

Diagrammes de Bode, Black et Nyquist avec PGF/TIKZ

Papanicola Robert*

7 avril 2009

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

1 Présentation

Ce package permet de tracer les diagrammes de Bode, Black et Nyquist à l'aide de Gnuplot et Tikz. Les fonctions de transfert élémentaires et les correcteurs courants sont préprogrammés pour être utilisés dans les fonctions de tracé.

1.1 Nécessite

Pour fonctionner ce package nécessite :

- une version CVS de Pgf/Tikz (certaines commandes de calculs ont été modifiées ou intégrées depuis la version 2), elle peut être téléchargée sur le site Texample <http://www.texample.net/tikz/builds/>.
- que gnuplot soit installé et configuré pour être exécuté lors de la compilation de votre fichier \LaTeX (Cf. la doc de Pgf/Tikz).

1.2 Composition du package

Ce package est constitué de trois fichiers :

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

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 précalculées sont dans le répertoire /gnuplot/.

1.3 Utilisation

Décompresser l'archive du package dans votre répertoire personnel.

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

1.4 ToDo

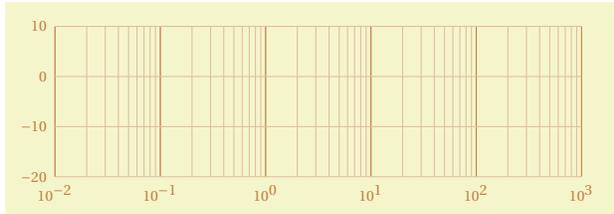
- Compléter les fonctions élémentaires,
- corriger les fotes d'orthographe,
- Traduire en anglais,
- ...

*Merci à Germain Gondor pour ses remarques

2 Les commandes

2.1 Grille semilog

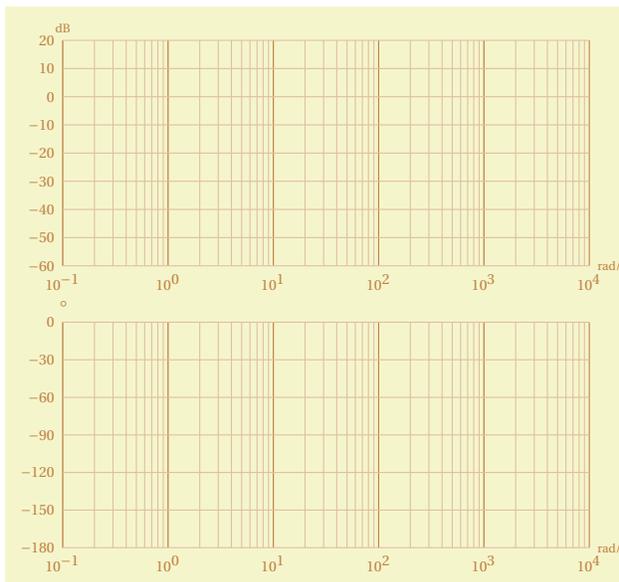
Une commande générique : `\semilog{décade mini}{décade maxi}{ymini}{ymaxi}`.



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

L'amplitude des coordonnées de l'abscisse doit être donnée en décade, de $10^{\text{decademini}}$ à $10^{\text{decademaxi}}$, l'ordonnée varie elle de y_{mini} à y_{maxi} .

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

Configuration

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

2.2 Tracé des diagrammes

Deux commandes permettent de tracer les diagrammes d'amplitude et de phase (figure 2). Ces fonctions nécessitent que gnuplot (<http://www.gnuplot.info/>) soit installé et utilisable par votre distribution L^AT_EX.

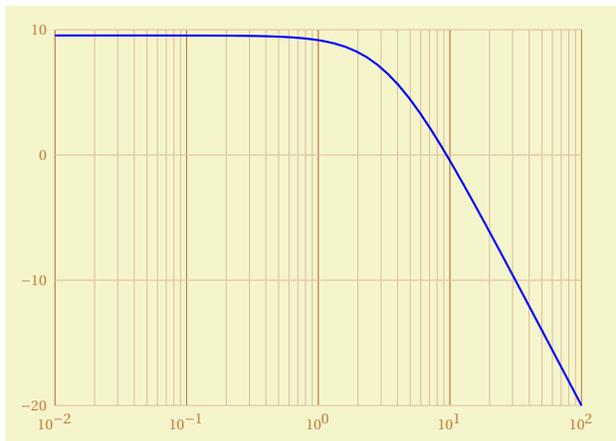
- `\BodeAmp[Options]{domain}{fonction}` pour le diagramme d'amplitude ;

- `\BodeAmp[Options]{domain}{fonction}{[options]{texte}}` réalise le tracé et ajoute le texte avec les options précisées à l'extrémité.
- `\BodeArg[Options]{domain}{fonction}` pour le diagramme de phase ;
- `\BodeArg*[Options]{domain}{fonction}{[options]{texte}}` réalise le tracé et ajoute le texte avec les options précisées à l'extrémité.

avec

- `domain` le domaine du tracé précisé en puissance de 10, ainsi pour tracer un fonction de 10^{-2} rad/s à 10^2 rad/s on notera le domaine `-2:2` ;
- `fonction` la fonction à tracé écrite avec la syntaxe gnuplot.
- `options` par défaut les options suivantes [`samples=50`, `thick`, `blue`] sont appliquées, toutes les options de tracé de tikz et de gnuplot peuvent être utilisées et substituent à celle par défaut, on notera principalement
 - spécifiques à tikz
 - la couleur, [`red`], [`blue`], ...
 - l'épaisseur [`thin`], [`thick`], ...
 - le style [`dotted`] [`dashed`], ...
 - spécifiques à gnuplot
 - le nombre de points [`samples=xxx`]
 - l'identifiant du fichier créé [`id=nomdufichier`], il est à noter que tikz, sauvegarde au premier appel de gnuplot la table des valeurs et que si celle-ci est inchangée lors d'une compilation ultérieure, tikz réutilise la table précédemment sauvée. il est donc important pour minimiser le temps de compilation de préciser un id différent pour chaque courbe, par défaut les macros sauvegardent les graphes dans des fichiers différents (incrémentatation d'un compteur), il n'est donc utile de nommer la courbe que si vous souhaitez la retrouver.
 - le répertoire de sauvegarde des tables de données [`prefix=repertoire/`] (par défaut `prefix=gnuplot/`)
 - pour les autres options, consulter la documentation de tikz.

