Institut Supérieur de l'Électronique et du Numérique

Notions de base pour l'Automatique

TD

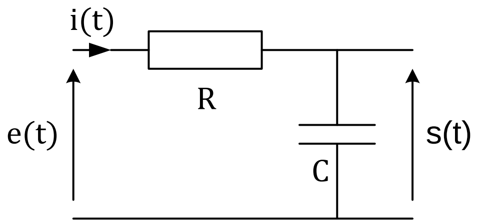
Nicolas ZIMMERMANN

ISEN
41 Boulevard Vauban
59800 Lille

Année 2020-2021

Exercice n°1

Soit le système électrique :



$$s(t) = \frac{1}{C}\int_0^t i(\alpha)d\alpha$$

$$e(t) = R.i(t) + s(t)$$

Figure1.Schémad'un circuit RC

1. Donner les équations de Laplace,
2. Exprimer $S(p)$ en fonction de $E(p)$,
3. Donner la valeur finale de $s(t)$ si $e(t)$ est un échelon de 3V.

Exercice n°2

Donner la fonction de transfert du schéma suivant :$F_{TBF} = \frac{Y(p)}{U(p)}$

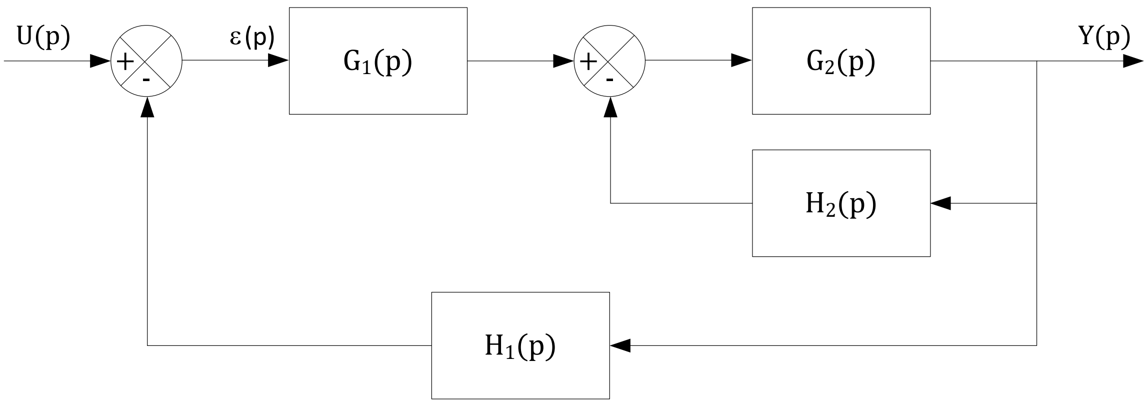


Figure2.Simplification du schéma bloc

Exercice n°3

Donner la fonction de transfert du schéma suivant :

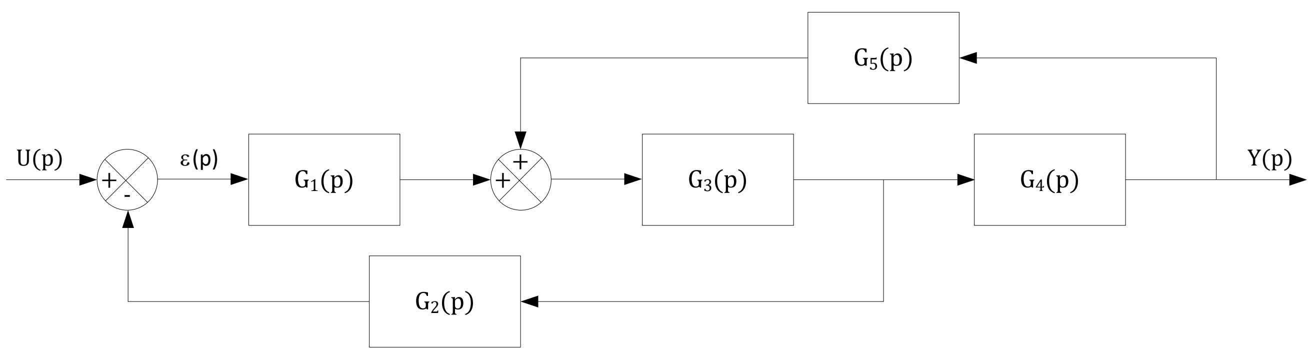


Figure3.Simplification du schéma bloc

Exercice n°4

Calculer l'erreur statique d'asservissement pour un échelon unitaire et l'erreur statique de régulation pour un échelon de 0,2 pour le schéma suivant.

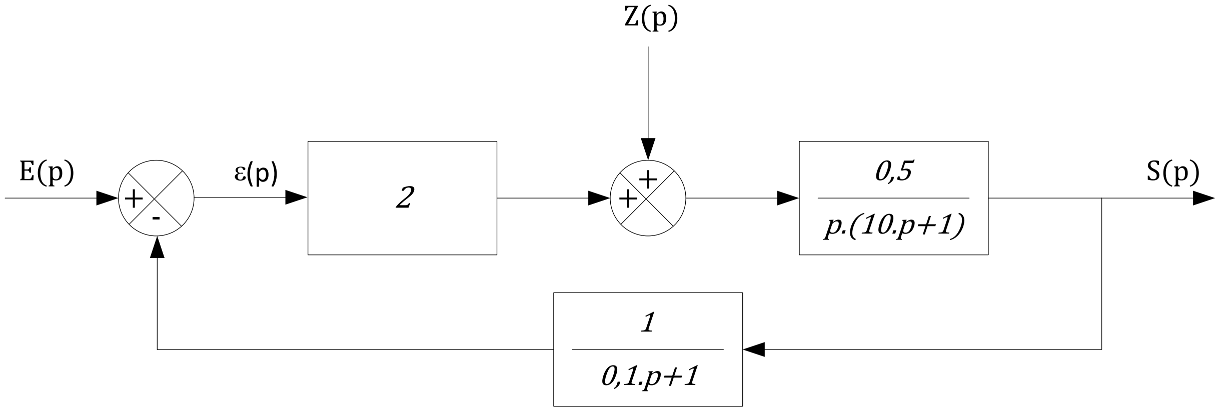


Figure4. Erreur de régulation et d'asservissement

Exercice n°5

Calculez et représentez le lieu de Nyquist et le lieu de Black pour lafonction de transfert en boucle ouverte $G_4(p)$pour les valeurs suivantes de ω :

ω (rad/sec)	0	0.1	0.2	0.5	0.8	1	1.5	2	5

$$G_4(p) = \frac{1}{(1+p).p}$$

Exercice n°6

Un système four industriel a été modélisé par la fonction de transfert en boucle ouverte suivante :

$$G(p) = 1{,}5.\frac{e^{-10.p}}{1+30.p}$$

A ce système en boucle ouverte, nous associons <u>en série un gain K=2</u>.

