Chapitre 09 - Diagramme de Bode d'un système linéaire

Activités et applications

❖ Gain en décibel d'un système en RSF :

On étudie un système : à l'entrée, le signal tension est sinusoïdal alternatif, de fréquence f et d'amplitude E. A l'aide d'un oscilloscope, le technicien relève la valeur de l'amplitude U_m du signal de sortie.

1. Pour chaque fréquence du signal d'entrée, déterminer la valeur de l'amplification T et la valeur du gain en décibel du système étudié :

$f(Hz)$	$E\ (V)$	$U_m\ (V)$	$Amplification\ T$	Gain en décibel G_{dB}	Amplificateur ? Passeur ? Atténuateur ?
10	3,00	$3{,}00 \times 10^{-3}$	$T = \frac{U_m}{E}$ $T = \frac{3{,}00 \times 10^{-3}}{3{,}00}$ $T = 1{,}00 \times 10^{-3}$	$G_{dB} = 20 \times \log\left(\frac{U_m}{E}\right)$ $G_{dB} = 20 \times \log\left(\frac{3{,}00 \times 10^{-3}}{3{,}00}\right)$ $G_{dB} = -60{,}0\ dB$	Atténuateur
100	3,00	$3{,}00 \times 10^{-2}$	$T = 1{,}00 \times 10^{-2}$	$G_{dB} = -40{,}0\ dB$	Atténuateur
500	3,00	$\frac{3{,}00}{\sqrt{2}} = 2{,}12$	$T = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}707$	$G_{dB} = -3{,}00\ dB$	Atténuateur
5000	3,00	3,00	$T = 1{,}00$	$G_{dB} = 0\ dB$	Passeur

2. En déduire la nature du filtrage réalisé par le système.

Le système atténue les basses fréquences et laisse passer les hautes fréquences : c'est donc un filtre passe-haut.

3. Quelle est la valeur du gain en décibel lorsque l'amplitude du signal est divisée par $\sqrt{2}$ entre l'entrée et la sortie ?

Lorsque l'amplitude du signal est divisée par $\sqrt{2}$, le gain G_{dB} vaut $-3\ dB$.

4. De combien de décibel varie le gain, lorsque l'amplitude du signal de sortie U_m est divisée par $\sqrt{2}$?

Lorsque l'amplitude du signal de sortie U_m est divisée par $\sqrt{2}$, le gain G_{dB} varie de $-3\ dB$.

Le technicien étudie à présent un nouveau système et procède de façon identique.

5. A l'aide de la formule suivante $G_{dB} = 10 \times \log\left(\frac{P_s}{P_e}\right)$, déterminer la valeur du gain en décibel du système étudié, pour les fréquences du signal d'entrée suivantes :

$f(Hz)$	$P_e\ (W)$	$P_s\ (W)$	Gain en décibels G_{dB}	Amplificateur ? Passeur ? Atténuateur ?
10	1,00	5,00	$G_{dB} = 10 \times \log\left(\frac{P_s}{P_e}\right)$ $G_{dB} = 10 \times \log\left(\frac{5,00}{1,00}\right)$ $G_{dB} = 7,00\ dB$	Amplificateur
100	1,00	5,00	$G_{dB} = 7,00\ dB$	Amplificateur
500	1,00	2,50	$G_{dB} = 4,00\ dB$	Amplificateur
1500	1,00	0,500	$G_{dB} = -3,00\ dB$	Atténuateur
5000	1,00	$1,00 \times 10^{-3}$	$G_{dB} = -30,0\ dB$	Atténuateur

6. En déduire la nature du filtrage réalisé par le système.

Le système amplifie les basses fréquences et atténue les hautes fréquences : c'est donc un filtre passe-bas.

7. Quelle est la valeur du gain en décibel lorsque la puissance active du signal est divisée par 2 entre l'entrée et la sortie ?

Lorsque la puissance active du signal est divisée par 2, le gain G_{dB} vaut $-3\ dB$.

8. De combien de décibel varie le gain, lorsque la puissance du signal de sortie P_s est divisée par 2 ?

Lorsque la puissance du signal de sortie P_s est divisée par 2, le gain G_{dB} varie de $-3\ dB$.

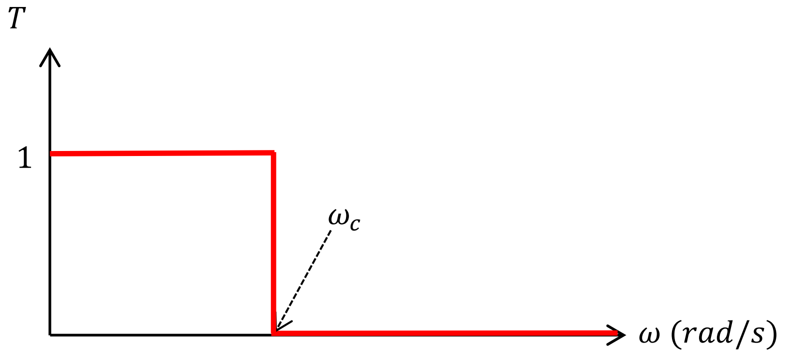
- **Exemple d'un système passe-bas idéal, ayant pour amplification statique $T_0 = 1$:**

Un système passe-bas, **idéal** ayant $T_0 = 1$ laisse passer les signaux sinusoïdaux alternatifs « de basses fréquences/pulsations » (ceux dont la pulsation est inférieure à la pulsation de coupure ω_c du système) : pour chacune de ces pulsations, $U_m = E$ donc $T = \frac{U_m}{E} = 1$

Un système passe-bas, **idéal** ayant $T_0 = 1$ coupe parfaitement les signaux sinusoïdaux alternatifs « de hautes fréquences/pulsations » (ceux dont la pulsation est supérieure à la pulsation de coupure ω_c du système) : pour chacune de ces pulsations, $U_m = 0\ V$ donc $T = \frac{U_m}{E} = 0$

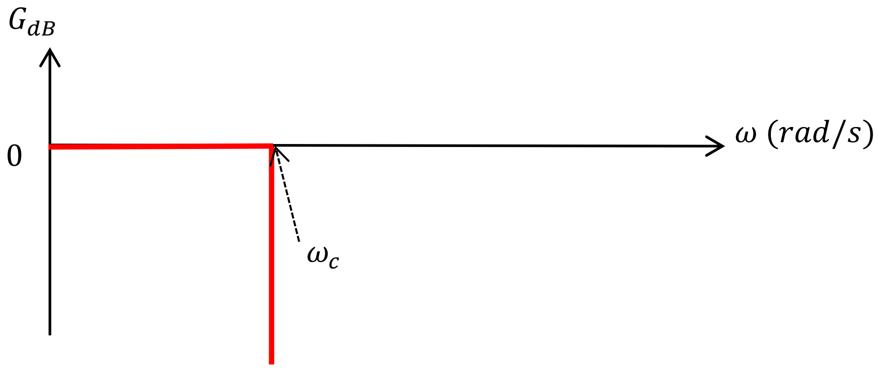
Tracé de $T(\omega)$:

Le tracé de $T = \frac{U_m}{E}$ en fonction de la pulsation ω du signal d'entrée pour ce système donne :



Tracé de $G_{dB}(\omega)$:

Le tracé de $G_{dB}(\omega)$ en fonction de la pulsation ω du signal d'entrée pour ce système donne :

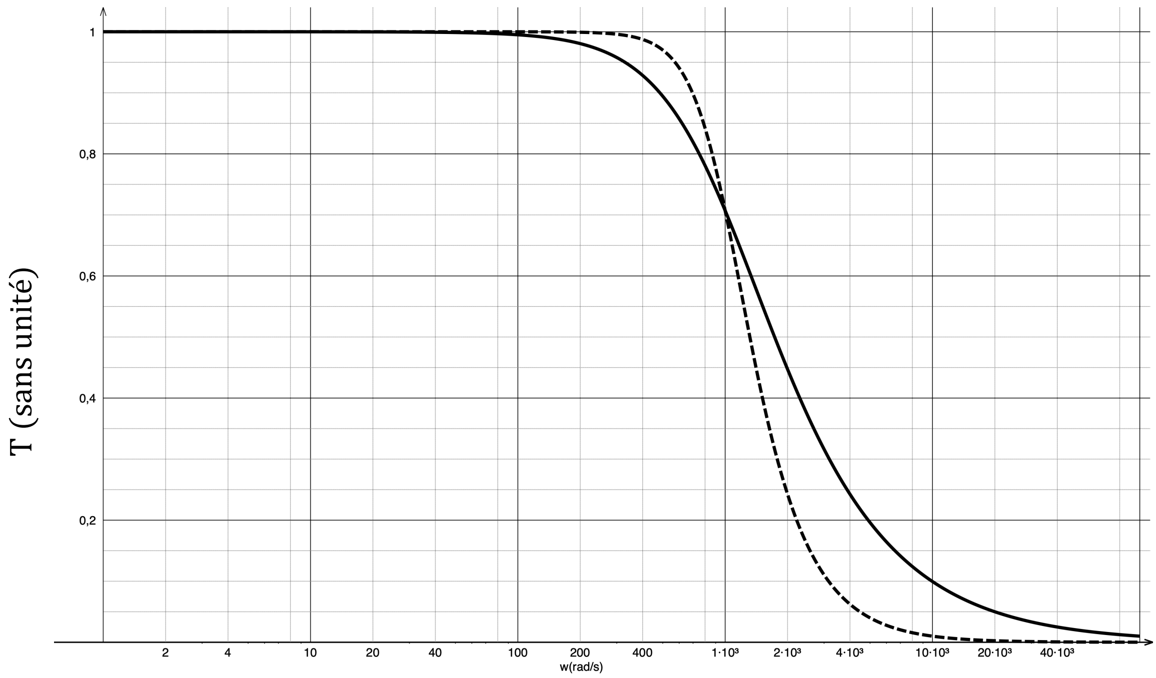


Si les filtres passe-bas ayant $T_0 = 1$ étaient idéaux, seules deux valeurs de G_{dB} seraient possibles :