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 séquence de commandes ci-dessous.



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

FIGURE 2 – Utilisation de BodeAmp

2.3 Fonctions de transfert élémentaires

Les fonctions de base pour tracer les diagrammes de Bode des systèmes du premier, du second ordre, et l'intégration, sont directement implémentées dans le package et les diagrammes asymptotiques.

Ces fonctions ne peuvent être utilisées seules mais combinées avec les commandes de tracé :

- `\BodeAmp[Options]{domaine}{fonction}` pour le diagramme d'amplitude ;

– `\BodeArg[Options]{domaine}{fonction}` pour le diagramme de phase ;

Le tracé des asymptotes présente un défaut à la cassure, cela est dû à la finesse du tracé avec gnuplot, pour améliorer ce tracé, il est possible d'augmenter le nombre de points à calculer (`samples=xxx`) mais cela augmente le temps de compilation.

2.3.1 Premier ordre

Deux commandes implémentent les formules permettant le tracé 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 3) :

- `\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.

Remarque : la donnée, {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.

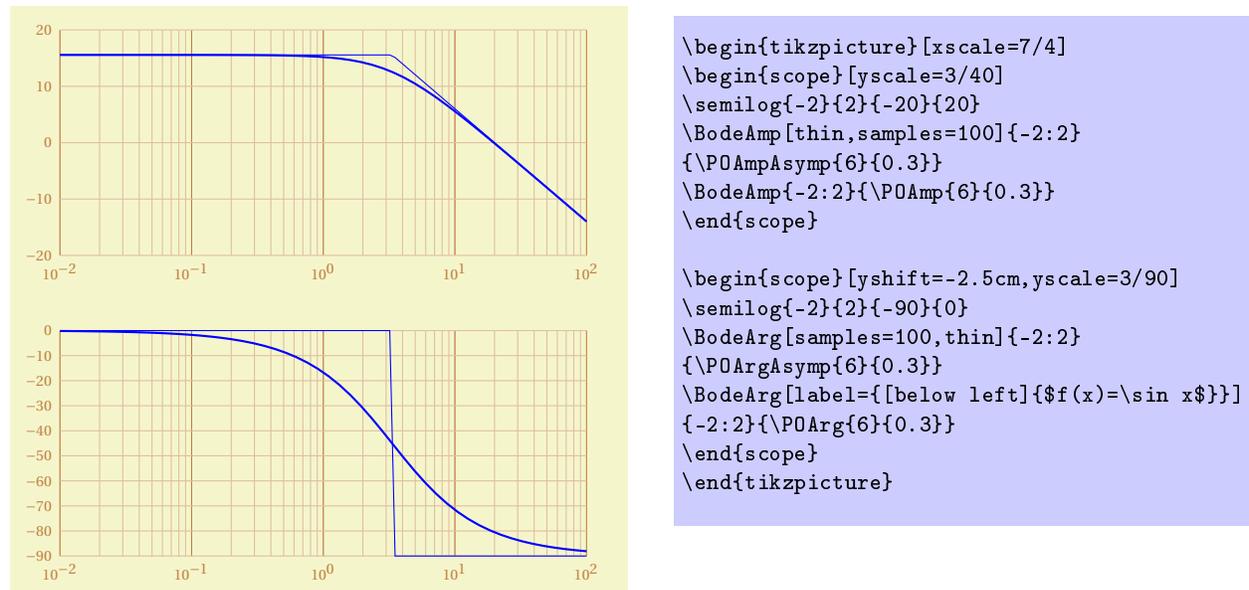
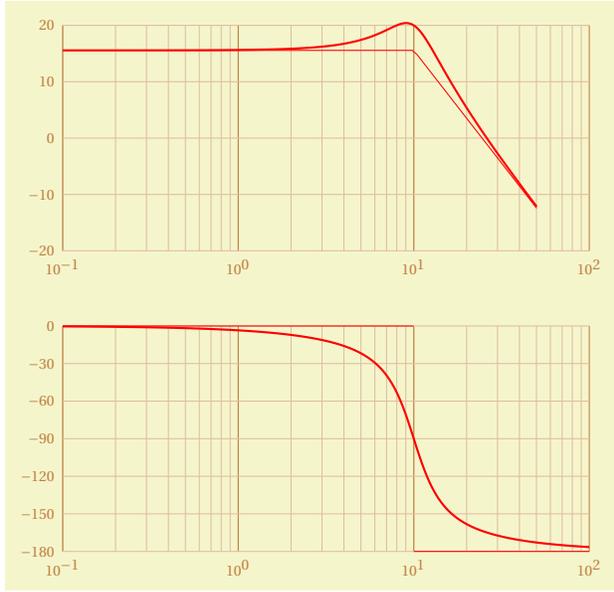


FIGURE 3 – Premier ordre

2.3.2 Second ordre

Deux commandes implémentent les formules permettant le tracé 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 tracé des asymptotes (figure 4) :