1. Calculer le module (noté $H_{BO}(\omega)$) et l'argument (noté $\varphi_{H_{BO}(\omega)}$) de la fonction de transfert en BO de ce systèmepour les valeurs données de ω.

ω (rad/sec)	0	0.02	0.0.33	0.04	0.08	0.1	0.2	0.5

2. Tracer le diagramme de Nyquist.
3. Tracer le diagramme de Black.
4. Déterminer le module et l'argument pour chaque valeur de ω de la fonction de transfert de ce système en boucle fermée (retour unitaire) en utilisant l'abaque de Black.

Exercice n°7 : positionnement d'une tête de lecture

Un moteur linéaire est composé d'une bobine mobile guidée par translation sur un circuit magnétique. Une tête de lecture est entraînée par la bobine mobile. Un ressort de raideur *k* positionne la partie mobile.

Les équations du système sont :

$$u(t) = R.i(t) + \alpha.\frac{dx(t)}{dt}$$

$$\beta.i(t) - k.x(t) = m.\frac{d^2x(t)}{dt^2}$$

1. Donner le schéma bloc du système (entrée $u(t)$ et la sortie $x(t)$).
2. Calculer la fonction de transfert en boucle fermée.
3. Nous avons : R = 8 Ω ; k = 50 N/m ; m = 200 g ; α= 5 Vs/m² ; β = 5 N/A –Ecrire numériquement la fonction de transfert
4. Donner la pulsation propre non amortie, le coefficient d'amortissement, la pseudo-période, le dépassement, le temps de réponse et le temps de pic.
5. Tracer l'allure de la réponse de $x(t)$ pour un échelon unitaire de ce système en mettant en évidence les éléments calculés à la question précédente.

Exercice n°8 : réalisation du schéma bloc d'un asservissement de vitesse

La consigne de vitesse du moteur est représentée par une tension e_r(t) (entrée du système) et la vitesse effective du moteur est relevée par une génératrice tachymétrique sous la forme d'une tension e_t (t) et on souhaite asservir la vitesse du moteur ω(t) (sortie du système).

Les caractéristiques des différents organes sont les suivants :

- Moteur (M) :
    - Inducteur : résistance R_m, inductance L_m,
    - Induit : résistance r_m, inductance l_m,
- Génératrice (G) :
    - Inducteur : résistance R_g, inductance L_g,
    - Induit : résistance r_g, inductance l_g,

- J : est l'inertie totale ramenée sur l'arbre moteur,
- A : gain réglable de l'amplificateur (A>0),
- e_m : force contre-électromotrice du moteur,
- C_m : couple moteur,
- C_u : couple utile,
- ω : vitesse angulaire,
- $r_t = r_m + r_g$,
- $l_t = l_m + l_g$,

Les équations du système sont les suivantes :

$$1)\ e_A(t) = A.(e_r(t) - e_t(t))$$

$$2)\ e_A(t) = \frac{R_g}{K_g} \cdot e_g(t) + \frac{L_g}{K_g} \cdot \frac{de_g(t)}{dt}$$

$$3)\ e_g(t) = e_m(t) + \frac{r_t}{K_m} \cdot C_m(t) + \frac{l_t}{K_m} \cdot \frac{dC_m(t)}{dt}$$

$$4)\ e_m(t) = K_m \cdot \omega(t)$$

$$5)\ C_m(t) = C_u(t) + J\frac{d\omega(t)}{dt}$$

$$6)\ e_t(t) = K_t \cdot \omega(t)$$

Donner le schéma bloc du système avec $e_r(p)$: l'entrée du système, $\omega(p)$: la sortie du système et $C_u(p)$: la perturbation, en vous inspirant de la trame donnée sur la Figure 5.

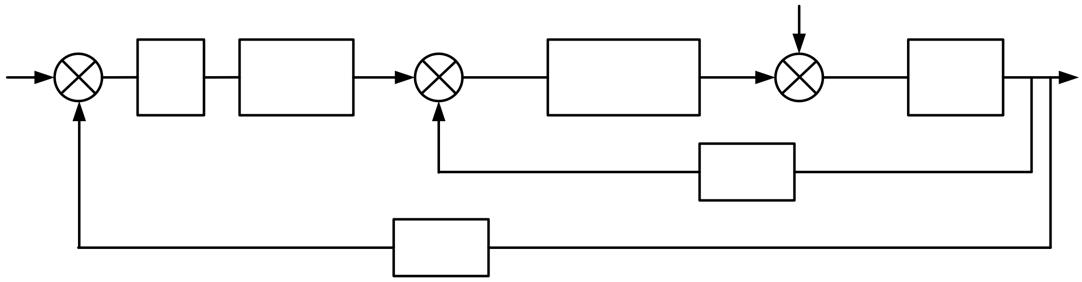


Figure 5: Trame à suivre pour réaliser le schéma bloc du système

Exercice n°9

Étudier la stabilité en fonction de K du système asservi suivant donné par l'équation physique suivante:

$$\frac{d^3s(t)}{dt^3} + 6\,\frac{d^2s(t)}{dt^2} + K\frac{ds(t)}{dt} - (5-K)s(t) = -3\frac{de(t)}{dt} + e(t)$$

Exercice n°10

Soit un système (boucle ouverte) dont l'équation est donnée par :

$$\frac{d^3s(t)}{dt^3} = R.u(t) - 3.s(t) - 2.\frac{ds(t)}{dt} - \frac{d^2s(t)}{dt^2}$$

1. Donner la fonction de transfert en BO, notée $H_{BO}(p)$.
2. Nous effectuons un retour unitaire. Donnez $H_{BF}(p)$ et étudiez les conditions de stabilité.
3. Calculer la valeur finale de l'erreur statique en fonction de R pour un échelon unitaire*.*
4. Peut-on régler R afin d'avoir une erreur de 5%.