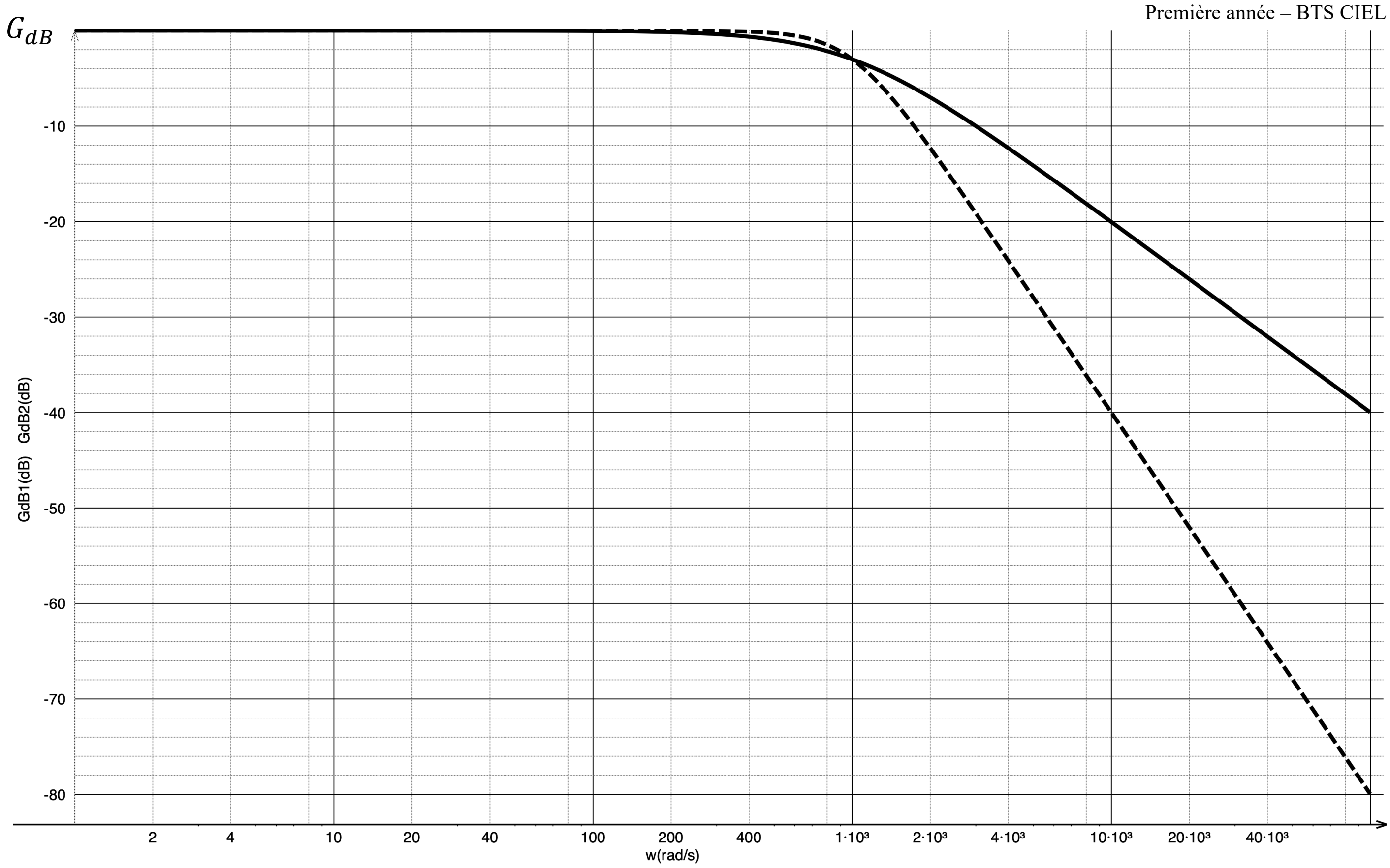
- $G_{dB} = 0\ dB$ pour les signaux sinusoïdaux alternatifs de « basses fréquences »
- G_{dB} tend vers $-\infty$ pour les signaux sinusoïdaux alternatifs de « hautes fréquences ».

❖ **Exemples de filtres passe-bas d'ordre 01 et 02 :**

On donne ci-dessous les graphes représentant $T(\omega)$ et $G_{dB}(\omega)$ pour des systèmes passe-bas d'ordre 1 et 2.



Tracé de $T(\omega)$ pour des systèmes passe-bas d'ordre 1 et 2



Tracé de $G_{dB}(\omega)$ pour des systèmes passe-bas d'ordre 1 et 2

<u>*Rappels :*</u>

Les systèmes réels possèdent un ordre : ces systèmes ne sont pas des filtres idéaux.
Pour une même nature de filtrage d'un système, plus l'ordre du système augmente, plus l'atténuation en sortie de ce système est importante.

9. Identifier les courbes relevant d'un système d'ordre 1 et d'ordre 2 :

$Courbe$	———	- - - - - -
$Ordre\ du\ système$	1	2

10. Quel système se rapproche-t-il du filtre idéal ?

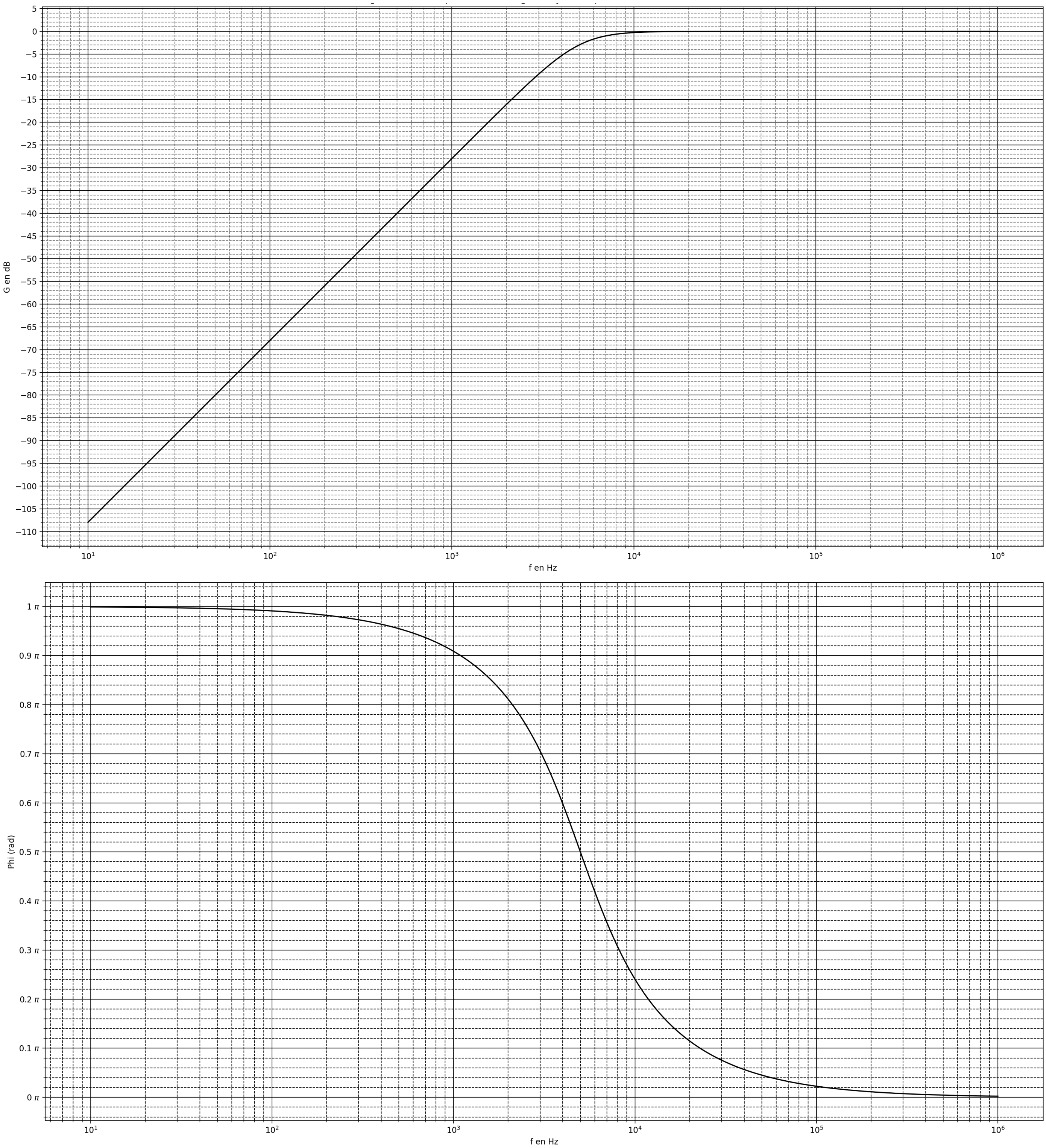
Le système d'ordre 2 se rapproche du filtre idéal.

11. Quelle est la grandeur permettant de savoir si un système passe-bas atténue plus qu'un autre ?

Il s'agit de la pente de l'asymptote à hautes fréquences, de la courbe du gain.

❖ Diagramme de Bode et expressions littérales des signaux :

On étudie un système dont le diagramme de Bode est donné ci-dessous :



Le signal à l'entrée du système est $e(t) = 5,00 \times \cos(2 \times \pi \times 900 \times t)$.

12. Déterminer la valeur du gain en décibel du système la valeur du déphasage pour la fréquence du signal d'entrée :

$$G_{dB}(900\ Hz) = -30\ dB$$
$$\varphi(900\ Hz) = 0{,}92\pi$$

13. En déduire, à l'aide d'un calcul, l'amplitude U_m du signal de sortie :

On sait que :

$$G_{dB} = 20 \times \log\left(\frac{U_m}{E}\right) \Leftrightarrow \frac{G_{dB}}{20} = \log\left(\frac{U_m}{E}\right) \Leftrightarrow \frac{U_m}{E} = 10^{\frac{G_{dB}}{20}} \Leftrightarrow \boldsymbol{U_m = E \times 10^{\frac{G_{dB}}{20}}}$$

Pour $f = 900\ Hz$:

$$U_m = E \times 10^{\frac{G_{dB}}{20}} = 5{,}00 \times 10^{\frac{-30}{20}} = \mathbf{0{,}158\ V}$$

14. En déduire l'expression numérique du signal de sortie :

$$s(t) = 0{,}158 \times \cos(2 \times \pi \times 900 \times t + 0{,}92\pi)$$

- **Nature du filtrage réalisé par un système :**

15. Déterminer la nature du filtrage réalisé par le système précédent. Justifier votre réponse.

Pour des basses fréquences ($f \ll f_C$), le système est **atténuateur** car le gain est négatif : $\boldsymbol{G_{dB} < 0}$
Pour des fréquences ($f \gg f_C$), le système est **passeur** car le gain est nul : $\boldsymbol{G_{dB} = 0\ dB}$

A basses fréquences, le système est atténuateur et à hautes fréquences, le système est passeur. Le système est donc **un filtre passe-haut.**

16. Compléter le tableau suivant afin de déterminer la nature du filtrage des systèmes dont le diagramme de Bode est donné en annexe 01 à 05 :

	Système A	Système B	Système C	Système D	Système E
Signe de G_{dB} à basses fréquences	$G_{dB} = 0\ dB$	$G_{dB} \ll 0$	$G_{dB} = 0\ dB$	$G_{dB} \ll 0$	$G_{dB} < 0$
Comportement à basses fréquences	Passeur à BF	Très atténuateur à BF	Passeur à BF	Très atténuateur à BF	Atténuateur à BF
Signe de G_{dB} à hautes fréquences	$G_{dB} < 0$	$G_{dB} < 0$	$G_{dB} < 0$	$G_{dB} > 0$	$G_{dB} < 0$
Comportement à hautes fréquences	Atténuateur à HF	Atténuateur à HF	Atténuateur à HF	Amplificateur à HF	Atténuateur à BF
Nature du filtrage	Passe-bas	Passe-haut	Passe-bas	Passe-haut	Passe-bande

❖ Exploitation du diagramme de Bode pour le gain en décibel $G_{dB}(\omega)$: bande passante

17. Sur les annexes 01 à 05, déterminer graphiquement la (ou les) pulsation(s) de coupure du système ainsi que la largeur de la bande passante puis compléter le tableau suivant :

	Système A	Système B	Système C	Système D	Système E
$\omega_C\ (rad/s)$	1000	100	200	1000	$200\ et\ 800$
$\Delta\omega\ (rad/s)$	1000	indéfinie	200	indéfinie	600

❖ Gain en décibel $G_{dB}(\omega)$ et asymptotes

18. Sur les annexes 01 à 05, déterminer graphiquement la pente des asymptotes à la courbe du gain à basses fréquences et à hautes fréquences, en $dB/décade$ puis compléter le tableau suivant :