- `\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 ;
- `\SOArg{K}{z}{Wn}` pour le diagramme de phase ;
- `\SOArgAsymp{K}{z}{Wn}` pour le diagramme asymptotique de phase ;



```

\begin{tikzpicture} [xscale=7/3]
\begin{scope} [yscale=3/40]
\semilog{-1}{2}{-20}{20}
\BodeAmp[thin,samples=100,red]{-1:1.7}
{+\SOAmpAsymp{6}{0.3}{10}}
\BodeAmp[samples=100,red,smooth]{-1:1.7}
{\SOAmp{6}{0.3}{10}}
\end{scope}

\begin{scope} [yshift=-2.5cm,yscale=3/180]
\OrdBode{30}
\semilog{-1}{2}{-180}{0}
\BodeArg[samples=3,red,thin]{-1:0.999}
{\SOArgAsymp{6}{0.3}{10}}
\BodeArg[samples=3,red,thin]{1:2}
{\SOArgAsymp{6}{0.3}{10}}
\BodeArg[samples=100,red,smooth]{-1:2}
{\SOArg{6}{0.3}{10}}
\end{scope}
\end{tikzpicture}

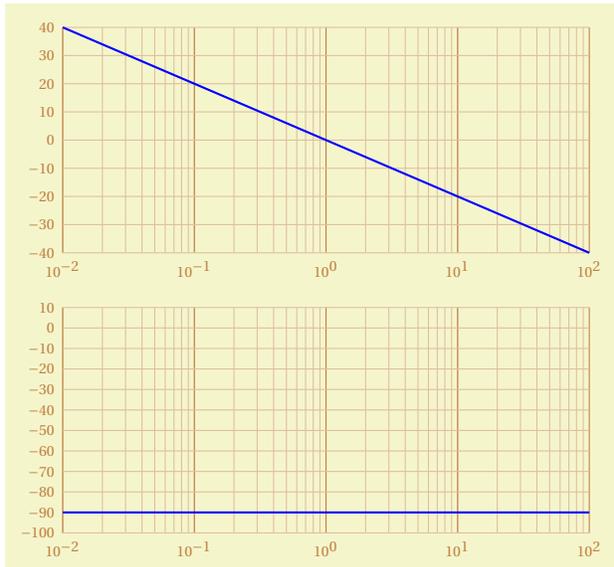
```

FIGURE 4 – Second ordre

2.3.3 Intégrateur

$$H_i(s) = \frac{K}{s} \text{ (figure 5)}$$

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



```

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

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

```

FIGURE 5 – Intégrateur

2.3.4 Gain seul

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

2.3.5 Retard

$H_r(s) = e^{-T_r \cdot s}$ (figure 6)

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

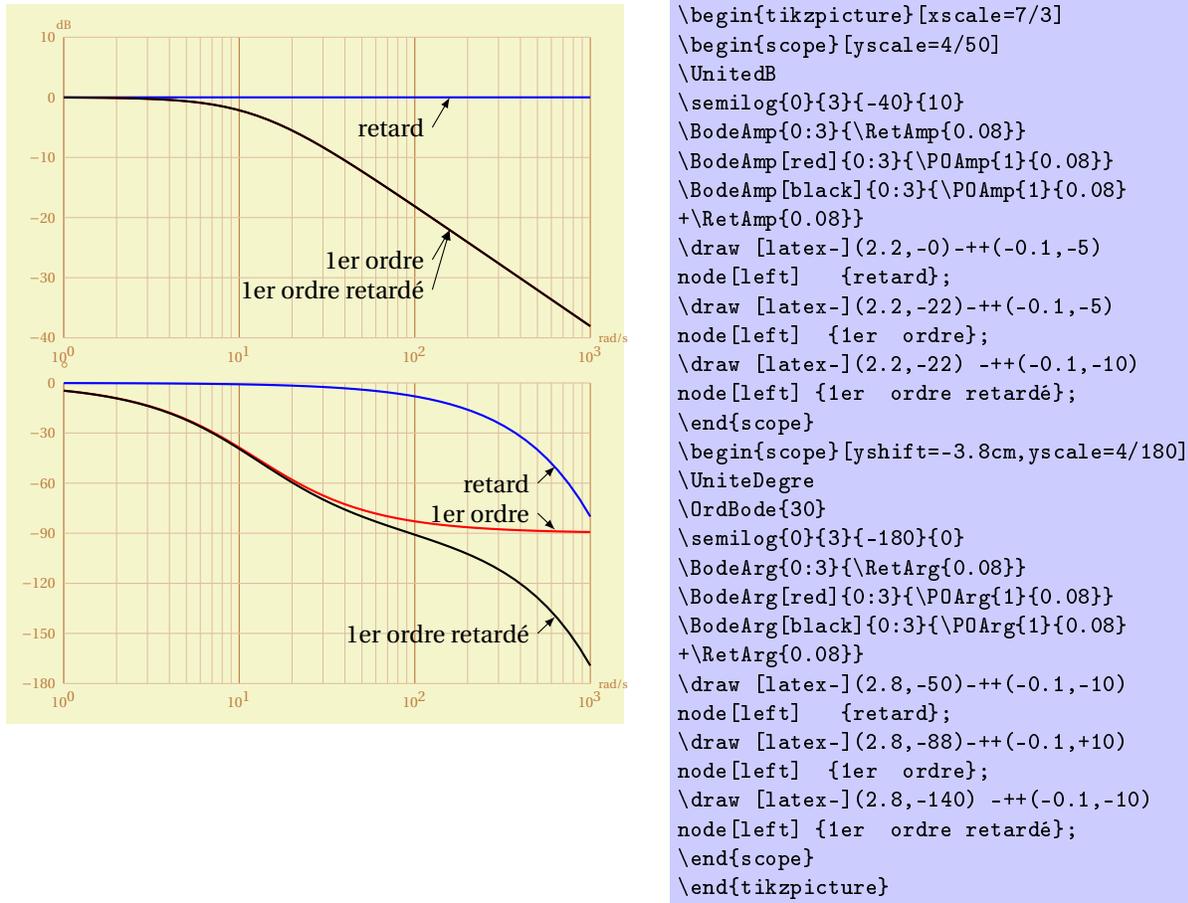


FIGURE 6 – Retard et 1er ordre

2.3.6 Premier Ordre généralisé

$H(p) = K \frac{a_1 + a_2 \cdot p}{b_1 + b_2 \cdot p}$ (figure 7)

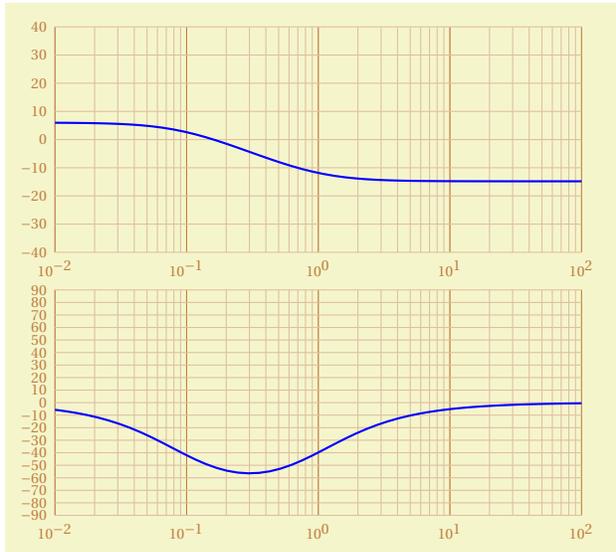
Courbes réelles

- $\backslash\text{POgAmp}\{K\}\{a1\}\{a2\}\{b1\}\{b2\}$
- $\backslash\text{POgArg}\{K\}\{a1\}\{a2\}\{b1\}\{b2\}$