Exercice n°11

Soit le système suivant (K>0) :

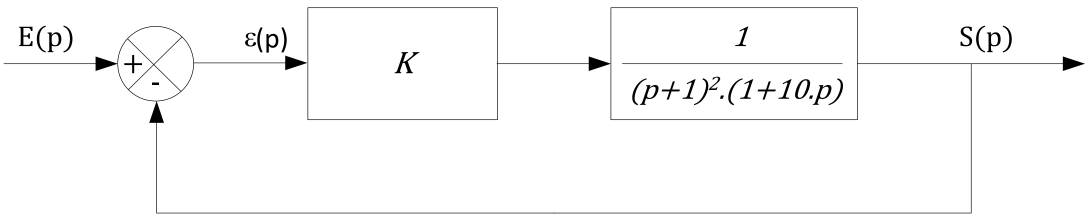


Figure 6 . Schéma bloc du système

1. Étudier la stabilité par Routh.
2. Étudier la stabilité par analyse fréquentielle*(Pour cela, vous devez calculer$H_{BO}(\omega_\pi)$)*
3. Calculer les marges de phase et de gain pour K=18.
   Attention, pour calculer la marge de phase, vous devez trouver la pulsation $\omega_{0\,db}$. A noter que la pulsation $\omega_{0\,db}$ est ici comprise entre 0 et ω_π.

Exercice n°12

La figure suivante montre le lieu de Black de la fonction de transfert :

$$G(p) = \frac{1}{p.(p+1).(0{,}2.p+1)}$$

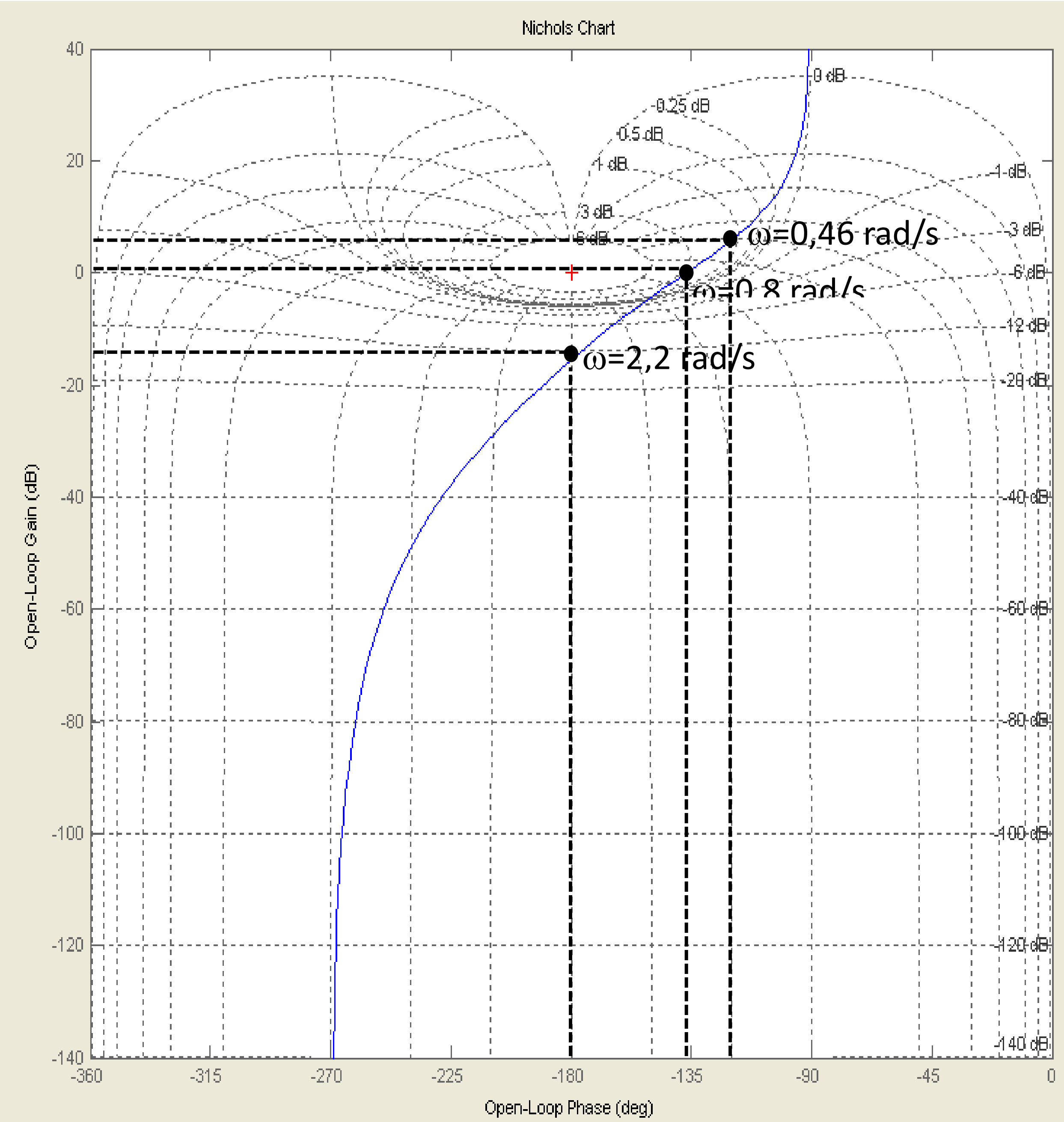


Figure 7 . Diagramme de black du système

1. $G(p)$ est inclus dans une boucle d'asservissement sans amplification d'erreur. Déterminer graphiquement les marges de gain et de phase ?
2. On associe au système G(p) un gain K. A partir du lieu de Black, déterminer pour quelles valeurs de K le système devient instable ?
3. $G(p)$ est maintenant muni d'un retard pur et $K = 1$. Calculer la valeur du retard qui déstabilisera l'asservissement.
4. Le retard pur est ici considéré comme nul, quelle valeur approximative de K permettrait de retrouver une marge de phase de 60° ?