	Système A	Système B	Système C	Système D	Système E
Pente de l'asymptote à basses fréquences	$0\ dB/décade$	$20\ dB/décade$	$0\ dB/décade$	$40\ dB/décade$	$20\ dB/décade$
Pente de l'asymptote à hautes fréquences	$-20\ dB/décade$	$0\ dB/décade$	$-40\ dB/décade$	$0\ dB/décade$	$-20\ dB/décade$

19. Sur les annexes 01 à 05, déterminer graphiquement la pente des asymptotes à la courbe du gain à basses fréquences et à hautes fréquences, en $dB/octave$ puis compléter le tableau suivant :

	Système A	Système B	Système C	Système D	Système E
Pente de l'asymptote à basses fréquences	$0\ dB/octave$	$6\ dB/octave$	$0\ dB/octave$	$12\ dB/octave$	$6\ dB/octave$
Pente de l'asymptote à hautes fréquences	$-6\ dB/octave$	$0\ dB/octave$	$-12\ dB/octave$	$0\ dB/octave$	$-6\ dB/octave$

20. Compléter le tableau suivant afin de déterminer l'ordre de chacun des systèmes étudiés sur les annexes 01 à 05 :

	Système A	Système B	Système C	Système D	Système E
Ordre du système	Passe-bas : $n = \frac{-20}{-20} = 1$	Passe-haut : $n = \frac{20}{20} = 1$	Passe-bas : $n = \frac{-40}{-20} = 2$	Passe-haut : $n = \frac{40}{20} = 2$	Passe-bande : $n = \frac{20}{10} = 2$

21. Pour les systèmes d'ordre 2 des annexes 03 à 05, déterminer graphiquement la pulsation propre ω_0 de chaque système :

	Passe-bas d'ordre 2	Passe-haut d'ordre 2	Passe-bande d'ordre 2
$\omega_0\ (rad/s)$	400	500	400

22. Pour quel type de filtrage appelle-t-on la pulsation propre ω_0 , pulsation centrale ?

Pour les filtres passe-bande, la pulsation centrale correspond à la pulsation propre ω_0.

❖ Gain en décibel $G_{dB}(\omega)$ et amplification T_0 :

23. Pour chaque système des annexes 01 à 05, déterminer la valeur de $|T_0|$:

	Passe-bas d'ordre 1	Passe-haut d'ordre 1	Passe-bas d'ordre 2	Passe-haut d'ordre 2	Passe-bande d'ordre 2
$G_{0,dB}$ (dB)	0	-3	0	20	0
$\lvert T_0\rvert$	$10^{\frac{0}{20}} = 1$	$10^{\frac{-3}{20}} = 0{,}707$	$10^{\frac{0}{20}} = 1$	$10^{\frac{20}{20}} = 10$	$10^{\frac{0}{20}} = 1$

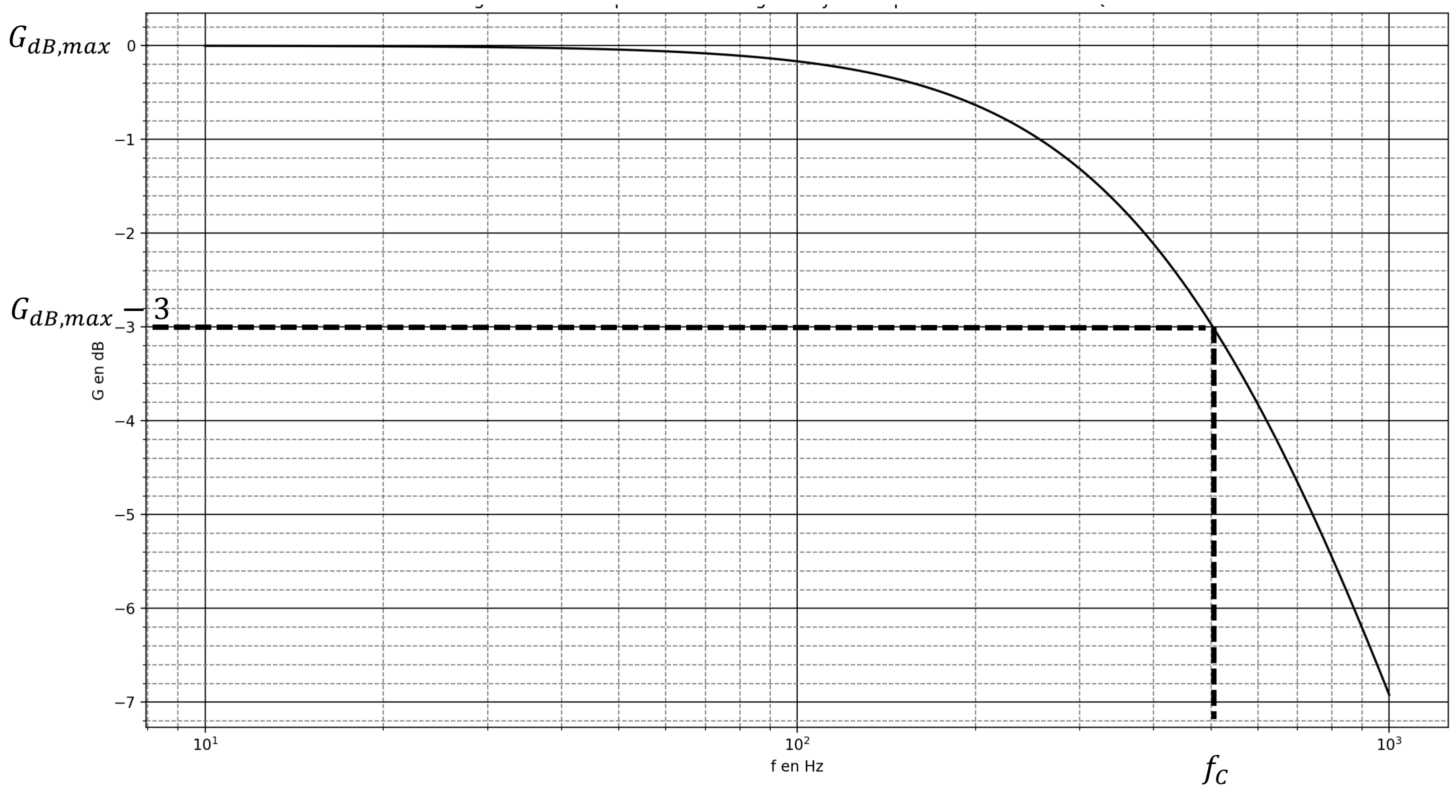
❖ Exploitation du diagramme de Bode pour le déphasage $\varphi(\omega)$:

24. Pour le système A uniquement, déterminer graphiquement $\varphi_{HF}, \varphi_{BF}$ et $\Delta\varphi$ puis déterminer l'ordre du système :

On lit $\varphi_{BF} = 0$ et $\varphi_{HF} = -\frac{\pi}{2}$ donc $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$; le système est donc d'ordre 01.

❖ Pulsation de coupure des systèmes passe-bas et passe-haut d'ordre 2 :

On étudie un premier système passe-bas du second ordre ayant pour facteur de qualité $Q = 0{,}10$, ayant pour amplification statique $T_0 = 1$ et ayant pour fréquence propre $f_0 = 5000\ Hz$:

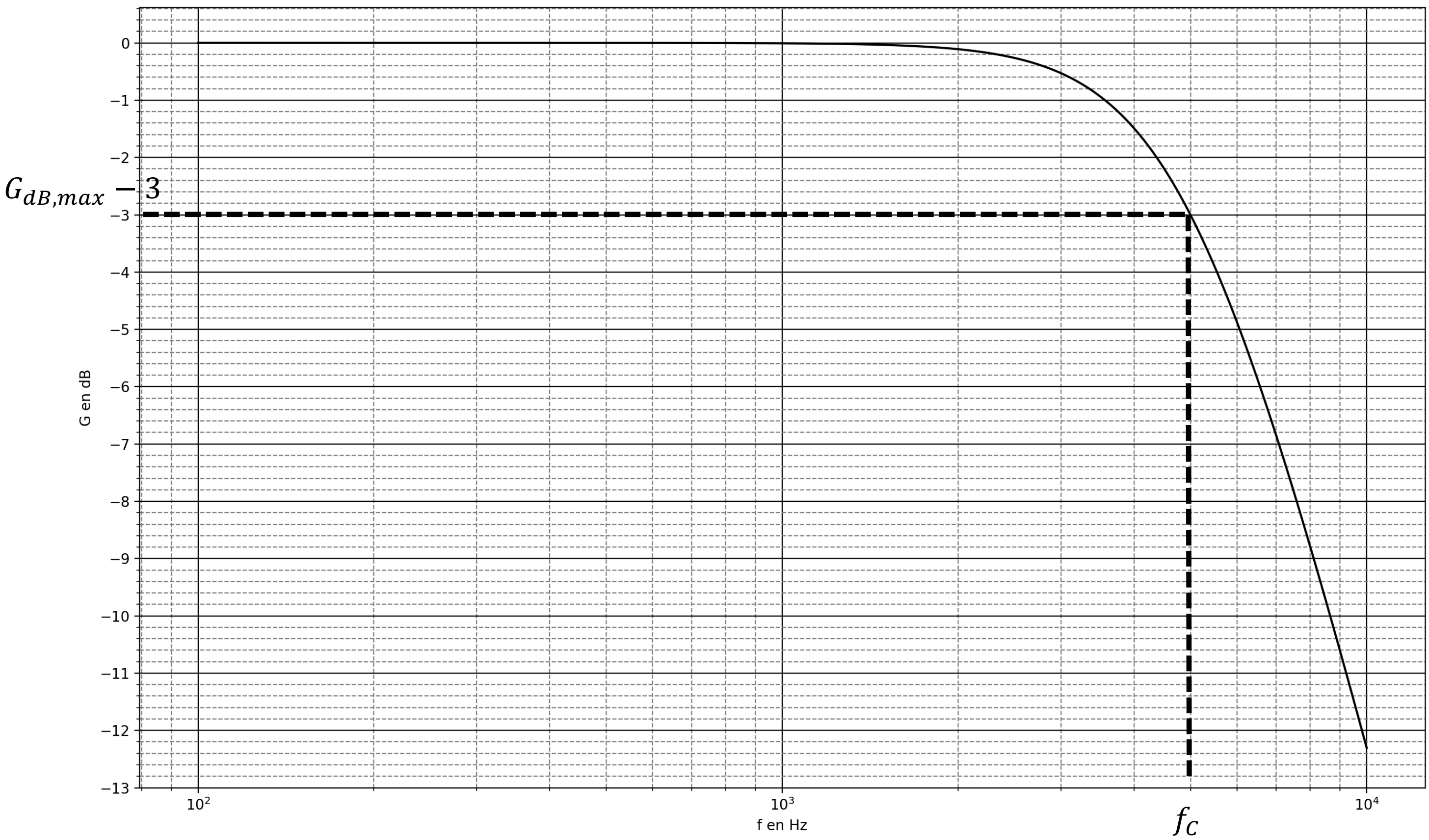


25. Déterminer graphiquement la fréquence de coupure f_C de ce premier système, puis indiquer si la valeur de f_C est proche de la valeur de la fréquence propre du système :

$$f_C = 500\ Hz$$

Avec $f_0 = 5000\ Hz$, la valeur de f_C n'est pas proche de celle de f_0

On étudie un second système passe-bas du second ordre ayant pour facteur de qualité $Q = 0{,}707$, ayant pour amplification statique $T_0 = 1$ et ayant pour fréquence propre $f_0 = 5000\ Hz$:



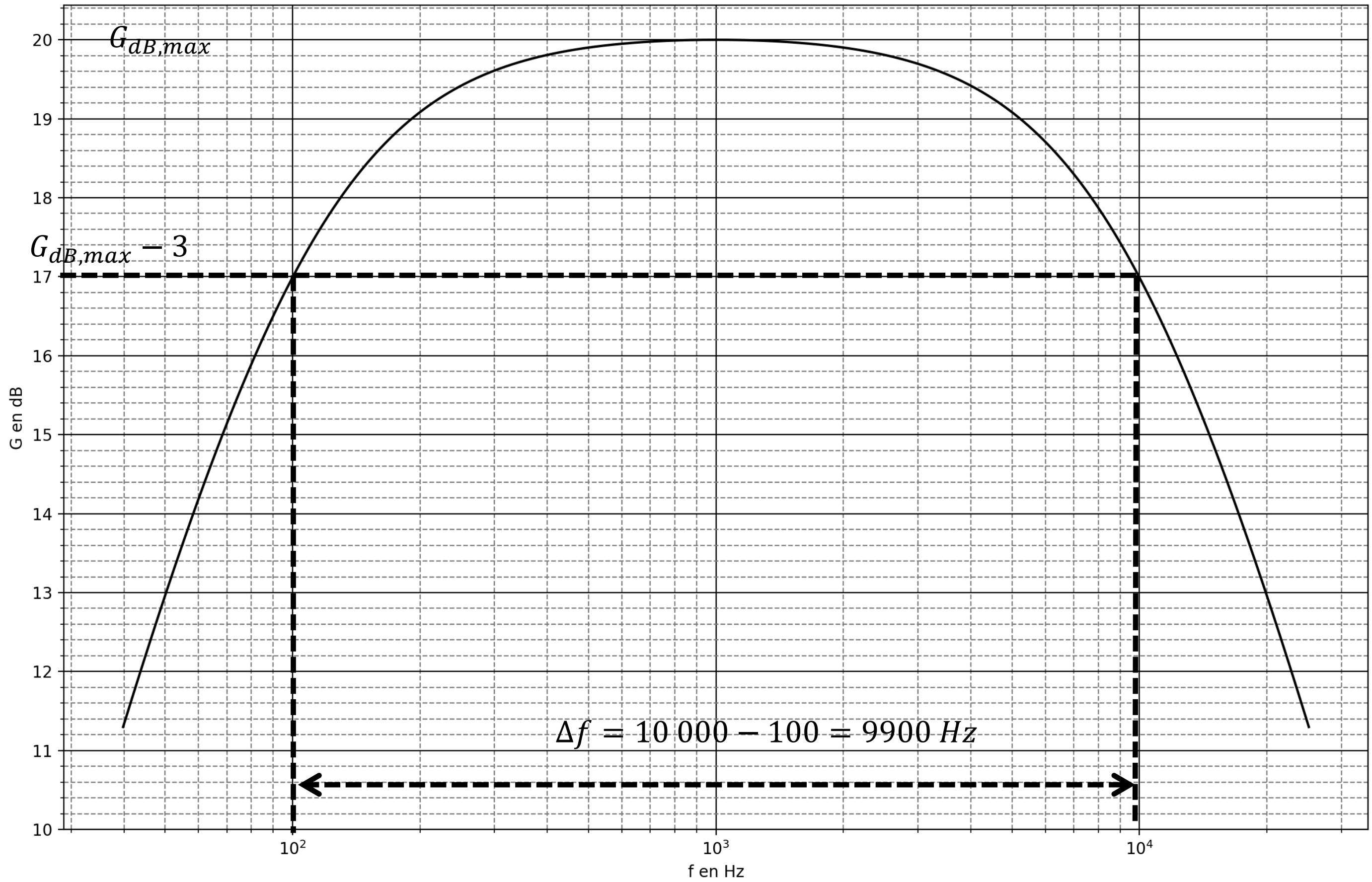
26. Déterminer graphiquement la fréquence de coupure f_C de ce deuxième système, puis indiquer si la valeur de f_C est proche de la valeur de la fréquence propre du système :

$$f_C = 5000\ Hz$$

Avec $f_0 = 5000\ Hz$, la valeur de f_C est égale à celle de f_0

❖ Facteur de qualité d'un passe-bande d'ordre 2 :

27. Déterminer graphiquement le facteur de qualité du système passe-bande d'ordre 2 suivant :



$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} = \frac{1000}{9900} = 0{,}1010$$

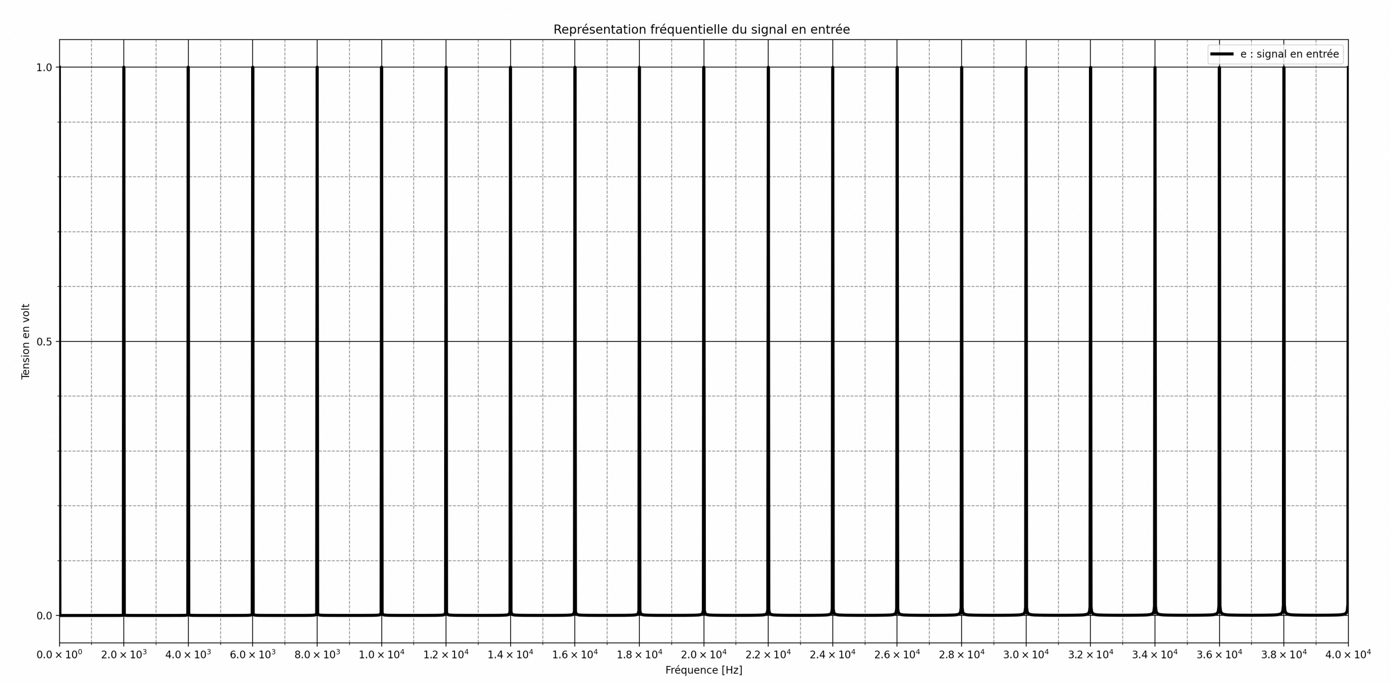
Pensez à finir avec une expérience prof de filtrage d'un signal carré : visualisation du signal en sortie…

Activité finale : filtres idéaux, gabarits, approximations de Butterworth et de Chebyshev

❖ Mise en place du cahier des charges :

Un technicien souhaite numériser un signal analogique $e(t)$ (nommé « Peigne de Dirac ») de fréquence $f_1 = 2{,}0\ kHz$. La représentation fréquentielle du signal $e(t)$ est donnée ci-dessous. Il possède une infinité d'harmoniques d'amplitude identique :

$$E = 1{,}0\ V$$



Le technicien souhaite utiliser le numériseur (contenant un système échantillonneur et un système convertisseur analogique-numérique) PCM1807 de la marque Texas Instrument. Un extrait de la fiche technique de ce convertisseur est donné ci-dessous :

TEXAS INSTRUMENTS
www.ti.com

PCM1807

SLES147−SEPTEMBER 2005

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

All specifications at T_A = 25°C, V_{CC} = 5 V, V_{DD} = 3.3 V, master mode, f_S = 48 kHz, system clock = 512 f_S, 24-bit data, unless otherwise noted

	PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
	Resolution			24		Bits
DATA FORMAT						
	Audio data interface format			I²S, left-justified		
	Audio data bit length			24		Bits
	Audio data format			MSB-first, 2s complement		
f_S	Sampling frequency		16	48	96	kHz
	System clock frequency	256 f_S	4.096	12.288	24.576	MHz
		384 f_S	6.144	18.432	36.864	
		512 f_S	8.192	24.576	49.152	

On donne le critère de Nyquist-Shannon :

$$\text{échantillonnage correct} \Leftrightarrow f_e \geq 2 \times f_{max}$$

f_e : fréquence d'échantillonnage du numériseur, en hertz
f_{max} : fréquence de l'harmonique du signal d'entrée, de plus haut rang, en hertz

Le technicien utilise la fréquence d'échantillonnage « typique » de ce numériseur.
28. Le critère est-il respecté dans ces conditions ? Quel phénomène apparait ?

Le numériseur possède une fréquence d'échantillonnage $f_e = 48\ kHz$ et le signal d'entrée possède une infinité d'harmoniques donc $f_{max} \to +\infty$.
Le critère de Nyquist-Shannon ne peut pas être respecté dans ces conditions.

Le technicien souhaite toujours utiliser la fréquence d'échantillonnage « typique » de ce numériseur. Il décide de placer un filtre anti-repliement avant le numériseur, afin d'éliminer les harmoniques du signal d'entrée qu'il lui est impossible d'échantillonner correctement.

29. Quel type de filtrage (passe-haut, passe-bas ou passe-bande) doit réaliser le filtre anti-repliement ? Préciser la valeur de la fréquence de coupure de ce filtre (permettant d'échantillonner le plus grand nombre d'harmoniques du signal d'entrée, pour $f_e = 2 \times f_{max}$) ainsi que la valeur de l'amplification T_0 et du gain $G_{0,dB}$ dans la bande passante de ce filtre.