Asymptotes

- $\backslash\text{POgAmpAsymp}\{K\}\{a1\}\{a2\}\{b1\}\{b2\}$
- $\backslash\text{POgArgAsymp}\{K\}\{a1\}\{a2\}\{b1\}\{b2\}$

a_1 et b_1 ne doivent pas être nuls.



```

\begin{tikzpicture}
\begin{scope}[xscale=7/4,yscale=3/80]
\semilog{-2}{2}{-40}{40}
\BodeAmp{-2:2}{\POGamp{3}{4}{5}{6}{70}}
\BodeAmp{-2:2,thin,red}
{\POGampAsymp{3}{4}{5}{6}{70}}
\end{scope}

\begin{scope}[yshift=-3.5cm,
xscale=7/4,yscale=3/180]
\semilog{-2}{2}{-90}{90}
\BodeAmp{-2:2}{\POGarg{3}{4}{5}{6}{70}}
\BodeAmp{-2:2,thin,red}
{\POGargAsymp{3}{4}{5}{6}{70}}
\end{scope}
\end{tikzpicture}

```

FIGURE 7 – Premier ordre généralisé

2.3.7 Fonctions inverses

À partir des fonctions élémentaires ci dessus il est facile de tracer les fonctions inverses en inversant uniquement le signe.

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

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

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

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

Dérivateur : $N_d(s) = s$ avec

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

2.4 Correcteurs

Les correcteurs de base sont aussi pre-programmés.

Correcteur P $C(p) = K$

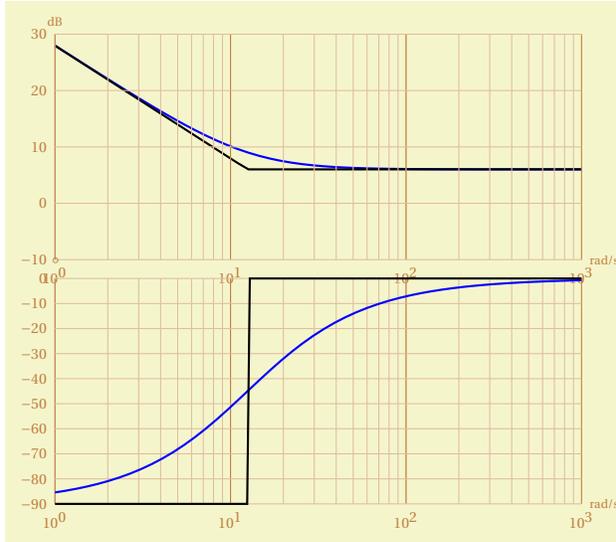
- module : `\Kamp{K}`
- argument : `\Karg{K}`¹

Correcteur PI $C(s) = K_p \cdot \frac{1 + T_i \cdot s}{T_i \cdot s}$ (figure 8)

1. commande inutile, elle retourne 0

- module : $\text{PIAmp}\{K_p\}\{T_i\}$,
 - argument : $\text{PIArg}\{K_p\}\{T_i\}$
- et les tracés asymptotiques

- module : $\text{PIAmpAsymp}\{K_p\}\{T_i\}$,
- argument : $\text{PIArgAsymp}\{K_p\}\{T_i\}$



```

\begin{tikzpicture}[xscale=7/3]
\begin{scope}[yscale=3/40]
\UnitedB
%\node{\tiny \PIAmp{3}\{0.5\}};
\BodeAmp[thick]{0:3}
{\PIAmp{2}\{0.08\}}
\BodeAmp[black]{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}
\BodeArg[thick]{0:3}
{\PIArg{2}\{0.08\}}
\BodeArg[samples=2,black
,samples=201]{0:3}\{\PIArgAsymp{2}\{0.08\}}
\end{scope}
\end{tikzpicture}

```

FIGURE 8 – Correcteur PI

2.4.1 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 à avance de phase (figure 9).

- module : $\text{PDamp}\{K_p\}\{T_d\}$,
 - argument : $\text{PDArg}\{K_p\}\{T_d\}$
- Asymptotes

- module : $\text{PDampAsymp}\{K_p\}\{T_d\}$,
- argument : $\text{PDArgAsymp}\{K_p\}\{T_d\}$

2.4.2 Correcteur à Avance de phase

$$C_{AP}(p) = K_p \cdot \frac{1 + a \cdot T_1 \cdot p}{1 + T_1 \cdot p} \text{ (figure 10)}$$

Courbes réelles

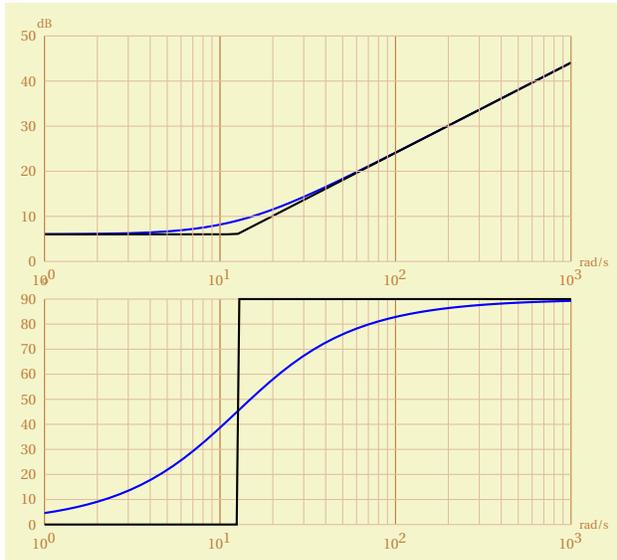
- module : $\text{APamp}\{K_p\}\{T_1\}\{a\}$,
- argument : $\text{AParg}\{K_p\}\{T_1\}\{a\}$