Exercice 13 : stabilité du Segway

Figure 8 . Photo d'un SEGWAY

1–Etude de la stabilité du Segway®

Le sujet porte sur le Segway® que vous pouvez trouver au Champ de Mars de Lille. Ilpermet de visiter Lille en utilisant un mode de transport urbain respectueux de l'environnement.La conduite du Segway® se fait par inclinaison du corps vers l'avant ou vers l'arrière afind'accélérer ou de freiner. L'objectif est qu'après l'avoir incliné vers l'avant ou vers l'arrière, unsystème permette d'asservir et de réguler l'inclinaison du Segway®par rapport à la verticale.

2–Etude de la stabilité d'inclinaison par rapport à la verticale

Pour une utilisation confortable et sûre, le Segway® doit satisfaire les critères suivant :

- Temps de réponse de 0 à 5 km/h : 1 s. maximum,
- Dépassement d'inclinaison : inférieur à 30%,
- Inclinaison du châssis par rapport à la verticale : nulle à convergence $\lim_{t\to\infty} \psi(t) = 0$,
- Hauteur de la marche de trottoir franchissable à 5 km/h : 5 cm max.

La régulation d'inclinaison du Segway® est réalisée par :

- un motoréducteur qui permet de délivrer un couple $C_m(t) = K_m u(t)$ où $u(t)$ est la commande et $K_m = 24\, N.m.V^{-1}$
- les différents angles sont reliés par la relation $\psi(t) = \chi(t) - \alpha(t)$,
- un système mécanique dont les équations ont été déterminées et aboutissent à une équationqui peut se mettre sous la forme :

$$(D.A - B^2).\frac{d^2\chi(t)}{dt^2} = 2.\left(\frac{B}{R} + D\right).C_m(t) + D.C.\chi(t)$$

$$\begin{cases} A = 90\ kg.m^2 \\ B = 75\ kg.m \\ C = 750\ kg.m^2.s^{-2} \\ D = 125\ kg \\ R = 240\ mm \end{cases}$$

Question 1 : A partir des trois équations différentielles ci-dessus, donnez leschéma bloc du système où *U(p)* est l'entrée du système, $\alpha(p)$assimilable à une perturbation et$\psi(t)$ la sortie du système.

Nous notons $H_1(p) = \frac{\chi(p)}{C_m(p)} = \frac{K_1}{\frac{p^2}{{\omega_1}^2} - 1}$.

Question 2 : Donner les expressions de K_1 et de ω_1 puis leurs valeurs numériques.

Question 3 : En prenant $\alpha = 0$, donner la fonction de transfert en boucle ouverte $F1(p) = \frac{\psi(p)}{U(p)}$

Question 4 : Nous insérons maintenantF1(p)dans une boucle d'asservissement avec un retour unitaire,étudiez la stabilité en utilisant le critère de Routh.

Le système est de nouveau en boucle ouverte. Nous allons définir la commande *U(p)* àpartir des mesures de$\frac{d\psi(t)}{dt}$et $\psi(t)$ réalisées par un "gyromètre", et en fonction d'une nouvellecommande$w(t)$.

Nous obtenons alors la relation suivante :

$$U(p) = W(p) - \left(k_p + p.k_v\right).\psi(p)$$

Question 5 : Donner le nouveau schéma bloc. Lorsque $\alpha = 0$, en déduire la fonction de transfert boucle fermée $F2(p) = \frac{\psi(p)}{W(p)}$.

Question 6: Déterminer les conditions sur k_v et k_p pour que le système soit stable.

Question 7: Ecrire *F2(p)* sous la forme généralisée d'un système du second ordre. En déduireles expressions du gain statique K_2, de la pulsation propre ω_0 et du coefficient d'amortissementξen fonction de K_m, K_1, k_v, $k_p$et ω_1.

Par la suite, nous prendrons une pulsation propre ω_0 proche de celle du système mécanique : $\omega_0 = 6{,}15$ rad/s. De plus, nous choisissons des valeurs de k_v et de k_p permettant d'avoir untemps de réponse à *5 %* minimal, ce qui correspond à un coefficient d'amortissement ξégal à 0,7.

Question 8 : Montrer que les valeurs de k_v et $k_p$sont respectivement *2,3* et *14,6*.

3–Asservissement d'inclinaison du Segway®

Dans cette partie, nous prenons de nouveau en considération la perturbation.

La consigne entraînant l'inclinaison $\psi(t)$ du châssis par rapport à la verticale est notée $\psi_c(t)$.Nous introduisons également un correcteur ayant comme fonction de transfert $C(p)$ qui élaborele signal $w(t)$.

Nous avons ainsi :

$$W(p) = C(p).\left(\psi_c(p) - \psi(p)\right)$$

Question 9 : Compléter le schéma bloc en faisant apparaître la régulation de l'inclinaison.

Le conducteur agit directement sur la valeur de $\alpha(t)$pour accélérer ou décélérer. Ceci peut êtreconsidéré comme une perturbation car nous souhaitons que le Segway® ait toujours la mêmeinclinaison $\psi(t)$, angle entre la verticale et l'inclinaison du Segway®. Or, nous voulons qu'ilsoit à la verticale. Il nous faut un angle $\psi(t)$ le plus faible possible donc avoir uneconsigne $\psi_c(t)$ nulle.

Question 10 : Pour le moment, $C(p)$ est un correcteur proportionnel : $C(p) = K_c$. Calculer l'inclinaison $\psi(t)$ en régime permanent ($t \to \infty$) lorsque la perturbation est un échelon d'amplitude α_0. Conclure sur cette correction.