Le filtre anti-repliement (placé avant le numériseur), doit être un filtre passe-bas de fréquence de coupure :

$$f_{max} = \frac{f_e}{2} = 24\ kHz \ \ donc\ f_{max} = f_c = 24\ kHz$$

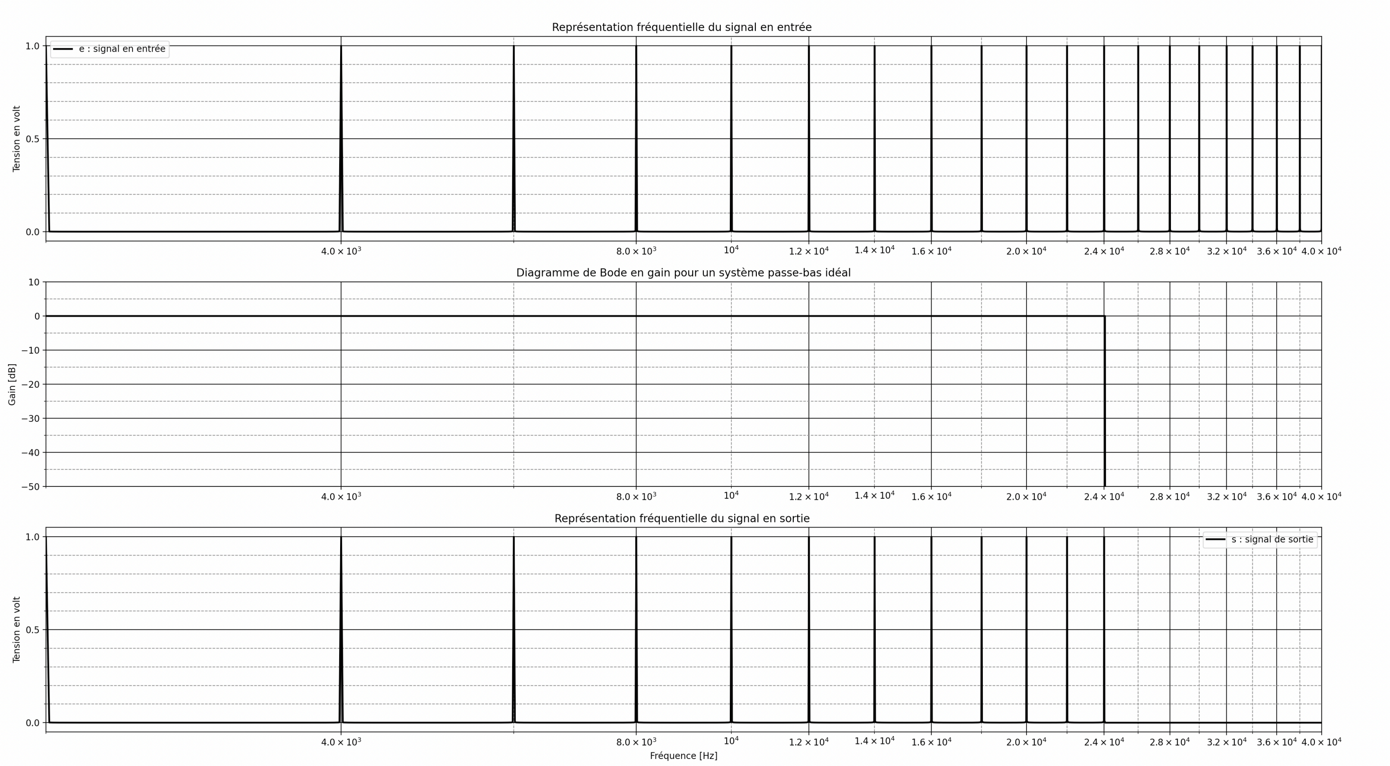
Ce filtre passe-bas doit avoir la bande passante suivante $[0\ kHz\ ; 24\ kHz]$, une amplification statique $T_0 = 1$ et un gain statique $G_{0,dB} = 0\ dB$.
Si jamais les étudiants proposent 25 kHz, parler de raie « parasite » à 24,05kHz par exemple. Si on l'echantillonne ->repliement

<u>Ce que le technicien souhaite obtenir idéalement :</u>
Pour le prof : lancer le script « C09_AD_finale_filtre_ideal.py »

A l'aide de la simulation Python d'un filtre passe-bas idéal ayant pour fréquence de coupure $f_c = 24\ kHz$ et pour gain statique $G_{0,dB} = 0\ dB$, répondre à la question suivante :

30. Est-il possible de réaliser un tel filtre ?

Il est impossible de créer un filtre idéal : la discontinuité du gain en f_c, basculant de $0\ dB$ à $-\infty$ est irréalisable.



Face à l'impossibilité de réaliser un filtrage idéal (avant l'échantillonnage), le technicien doit faire un compromis. Il ajoute une nouvelle condition à son cahier des charges : l'harmonique de rang 13 doit avoir une amplitude au moins divisée par 10 entre l'entrée et la sortie du filtre. L'amplitude en sortie, de l'harmonique de rang 13 doit donc être égale au maximum à $U_m = \frac{E}{10}$.

31. A l'aide de la formule suivante $G_{dB} = 20 \times \log\left(\frac{U_m}{E}\right)$, déterminer la valeur maximale « tolérée » du gain en décibel, noté $G_{13,dB}$, pour l'harmonique de rang 13 :

$$G_{13,dB} = 20 \times \log\left(\frac{U_m}{E}\right) = 20 \times \log\left(\frac{\frac{1,0}{10}}{1,0}\right) = 20 \times \log\left(\frac{1}{10}\right) = -20\ dB$$

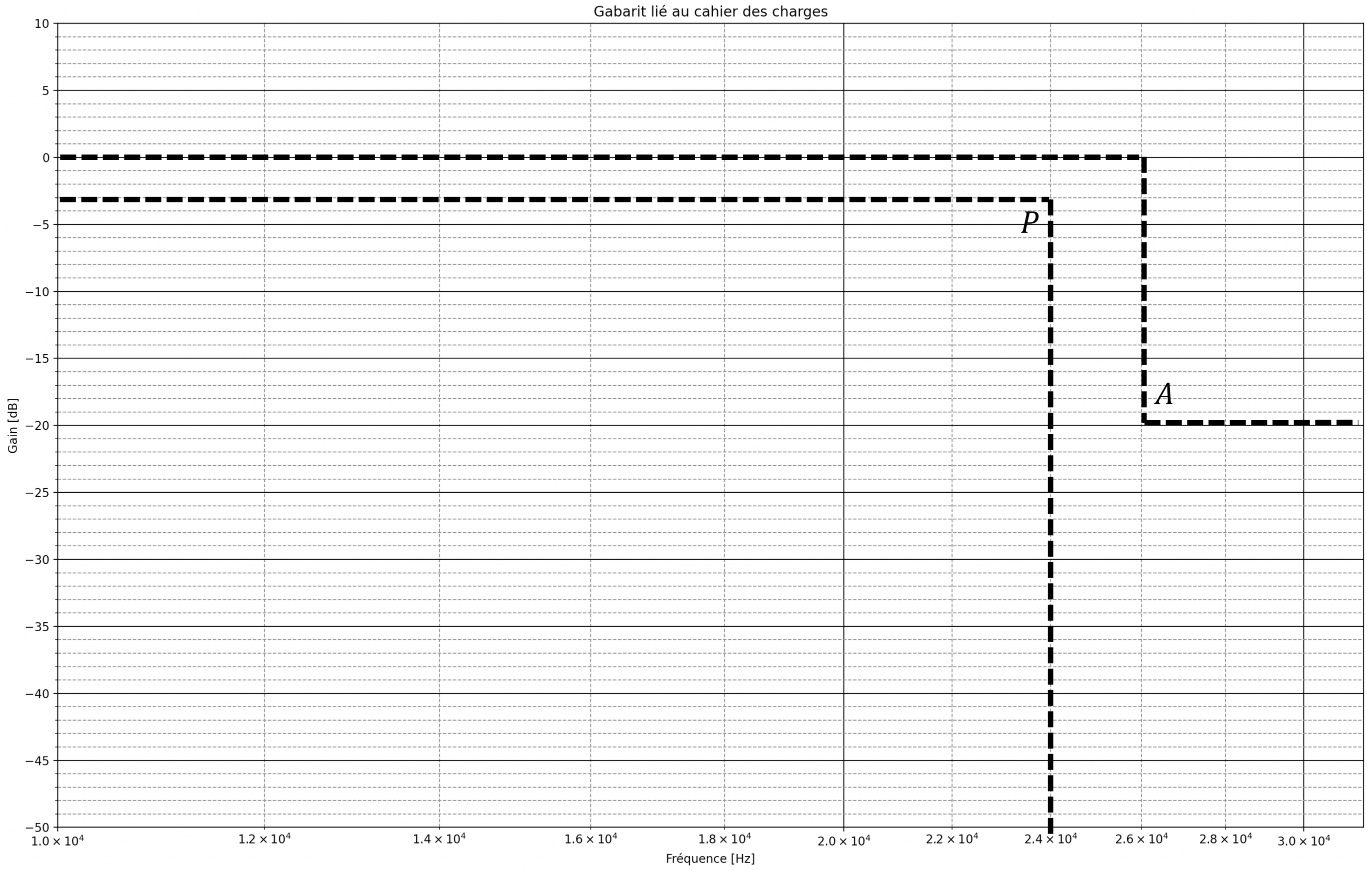
<u>Cahier des charges pour le filtre anti-repliement :</u>

Avant l'échantillonnage par le PCM 1807, le « peigne de Dirac » doit être traité par un système « anti-repliement » répondant au cahier des charges suivant :

- le système doit être un passe-bas, de gain statique $G_{0,dB} = 0\ dB$ et de fréquence de coupure à $-3\ dB$: $f_C = 24\ kHz$
- pour des fréquences d'entrée supérieures ou égales $26\ kHz$ (fréquence de l'harmonique de rang 13), le gain du système doit-être de $G_{13,dB} = -20\ dB$ ou moins.

❖ **Gabarit de la solution technique recherchée :**

32. Sur le graphe ci-dessous, tracer le gabarit imposé par le cahier des charges : tracer le point P et le point A et faire réfléchir sur les zones permises/interdites



❖ **Première proposition pour valider le cahier des charges : filtre passe-bas d'ordre 02**

Pour le prof : lancer le script « C09_AD_finale_filtre_ordre2_puis_n.py » (préciser à l'oral Q=0,707 ici)

A l'aide de la simulation d'un filtre passe-bas d'ordre 02 ayant pour fréquence de coupure (à $-3\ dB$) $f_c = 24\ kHz$ et pour gain statique $G_{0,dB} = 0\ dB$, répondre aux questions suivantes :

33. La solution proposée valide-t-elle l'ensemble du cahier des charges ?

Pour la fréquence $26\ kHz$, le gain vaut environ $-3{,}76\ dB$ (faire un zoom) ce qui est largement supérieur à $-20\ dB$: la solution ne valide pas le cahier des charges.

34. Proposer une solution qui pourrait aider le technicien à résoudre le problème rencontré :
Il faut augmenter l'ordre du filtre.

A l'aide de la simulation, augmenter l'ordre du filtre afin d'obtenir pour la fréquence $26\ kHz$, un gain de $-20\ dB$ (ou moins).
Faire ordre 6 puis augmenter rapidement jusqu'à 10 puis 12 et se focaliser la valeur du gain à $26\ kHz$

35. Quel est l'ordre du système permettant d'obtenir cette condition ?
Ordre 12 (soit 6 systèmes d'ordre 02 à la suite)

36. Quel nouveau problème rencontre-t-on alors ?
La fréquence de coupure à $-3\ dB$ n'est plus égale à $24\ kHz$: elle a diminué lorsque l'ordre a augmenté.

❖ Deuxième proposition pour valider le cahier des charges : filtre passe-bas de type Butterworth

Pour le prof : lancer le script « C09_AD_finale_butter.py» avec n=2

La première simulation avec un filtre de Butterworth passe-bas d'ordre 02 ne permet pas de valider le cahier des charges. Comme précédemment, sur la simulation, augmenter l'ordre du système.
Augmenter l'ordre à 10 puis 20 puis 28

37. Lorsque l'ordre du système de type Butterworth augmente, la fréquence de coupure $-3\ dB$ diminue-t-elle comme précédemment ?