Asymptotes

- module : $\text{APampAsymp}\{K_p\}\{T_1\}\{a\}$,
- argument : $\text{APargAsymp}\{K_p\}\{T_1\}\{a\}$

2.4.3 Correcteur à Retard de phase

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

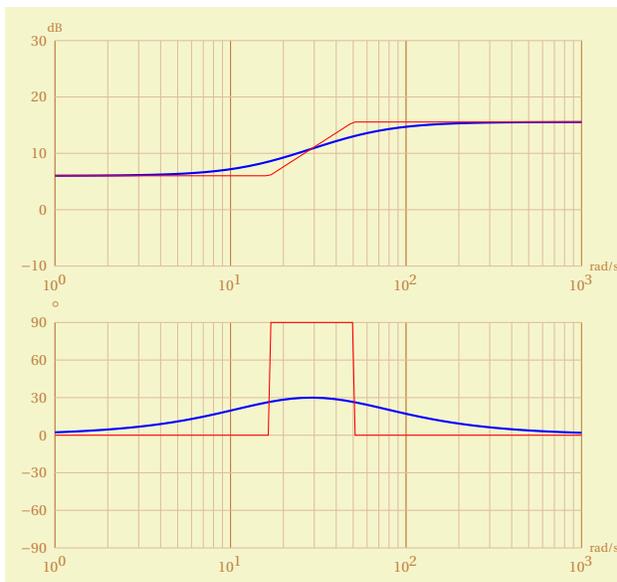


```

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

```

FIGURE 9 – Correcteur P.D



```

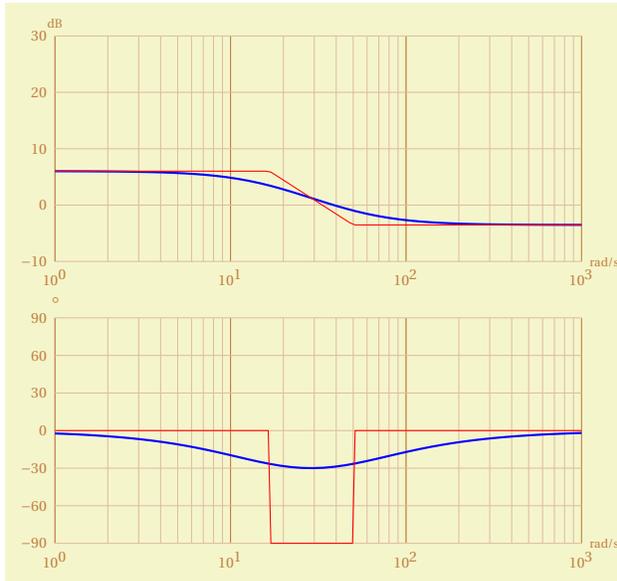
\begin{tikzpicture} [xscale=7/3]
\begin{scope} [yscale=3/40]
\UnitedB
% \node{\tiny \PIamp{3}{0.5}};
\semilog{0}{3}{-10}{30}
\BodeAmp[thick]
{0:3}{\APamp{2}{0.02}{3}}
\BodeAmp[thin,samples=101,red]
{0:3}{\APampAsymp{2}{0.02}{3}}
\end{scope}
\begin{scope} [yshift=-3cm,yscale=3/180]
\UnitedDegre
\OrdBode{30}
\semilog{0}{3}{-90}{90}
\BodeArg[thick]
{0:3}{\AParg{2}{0.02}{3}}
\BodeArg[,thin,samples=201,red]
{0:3}{\APargAsymp{2}{0.02}{3}}
\end{scope}
\end{tikzpicture}

```

FIGURE 10 – Correcteur avance de phase

– module : $\backslash\text{RPamp}\{K_p\}\{T_1\}\{a\}$,
– argument : $\backslash\text{RParg}\{K_p\}\{T_1\}\{a\}$
Asymptotes

– module : $\backslash\text{RPampAsymp}\{K_p\}\{T_1\}\{a\}$,
– argument : $\backslash\text{RPargAsymp}\{K_p\}\{T_1\}\{a\}$



```

\begin{tikzpicture} [xscale=7/3]
\begin{scope} [yscale=3/40]
\UnitedB
%\node{\tiny \PIAmp{3}{0.5}};
\semilog{0}{3}{-10}{30}
\BodeAmp[thick]
{0:3}{\RPAmp{2}{0.02}{3}}
\BodeAmp[,thin,samples=101,red]
{0:3}{\RPAmpAsymp{2}{0.02}{3}}
\end{scope}
\begin{scope} [yshift=-3cm,yscale=3/180]
\UniteDegre
\OrdBode{30}
\semilog{0}{3}{-90}{90}
\BodeArg[thick]
{0:3}{\RPArg{2}{0.02}{3}}
\BodeArg[thin,samples=201,red]
{0:3}{\RPArgAsymp{2}{0.02}{3}}
\end{scope}
\end{tikzpicture}

```

FIGURE 11 – Correcteur retard de phase

2.4.4 Correcteur PID série

$$C(s) = K_p \cdot \frac{1 + T_i \cdot s}{T_i \cdot s} \cdot (1 + T_d \cdot s) \text{ (figure 12)}$$

Courbes réelles

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

Asymptotes

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

2.5 Fonctions de transfert complexe

Pour tracer les diagrammes de Bode d’une fonction de transfert complexe, définie par le produit de fonctions élémentaires, il suffit de sommer les représentations, aussi bien pour le tracé de la fonction que pour les asymptotes.