Question 11: Pour un angle $\alpha_0 = 20°$, nous obtenons la réponse temporelle de $\psi(t)$ de la figure suivante (α_0 est provoqué après 1s). En déduire la valeur de K_c du correcteur et conclure sur le correcteur qu'il faudrait mettre en place. Justifier votre réponse !

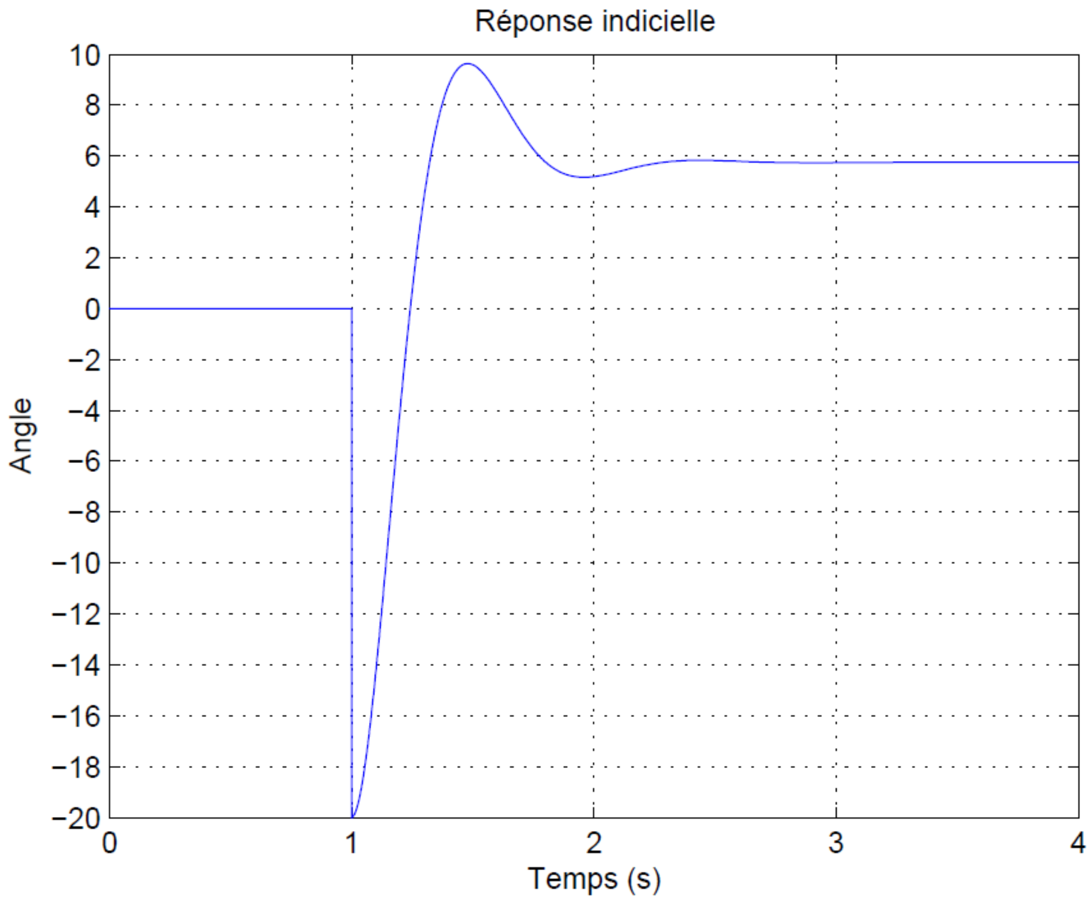


Figure 9 . Réponse temporelle de $\psi(t)$pour un angle α_0

4–Analyse fréquentielle d'un correcteur

Désormais, $C(p)$ n'est plus un correcteur proportionnel mais un correcteur spécifique. Pourcela, nous repartons du système de la question 8 mais nous considérons$\alpha \equiv 0$. L'étude se faitbien évidemment en boucle ouverte et nous avons donc :

$$F_{BO}(p) = C(p).F_2(p)$$

Dans un premier temps, nous limitons l'influence du correcteur $C(p)$. Malgré cela, les relevésfréquentiels de $F_{BO}(j\omega)$ donnent le tableau suivant :

ω	0,003	0,01	0,02	0,06	0,41	1	4	6	9	13	18	30	60
Gain (dB)	31,3	22,1	16,3	10,7	8,9	8,8	8,4	6,5	3,1	-2,2	-8,7	-18,3	-31
Phase (°)	-85,7	-77,6	-65,3	-37	-11	-15,4	-57	-87	-112	-135	-150	-164	-172

Question 12: Sans se laisser surprendre par la forme de la courbe obtenue, tracer $F_{BO}(j\omega)$surl'abaque de Black joint.

Question 13: En déduire graphiquement les valeurs de la marge de gain et de la marge dephase. Conclure sur le comportement fréquentiel du système.

Question 14: Afin de modifier la marge de phase, nous introduisons un correcteur Kcsupplémentaire. Donner la valeur de ce gain pour avoir une marge de phase de $45°$.

Question 15: Déduire du lieu de Black de $F_{BO}(j\omega)$les valeurs du gain et de la phase de la fonction detransfert$F_{BF}(j\omega)$.

Exercice 14 : ETUDE DE L'AUTOMANETTE

Nous allons étudier dans cet exercice, « l'automanette », qui est une commande automatique gérant la chaîne des gaz d'un avion.

Son but est d'ajuster la commande des gaz donnée au moteur afin de maintenir constante la vitesse longitudinale par rapport à l'air de l'appareil.

Identification du système.

Question 1 : A partir de la réponse à un échelon d'amplitude 15 (voir Figure 10 ou **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), identifier ce système en donnant la fonction deTransfert G(p) associée. N'hésitez pas à vous servir de la réponse agrandie représentée de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**. Pour i dentifier ce système, nous appliquons à l'entrée du système un échelon d'amplitude 15.