Lorsque l'ordre du système de type Butterworth augmente, la fréquence de coupure $-3\ dB$ reste constante et égale $f_c = 24\ kHz$. C'est l'un des succès du travail de Butterworth.

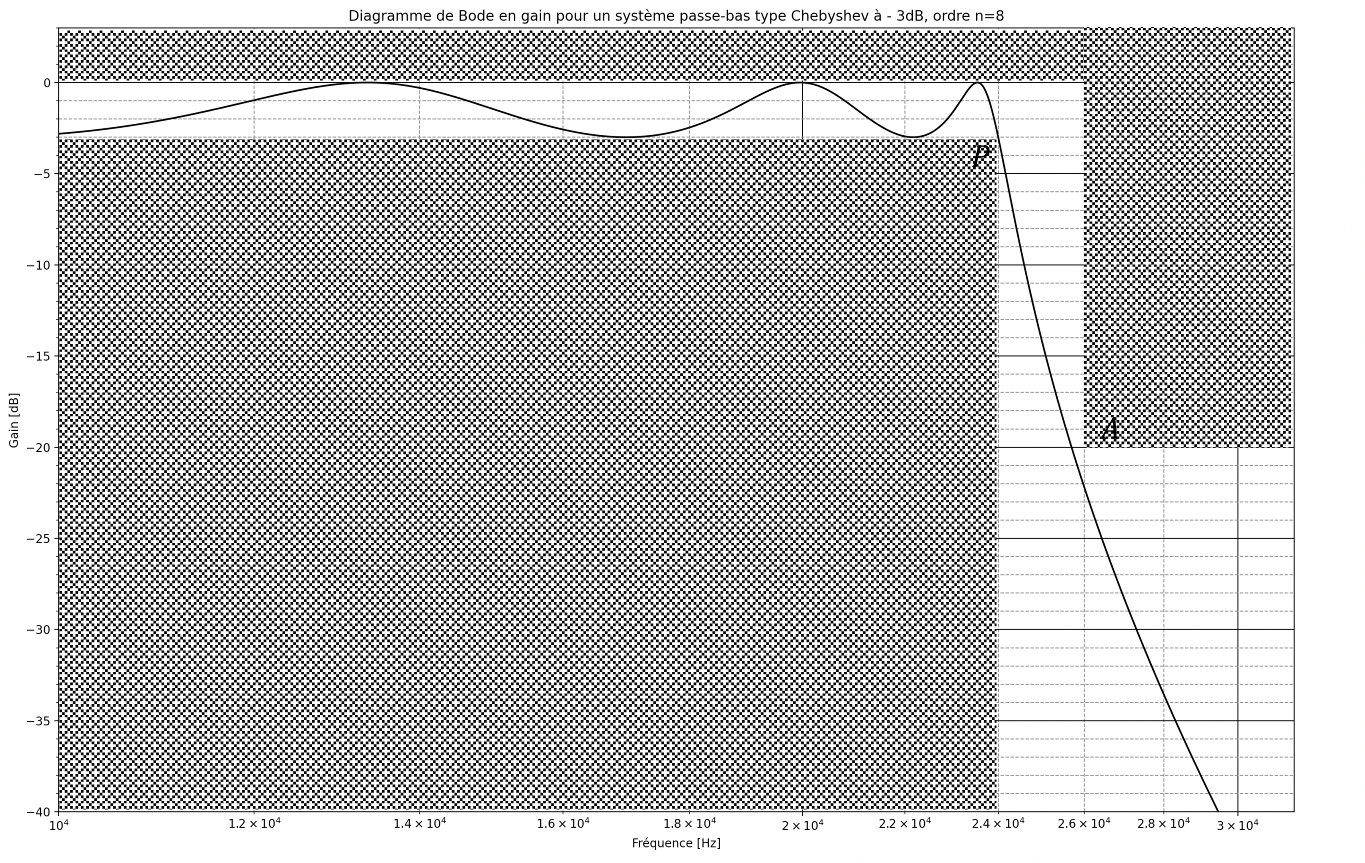
38. Quel est l'ordre du système de Butterworth qui permet de valider intégralement le cahier des charges ?
Faire un zoom sur le gain 26 kHz pour ordre 28 puis passer à 29

Ce filtre passe-bas d'ordre 29 de type Butterworth valide le cahier des charges.

❖ Troisième proposition pour valider le cahier des charges : filtre passe-bas de type Chebyshev

Pour le prof : lancer le script « C09_AD_finale.py» avec n=7 puis passer à 8 (sans utiliser la fenêtre Butter)

39. Sur la courbe ci-dessous, tracer le gabarit imposé par le cahier des charges et vérifier si le filtre passe-bas d'ordre 8 de type Chebyshev valide le cahier des charges.



La courbe du gain valide le gabarit : ce filtre passe-bas d'ordre 8 de type Chebyshev valide le cahier des charges.

40. Quelle solution (validant le cahier des charges) entre celle de Chebyshev et celle de Butterworth est la moins onéreuse ? Justifier votre réponse.

La solution de Chebyshev a un ordre 8, beaucoup plus faible que l'ordre 29 de Butterworth : le système de passe-bas de Chebyshev est donc la solution la moins onéreuse, car elle nécessite moins de dipôles pour la mettre en œuvre.

41. Pour un même ordre, quel type de filtre (Butterworth ou Chebyshev) permet d'atténuer davantage les hautes fréquences ?

Utiliser la fenêtre Butter en comparant les deux solutions pour ordre 8

Pour un même ordre, la solution de Chebyshev permet d'atténuer davantage les hautes fréquences que la solution de Butterworth.

42. Quel inconvénient présente la solution de Chebyshev ?

Pour les systèmes de Butterworth, le gain semble assez constant dans la bande passante, alors que le gain « ondule » dans la bande passante pour les systèmes de Chebyshev.

Une fois le chapitre terminé, si le temps le permet, reprendre la simulation en mettant bpc à 0,1 et ordre 8 (constat de diminution de l'atténuation) donc on augmente l'ordre jusqu'à n=12 (valide le gabarit) puis mettre à 24. En comparant sortie et entrée, on est proche du cas idéal. Cheby 12 (-0,1) est mieux que Butter 29(-3)

- **Nouveau cahier des charges :**

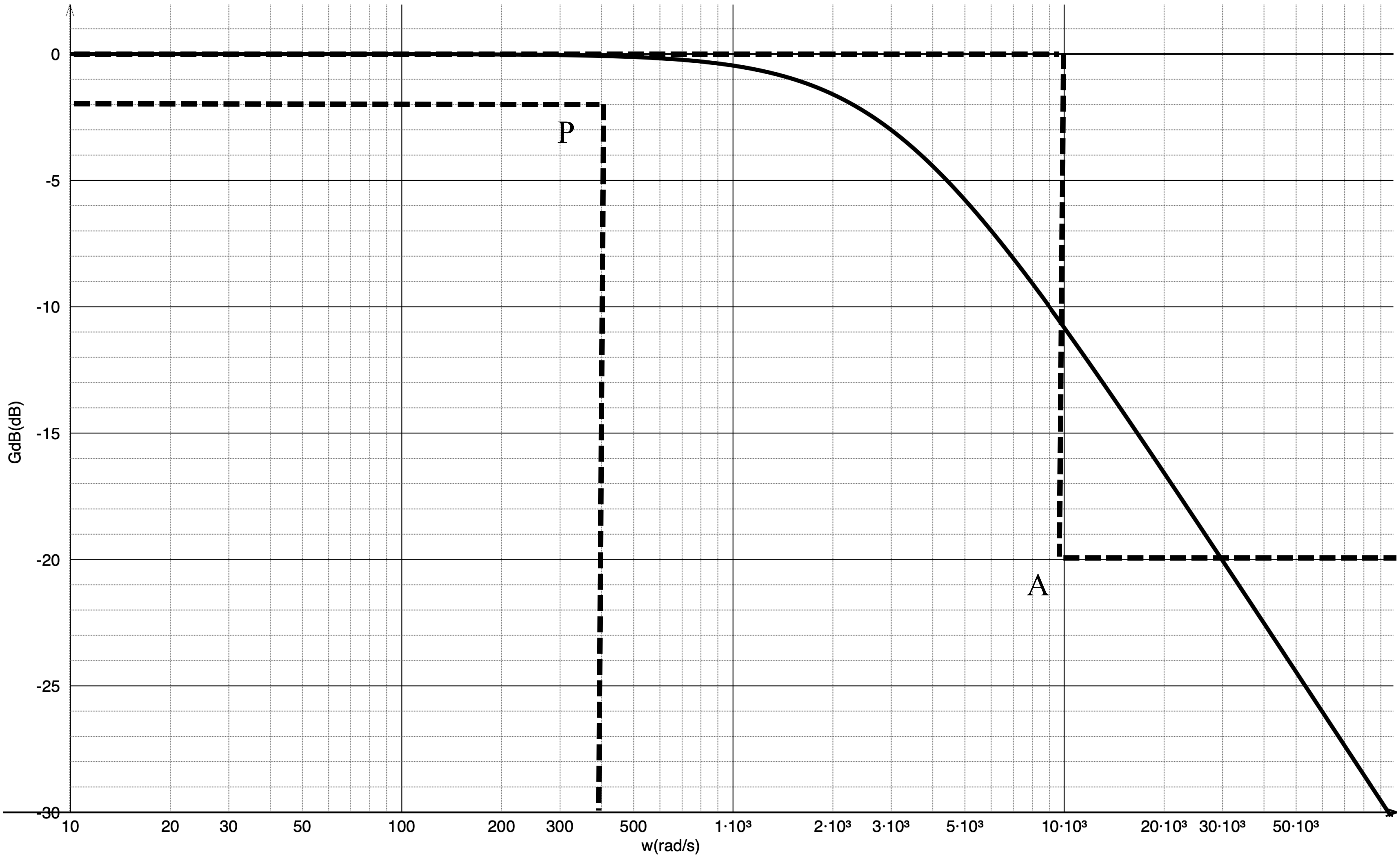
Le technicien dresse le gabarit nécessaire à la réalisation d'un filtre de lissage (passe-bas):

$$\omega_P = 400\ rad/s$$
$$G_{P,dB} = -2\ dB$$
$$\omega_A = 10\ 000\ rad/s$$
$$G_{A,dB} = -20\ dB$$