2.5.1 Exemples

Premier ordre + intégrateur : $H(s) = \frac{8}{s \cdot (1 + 0.5 \cdot s)}$ (figure 13)

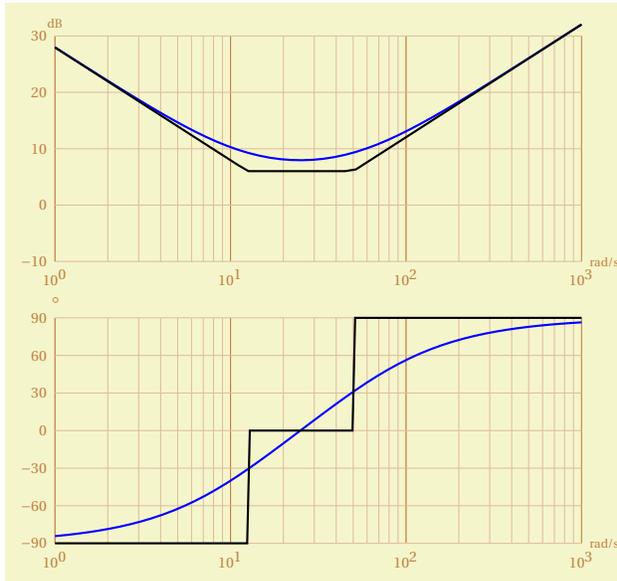
Second ordre généralisé : $5 \cdot \frac{1 + 0.01 \cdot s}{1 + \frac{2 \cdot 0.3}{15} \cdot s + \frac{s^2}{15^2}}$ (figure 14)

3 Diagramme de Black

3.1 Lieu de Black

Deux commandes permettent de tracer le lieu de Black d’une fonction (figure 15).

- $\text{\BlackGraph}[\text{options de trace}]\{\text{domaine}\}\{\text{fonction argument, fonction module}\}$

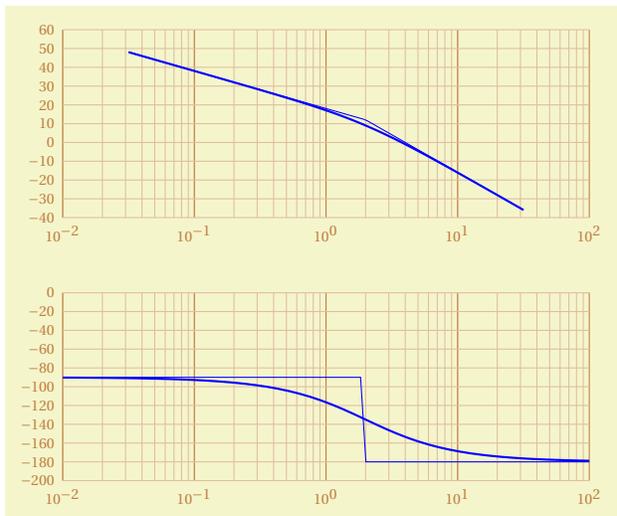


```

\begin{tikzpicture} [xscale=7/3]
\begin{scope} [yscale=3/40]
\UnitedB
\semilog{0}{3}{-10}{30}
\BodeAmp[thick]
{0:3}{\PIDAmp{2}{0.08}{0.02}}
\BodeAmp[black]
{0:3}{\PIDAmpAsymp{2}{0.08}{0.02}}
\end{scope}
\begin{scope} [yshift=-3cm, yscale=3/180]
\UniteDegre
\OrdBode{30}
\semilog{0}{3}{-90}{90}
\BodeArg[thick]
{0:3}{\PIDArg{2}{0.08}{0.02}}
\BodeArg[samples=2,
black, samples=201]
{0:3}{\PIDArgAsymp{2}{0.08}{0.02}}
\end{scope}
\end{tikzpicture}

```

FIGURE 12 – Correcteur P.I.D série



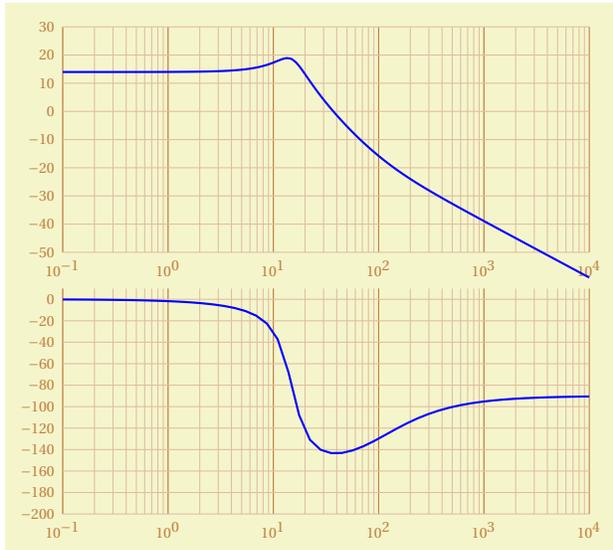
```

\begin{tikzpicture} [xscale=7/4]
\begin{scope} [yscale=2.5/100]
\semilog{-2}{2}{-40}{60}
\BodeAmp[thin, samples=100] {-1.5:1.5}
{\POAmpAsymp{8}{0.5}+\IntAmp{1}}
\BodeAmp[-1.5:1.5]{\POAmp{8}{0.5}+\IntAmp{1}}
\end{scope}
\begin{scope} [yshift=-2cm, yscale=2.5/200]
\OrdBode{20}
\semilog{-2}{2}{-200}{0}
\BodeArg[samples=100, thin] {-2:2}
{\POArgAsymp{8}{0.5}+\IntArg{1}}
\BodeArg[-2:2]{\POArg{8}{0.5}+\IntArg{1}}
\end{scope}
\end{tikzpicture}

```

FIGURE 13 – Premier ordre + intégrateur

- `{domaine}`, c'est le domaine de tracé au sens de GnuPlot, il est conseillé de définir le domaine décade (entière ou non) comme `{-1:3}`, GnuPlot va tracer la fonction pour ω compris entre 10^{-1} et 10^3 .
- `{argument, module}`, la fonction à tracer doit être définie 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 définies 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, référence, équation) à l'extrémité d'un tracé. Les paramètres sont identiques, se rajoute uniquement `{[options]{texte}}`



```

\begin{tikzpicture} [xscale=7/5]
\begin{scope} [yscale=3/80]
\semilog{-1}{4}{-50}{30}
\BodeAmp[thin]{-1:4}
{\SOAmpAsymp{5}{15}-\POAmpAsymp{1}{0.01}}
\BodeAmp[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}
\BodeArg[thin,samples=100]{-1:4}
{\SOArgAsymp{5}{15}-\POArgAsymp{1}{0.01}}
\BodeArg[-1:4]{\SOArg{5}{0.3}{15}-\POArg{1}{0.01}}
\end{scope}
\end{tikzpicture}

```

FIGURE 14 – Second ordre généralisé

- [options], ce sont les options d'écriture du texte (couleur, position,...),
- {texte}, le texte à écrire entre parenthèses ;
- \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 placée à côté (droite par défaut).
- [options] options de tracé (couleur, id, prefix,...),
- {liste pulsations} pulsations en rad/s séparées par une virgule,
- {fonction argument,fonction module} identique à \BlackGraph
- \BlackPoint*[options]{liste pulsations}{fonction argument,fonction module} la version étoilée de la commande précédente permet de choisir la position de chaque texte, comme l'exemple {1/right,10/left,150/above ri

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 définie 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 étoilée \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 16).