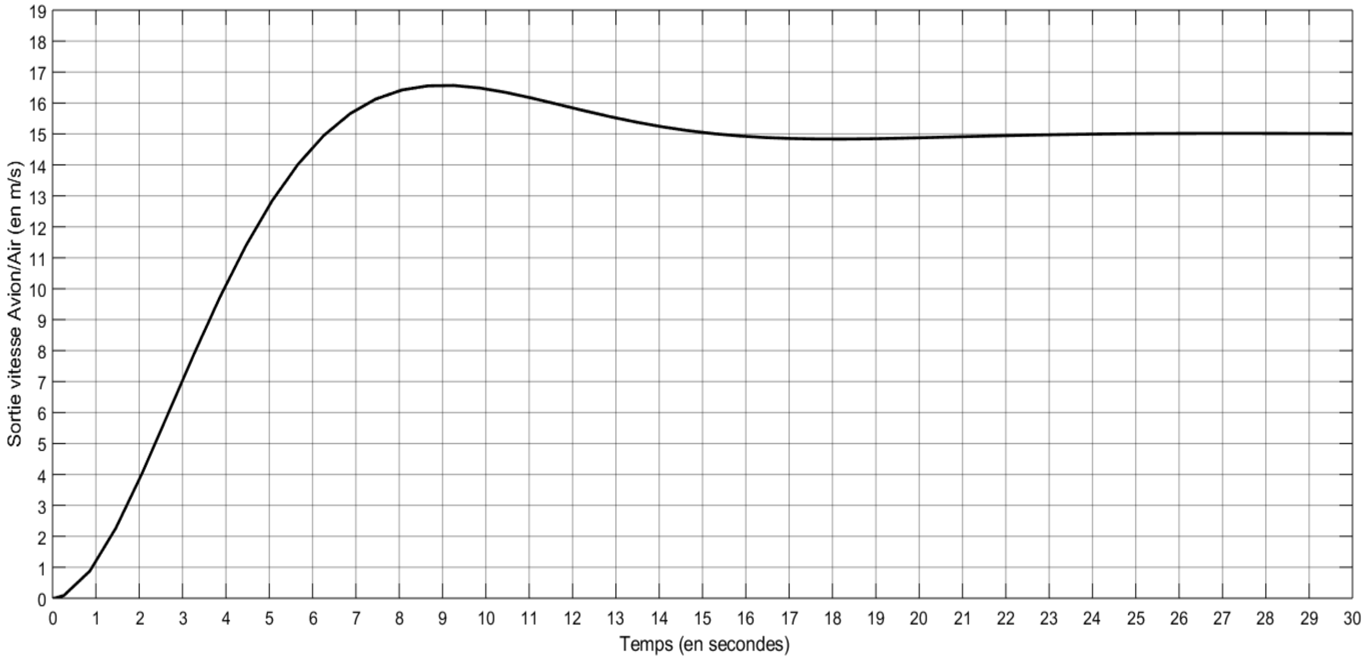


Figure 10 : Réponse du système à identifier soumis à un échelon d'amplitude 15.

Modélisation et étude de la précision du système

Nous avons obtenu les équations différentielles permettant de caractériser le système.

Les équations du système sont les suivantes :

$$\begin{cases} f(t) + 2\,\dfrac{df(t)}{dt} = 3000\,.\,v_c(t) - 3000.\,v_s(t) \\ m.\dfrac{dv_s(t)}{dt} + \Gamma(\mathrm{t}) = f(t) \end{cases}$$

Où : $v_c(t)$: Consigne d'entrée vitesse avion/air

$\Gamma(t)$: Perturbation correspondant à la variation de la pente

$v_s(t)$: Sortie représentant la vitesse effective obtenue de l'avion/air

m : représentant la masse de l'avion (ici 8160 kgs)

Question 2: A partir des équations ci-dessus, établir le schéma bloc du système.

Question 3: Déterminer la fonction de transfert en Boucle Fermée de ce système en asservissement.

Question 4 : En asservissement, déterminer la valeur de l'échelon à mettre en consigne d'entrée si nous voulons une valeur finale de sortie égale à 40 m/s.

Question 5 : Déterminer l'erreur de régulation de ce système pour une perturbation correspondant à un échelon d'amplitude 5000.

Etude fréquentielle du système

Nous allons maintenant tracer le lieu de Black de ce système. <u>La perturbation est supposée nulle</u>.

Question 6 : Déterminer le module et la phase de ce système en boucle ouverte.

Question 7 : Calculer les valeurs du module et de la phase de ce système pour les pulsations de ω données dans le tableau ci-dessous, et tracer le lieu de black de ce système sur l'abaque donnée en annexe (à rendre avec votre copie bien évidemment).

ω(rad/s)	0	0,02	0,1	0,2	0,4	0,6	1	1.5	3

Question 8 : Donnez graphiquement la marge de gain et la marge de phase de ce système. Conclure sur la stabilité et la robustesse de ce système.

Question 9 : A l'aide du lieu Black, déterminer la valeur du gain K qu'il faudrait ajouter au système si nous souhaitons obtenir une marge de phase de 20°.

Question 10 : Retrouver par le calcul la valeur de K déterminée graphiquement à la question 9.

Correction du système

Nous insérons maintenant un correcteur type PI construction parallèle. <u>La perturbation est toujours supposée nulle</u>.

La fonction de transfert de ce correcteur est la suivante :

$R(p) = K_i + \frac{1}{T_i \cdot p}$.

Question 11 : Donner la fonction de transfert en Boucle fermée de ce système ainsi corrigé, notée $H_{BF_{cor}}(p)$ en fonction de K_i et T_i.

Question 12 : A l'aide du critère de Routh, étudier la stabilité de ce système ainsi corrigé en fonction de K_i et T_i.