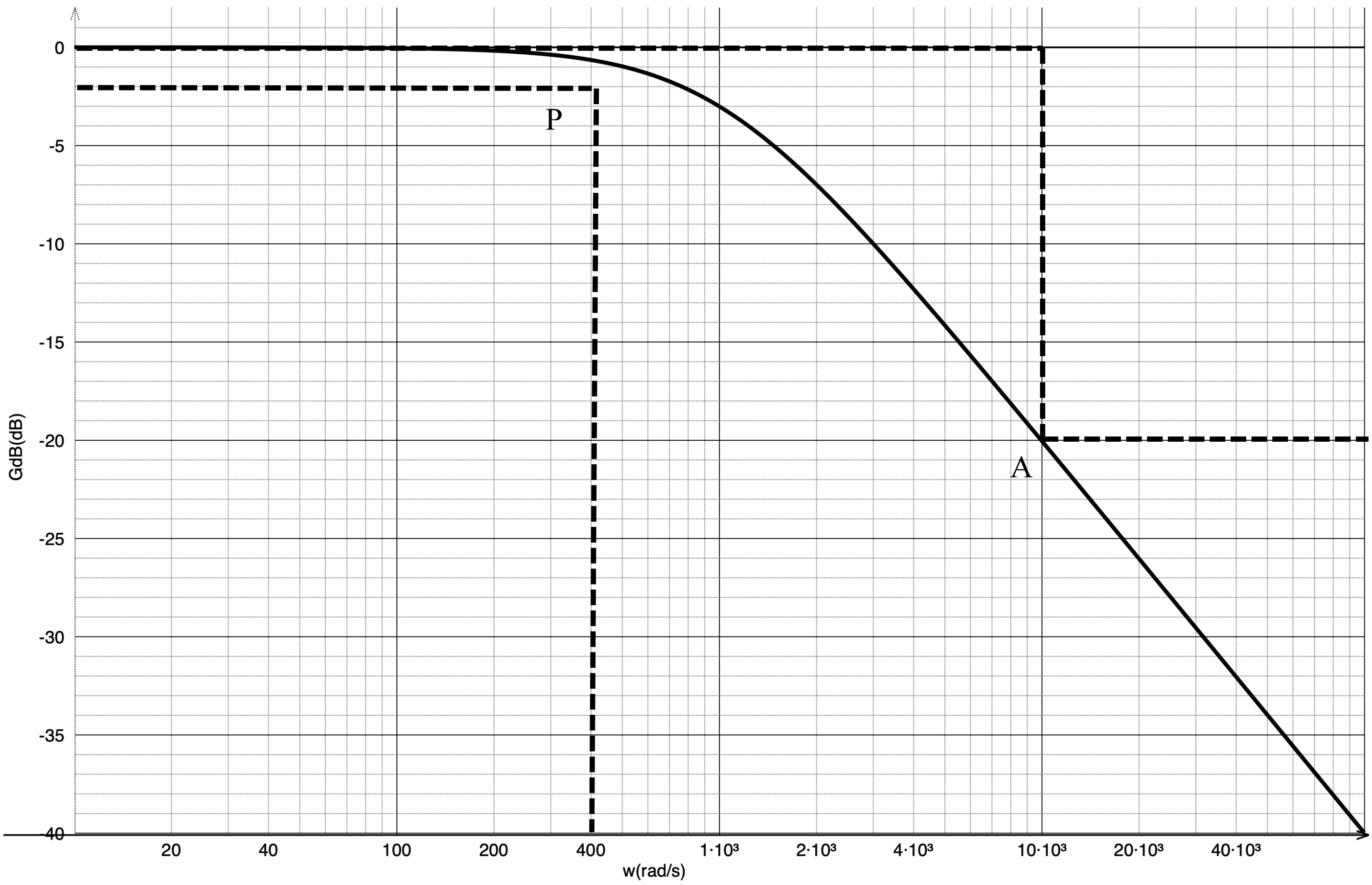
On donne ci-dessous deux diagrammes de Bode en gain de deux systèmes.

43. Lequel des deux systèmes est-il pertinent d'utiliser comme filtre de lissage ?

Système A :

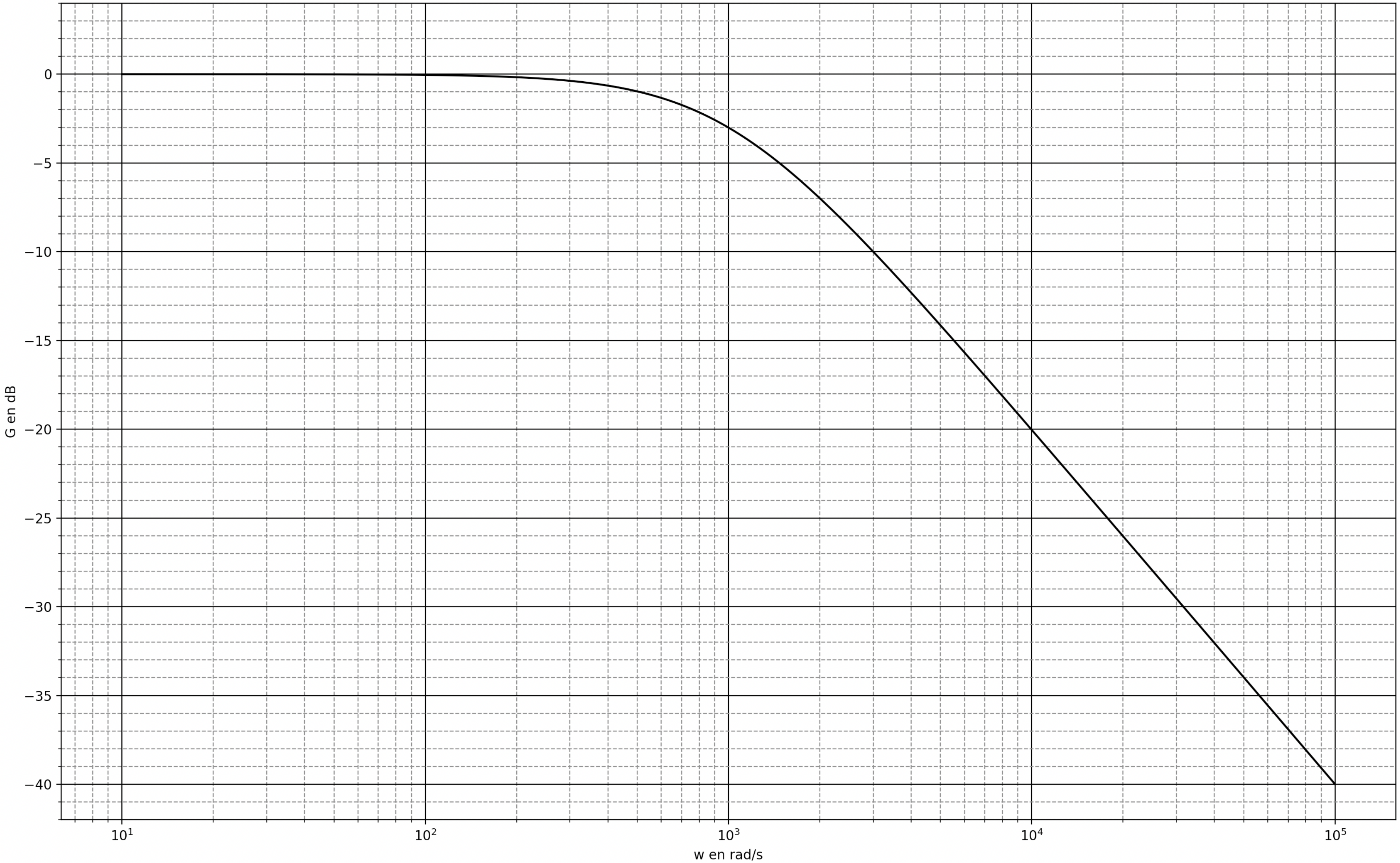


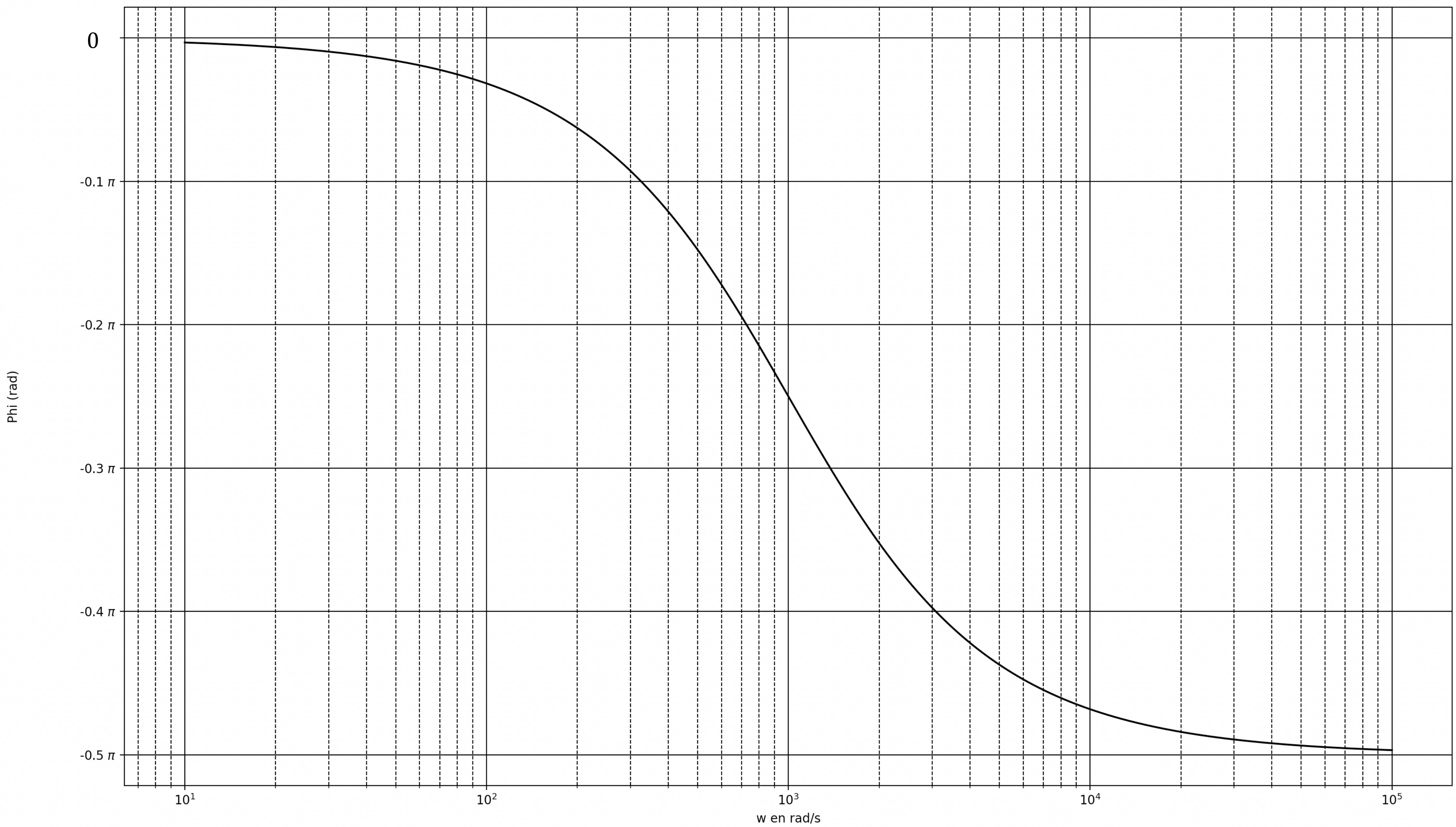
Système B :