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 ° : 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 à 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[listedeg]`, cette commande permet de tracer uniquement les courbes d'amplitude de la liste `listedeg`, par défaut, toutes les courbes sont tracées.

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

- `\StyleIsoM[couleur,épaisseur, ...]` pour les courbes isomodules.

- `\StyleIsoA[couleur,épaisseur, ...]` pour les courbes isoarguments.

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

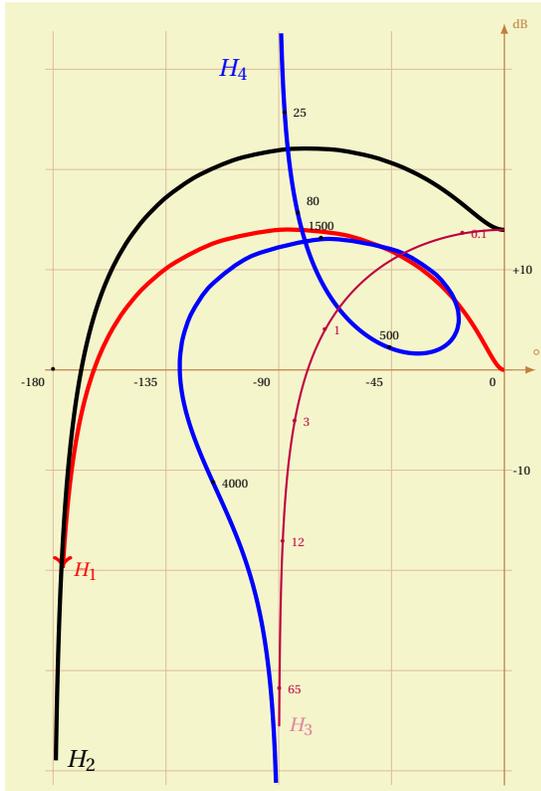
Sur l'exemple figure 15 sont représentées les fonctions suivantes :

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

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

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

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

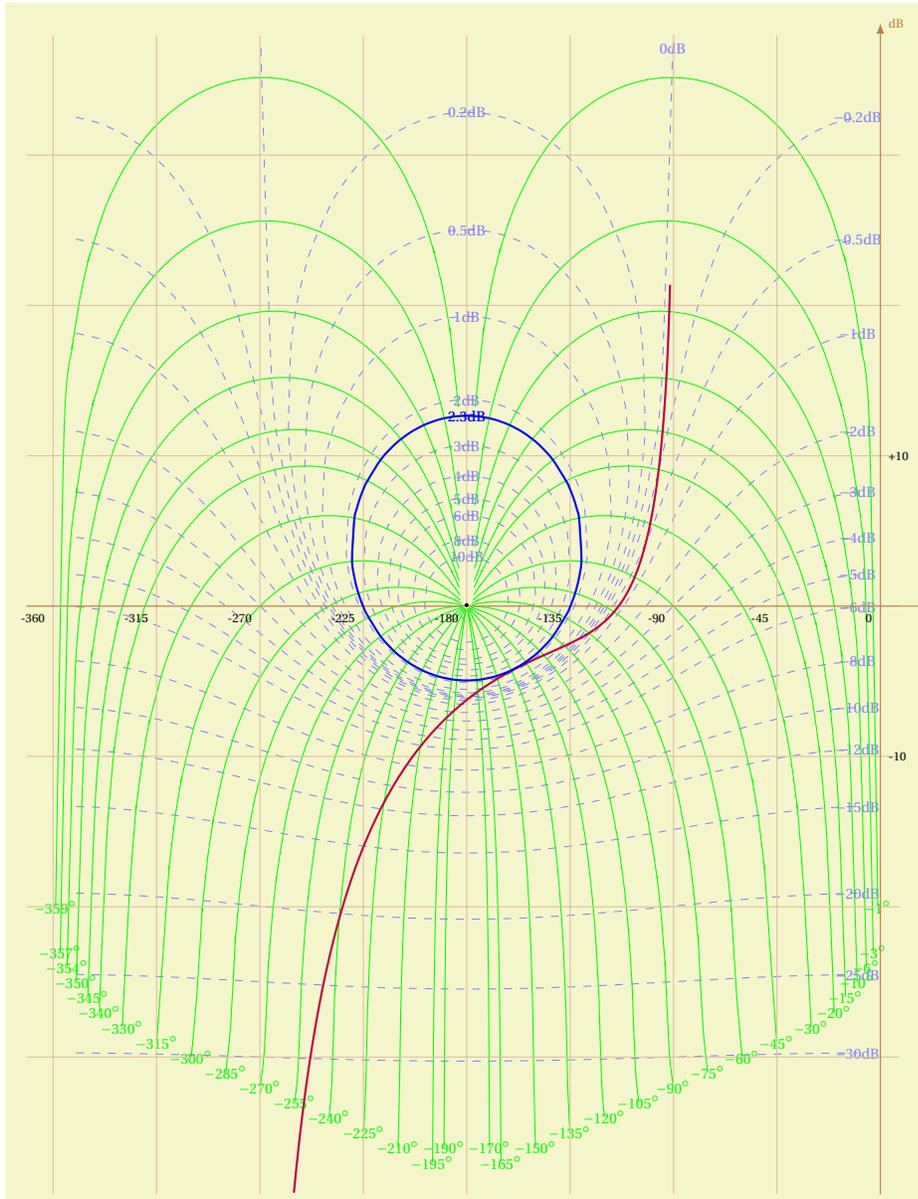


```
\begin{tikzpicture}
\begin{scope}[xscale=6/180,yscale=8/60]
\BlackGraph*[samples=150,red,smooth,ultra thick,-<]
{-2:1}{\SOBlack{1}{0.1}{1500}}
{[red,right]{\footnotesize $H_1$}}
\BlackGraph*[samples=150,black,smooth,ultra thick]
{-1:3.5}{\SOArg{5}{0.2}{150},\SOAmp{5}{0.2}{150}}
{[right]{$H_2$}}
\BlackGraph*[samples=150,blue,smooth,ultra 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}}
{[left] at (-98,30){$H_4$}}
\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}}
\BlackGrid
\end{scope}
\end{tikzpicture}
```