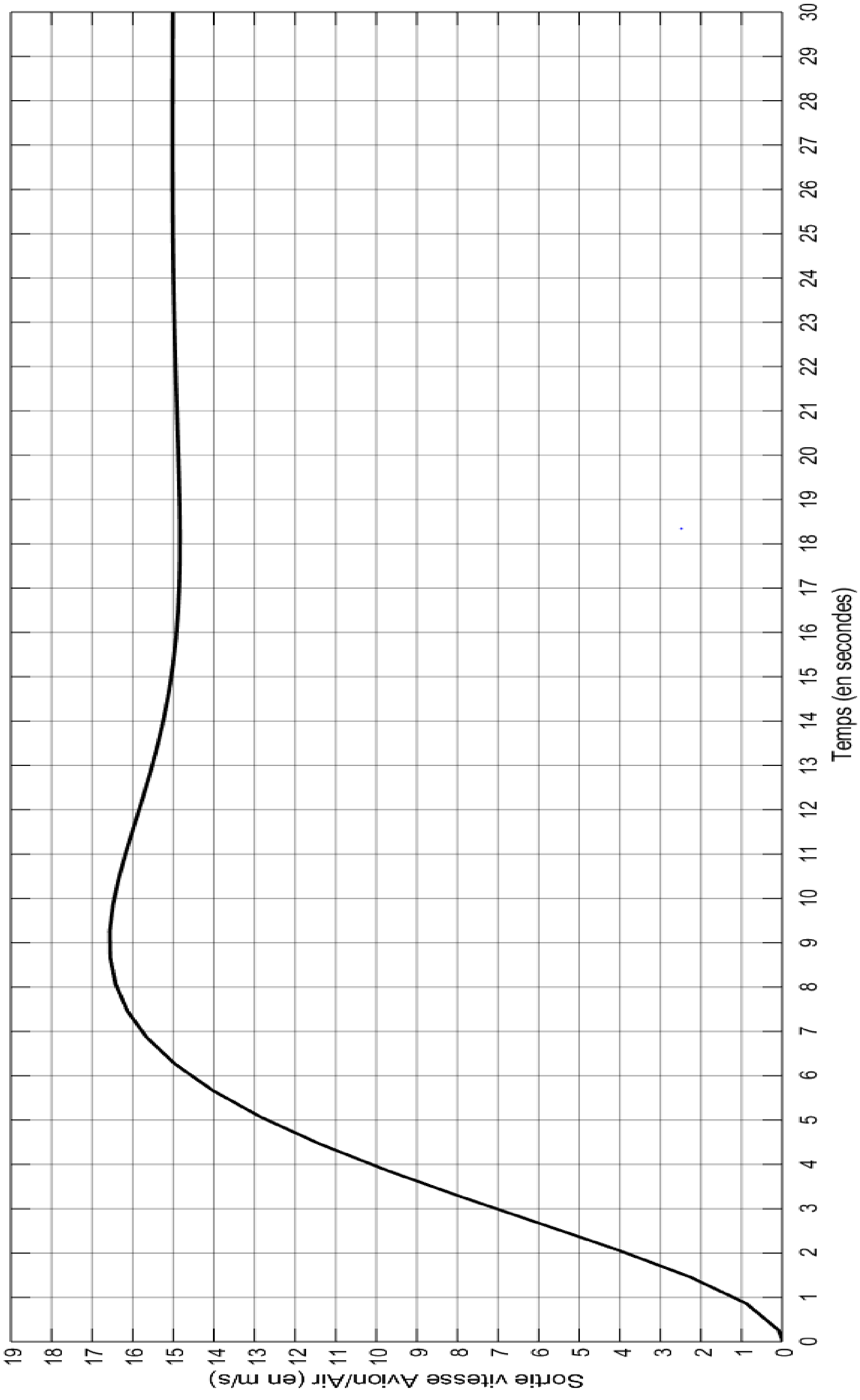
Nous prendrons pour la suite les valeurs suivantes :$K_i = 1.5$ et $T_i = 3$.

Question 13 : Déterminer le module et la phase du correcteur $R(j\omega)$.

Question 14 : Calculer les valeurs du module et de la phase de $R(j\omega)$ pour les pulsations ω données précédemment et enfin tracer le lieu de black du système ainsi corrigé.

Question 15 : Le système corrigé est-il stable ? Donner les nouvelles marges de gain et de phase de ce système.

Barème indicatif : Question 1 : 2 pts - Question 2 : 1 pt - Question 3 : 1 pt - Question 4 : 1,5 pt - Question 5 : 1,5 pts - Question 6 : 1 pts – Question 7 : 1,5 pts – Question 8 : 1,5 pts – Question 9 : 1 pt – Question 10 : 2 pts – Question 11 : 1 pt –Question 12 : 2 pts - Question 13 : 1 pt -Question 14 : 1 pts - Question 15 : 1 pt.


Sortie vitesse Avion/Air (en m/s)
Temps (en secondes)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

