exp(-35.4*x)-.638*exp(-2.28*x)*cos(18.3*x)
-.462*exp(-2.28*x)*sin(18.3*x)+.833
}{[right]{\small 1}}
\RepTemp*[color=blue,samples=31,smooth
,]{0:1.8}{
1-.117*exp(-24.1*x)-.883*exp(-2.94*x)*cos(7.03*x)
-.769*exp(-2.94*x)*sin(7.03*x)
}{[right]{\small 2}}
\def\valmaxx{1.8}
\def\valmaxy{1.2}
\TempGrid[xstep=0.2,ystep=0.2]
\end{tikzpicture}
```

FIGURE 19 – Rponse temporelle

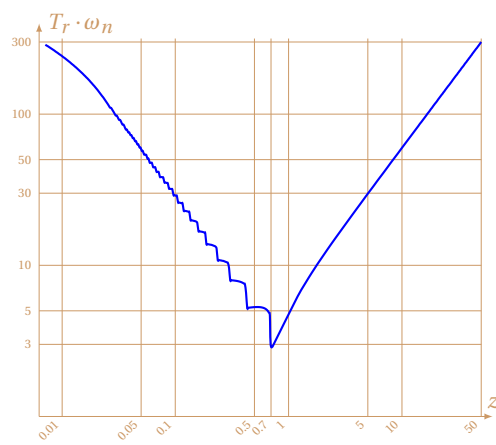
5.1 styles

Plusieurs styles sont dfinis par dfaut :

- Temp lines/.style={very thick, blue}: style du trac;
- Temp grid/.style={ultra thin,brown!80}: style de la grille;
- Temp label axes/.style={Temp grid, font=\tiny}: style des labels des axes;
- Temp label points/.style={font=\tiny}: style des points marqus.

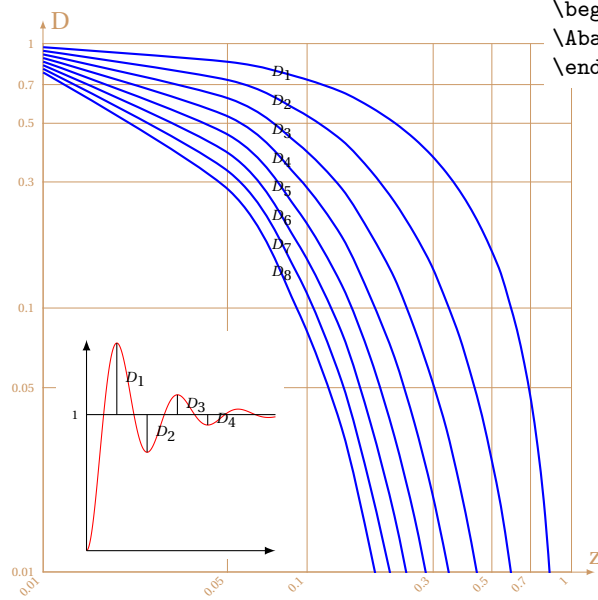
6 Abaques

6.1 Temps de rponse d'un second ordre



```
\begin{tikzpicture}[xscale=1.5,yscale=2]
\AbaqueTRsecond
\end{tikzpicture}
```

6.2 Abaque des dpassements indiciels



```
\begin{tikzpicture}[scale=7/2]
\AbaqueDepassement
\end{tikzpicture}
```