FIGURE 15 – Diagramme de Black



```

\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

\end{scope}
\end{tikzpicture}

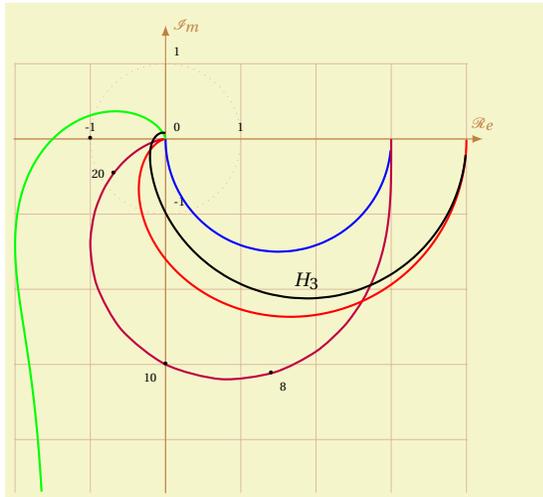
```

FIGURE 16 – Abaque de Black

4 Diagramme de Nyquist

Ce package permet aussi de tracer le diagramme de Nyquist (figure 17) d'une fonction linéaire, le tracé est réalisé à 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 à 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 tracé voir plus haut,
 - {domaine}, le domaine de tracé doit être défini en décade,



```

\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}}
\end{scope}
\NyquistGrid
\end{tikzpicture}

```

FIGURE 17 – Diagramme de Nyquist

- {Module en dB}, le module doit être écrit en dB, on peut bien sûr utiliser les fonctions élémentaires ci-dessus comme `\POamp`, `\SOamp` pour obtenir ce module.
- {Argument en degre}, l'argument doit être définie en degré, on peut utiliser les fonctions arguments ci-dessus comme `\POArg`, `\SOArg`.
- `\NyquistGraph*[options]{domaine}{Module en dB}{Argument en degre}[[options]{texte}}`, cette version étoilée permet de rajouter un commentaire à l'extrémité du tracé.
- `\NyquistPoint{options}{liste pulsations}{Module en dB}{Argument en degre}`, cette commande permet de tracer et noter des points particuliers du graphe, la valeur de la pulsation est placée à coté (droite par défaut).
- `\NyquistPoint*{options}{liste pulsations}{Module en dB}{Argument en degre}`, la version étoilée permet de préciser la position du point.

Un grille peut être ajoutée au tracé par la commande `\NyquistGrid`, par défaut le pas de la grille est de 1 mais peut être réglé avec les deux variables `\valgridNx` et `\valgridNy`. La commande étoilée trace la grille seule sans graduation, la commande simple trace en plus le cercle unitaire, le point critique (-1,0).

4.1 Quelques exemples de tracé de lieu de Nyquist

Sur l'exemple figure 17 sont représentées les fonctions suivantes :

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

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

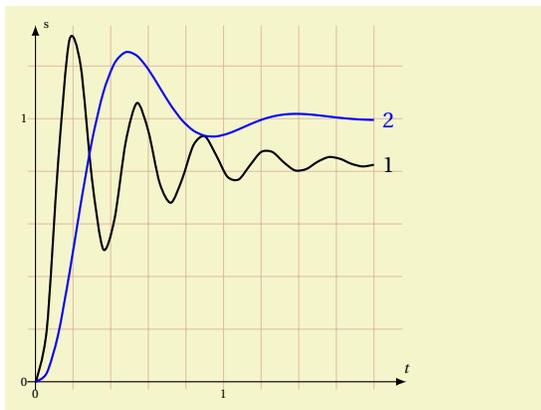
$$- H_3(p) = \frac{5}{1 + 3 \cdot p},$$

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

5 Réponse temporelle

figure 18

- `\RepTemp[options]{domaine}{fonction}` trace la fonction, la fonction doit être définie comme une fonction gnuplot.
- `\RepTemp*[options]{domaine}{fonction}{[options]{texte}}` trace la fonction et ajoute le texte à l'extrémité.



```
\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 18 – Réponse temporelle

Table des matières

1	Présentation	1
1.1	Nécessite	1
1.2	Composition du package	1
1.3	Utilisation	1
1.4	ToDo	1
2	Les commandes	2
2.1	Grille semilog	2
2.2	Tracé des diagrammes	2
2.3	Fonctions de transfert élémentaires	3
2.3.1	Premier ordre	4
2.3.2	Second ordre	4
2.3.3	Intégrateur	5
2.3.4	Gain seul	6
2.3.5	Retard	6
2.3.6	Premier Ordre généralisé	6
2.3.7	Fonctions inverses	7
2.4	Correcteurs	7
2.4.1	Correcteur PD	8
2.4.2	Correcteur à Avance de phase	8
2.4.3	Correcteur à Retard de phase	8
2.4.4	Correcteur PID série	10
2.5	Fonctions de transfert complexe	10
2.5.1	Exemples	10
3	Diagramme de Black	10
3.1	Lieu de Black	10
3.2	Grille et abaque de Black-Nichols	12
3.2.1	grille	12
3.2.2	Abaque de Black-Nichols	12
3.3	Exemples	13
4	Diagramme de Nyquist	14
4.1	Quelques exemples de tracé de lieu de Nyquist	15
5	Réponse temporelle	16