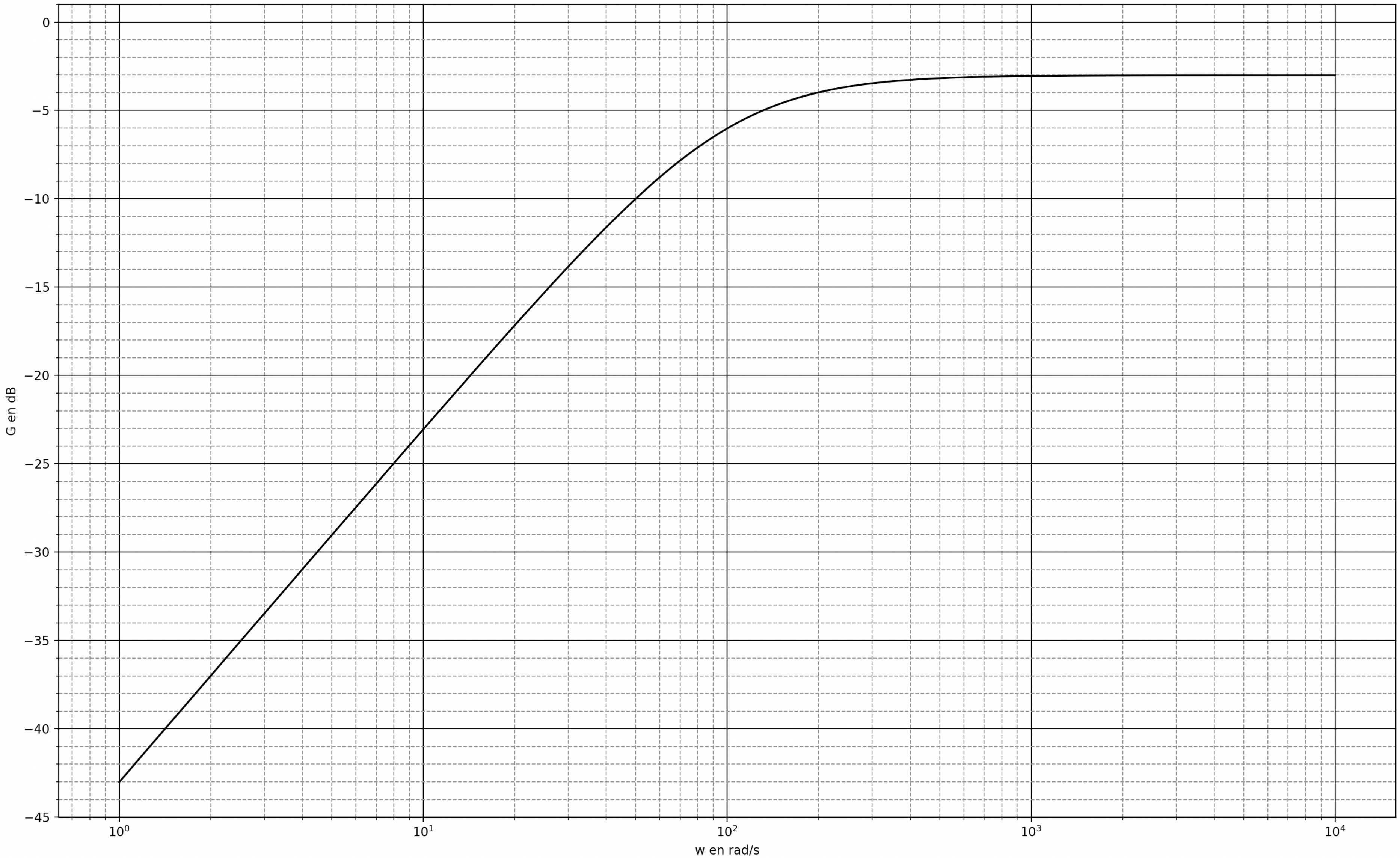
Seul le système B remplit le cahier des charges.

C09 – Annexe 01 – Diagramme de Bode du système A

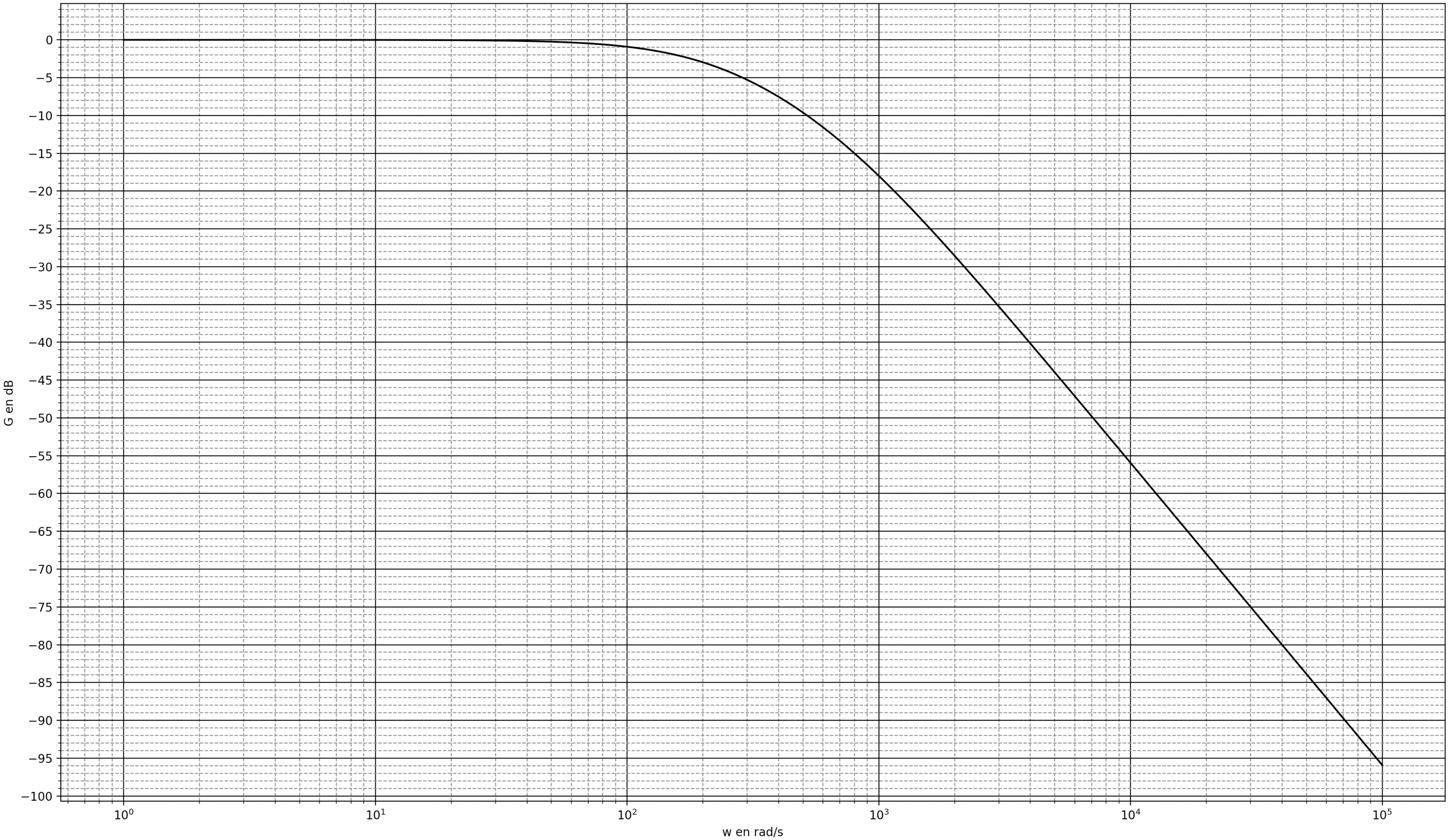



0
-0.1 π
-0.2 π
-0.3 π
-0.4 π
-0.5 π
Phi (rad)
10¹
10²
10³
10⁴
10⁵
w en rad/s

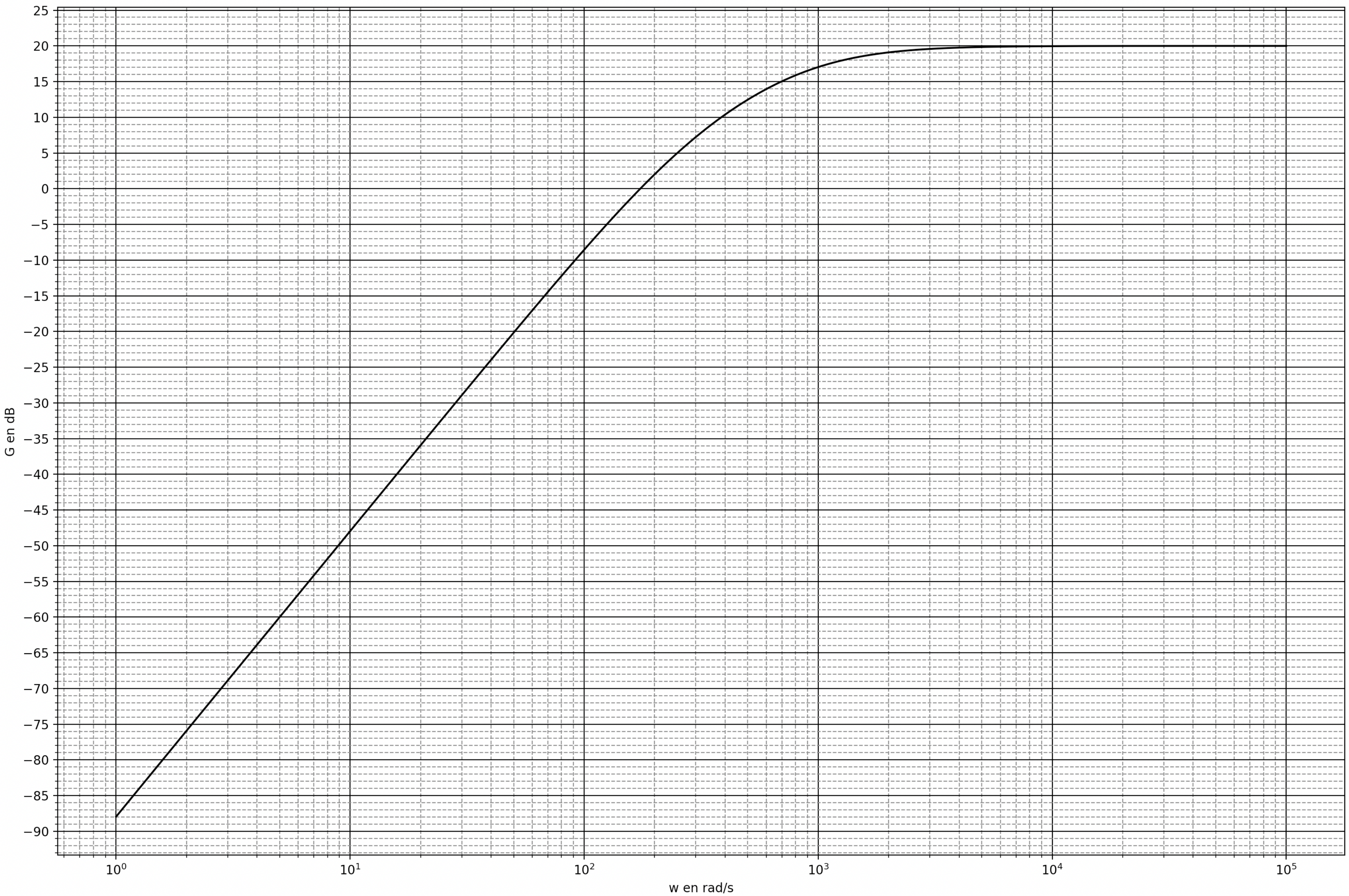
C09 – Annexe 02 – Diagramme de Bode en gain du système B



C09 – Annexe 03 – Diagramme de Bode en gain du système C



C09 – Annexe 04 – Diagramme de Bode en gain du système D



C09 – Annexe 05 – Diagramme de Bode en gain du système E