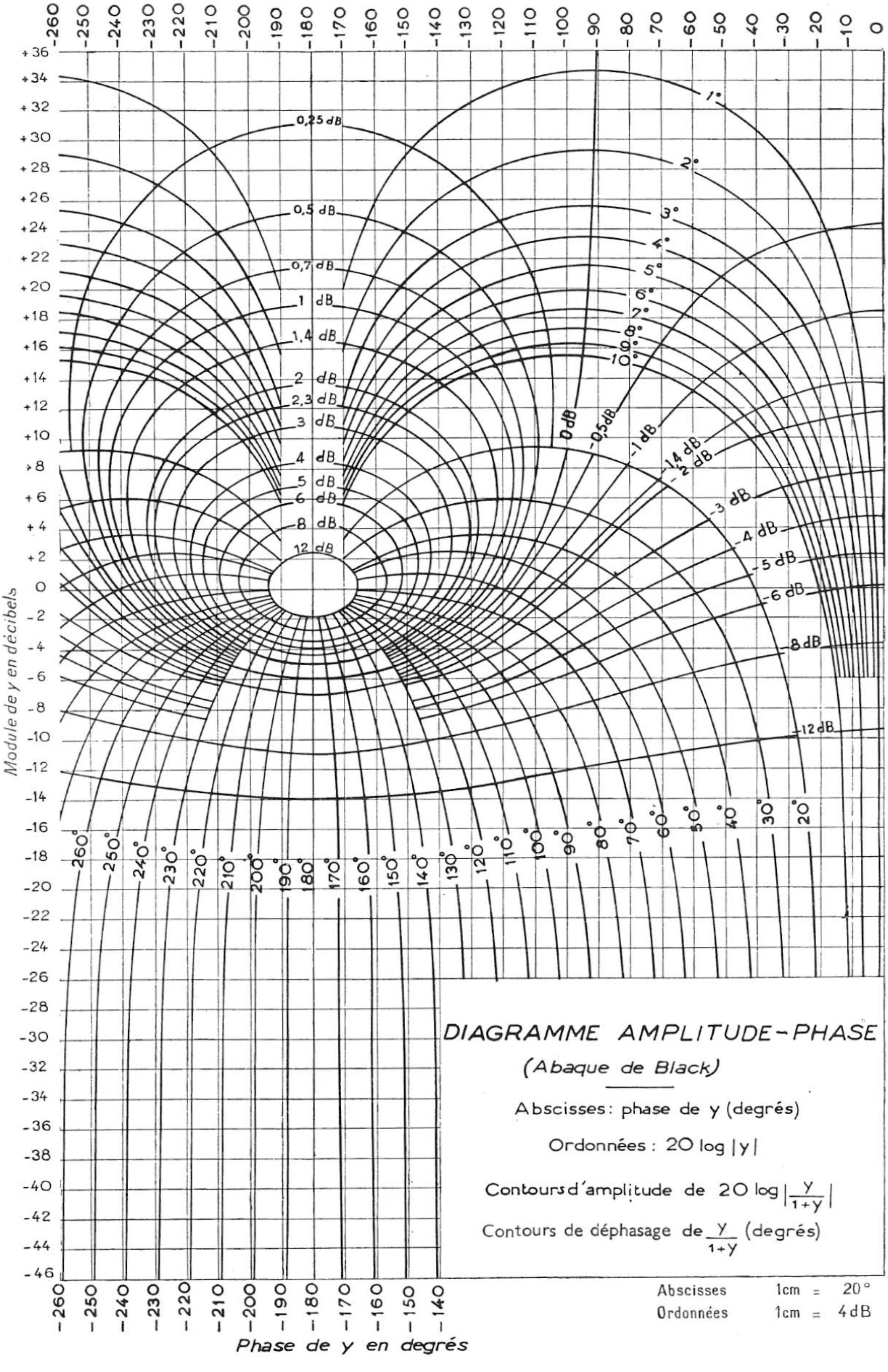


DIAGRAMME AMPLITUDE-PHASE
(Abaque de Black)
Abscisses: phase de y (degrés)
Ordonnées: 20 log |y|
Contours d'amplitude de 20 log |y/(1+y)|
Contours de déphasage de y/(1+y) (degrés)
Abscisses 1cm = 20°
Ordonnées 1cm = 4dB
Phase de y en degrés
Module de y en décibels
0,25 dB
0,5 dB
0,7 dB
1 dB
1,4 dB
2 dB
2,3 dB
3 dB
4 dB
5 dB
6 dB
8 dB
12 dB
0 dB
-0,5dB
-1 dB
-1,4 dB
-2 dB
-3 dB
-4 dB
-5 dB
-6 dB
-8 dB
-12 dB
1°
2°
3°
4°
5°
6°
7°
8°
9°
10°
260°
250°
240°
230°
220°
210°
200°
190°
180°
170°
160°
150°
140°
130°
120°
110°
100°
90°
80°
70°
60°
50°
40°
30°
20°

Exercice 15: Régulation de la température d'une enceinte à chauffage indirecte

Nous désirons réguler la température θd'une enceinte à chauffage indirecte représentée par la figure suivante :

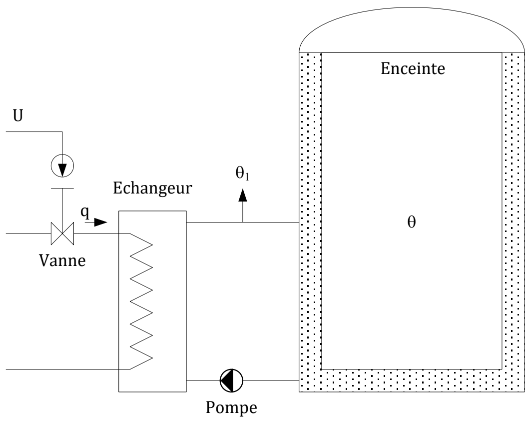


Figure11. Schéma de l'installation

- *u(t)* représente la tension de commande de la vanne,
- *q(t)* le débit dans l'échangeur,
- θ_1 la température en sortie de l'échangeur,
- θ la température de l'enceinte.

Nous donnons les relations suivantes :

$$(1)\quad q(t) = k_0.\int_0^t u(\tau)\,d\tau$$

$$(2)\quad \theta_1(t) + \tau_1.\frac{d\theta_1(t)}{dt} = k_1\,.\,q(t)$$

$$(3)\quad \theta(t) + \tau_2.\frac{d\theta(t)}{dt} = k_2\,.\,\theta_1(t)$$

Nous supposons que toutes les conditions initiales sont nulles.

Pour les applications numériques, nous prendrons: $\tau_1=600s$, $\tau_2=6000s$, $k_2=1$, $k_1=20$ S.I., $k_o=2.10^{-4}$ S.I.

Nous poserons $\lambda = k_o.k_1.k_2$.

7.1–Schéma bloc du système

Donner le schéma bloc du système et en déduire la fonction de transfert du système d'entrée u et de sortie θ que nous noterons *H(p)*.

7.2–Etude d'une régulation proportionnelle

Désormais : $u(t) = k.\,\varepsilon(t) = k.\left(\theta_{ref}(t) - \theta(t)\right)$où $\theta_{ref}(t)$ est la température de consigne.

1. Représenter le schéma bloc du système
2. Pour déterminer k, nous allons négliger un des pôles du système (le pôle ayant la plus faible incidence, soit l'opposée de l'inverse de la constante de temps non nulle la plus faible "constante de temps la plus faible").
   - A partir des valeurs numériques, quel est le pôle à négliger ?
   - Donner l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte approchée H_{BOa}.
   - Calculer à partir de H_{BOa} la fonction de transfert en boucle fermée approchée H_{BFa}.
   - Nous écrirons H_{BFa} sous forme d'un second ordre normalisé : $\frac{1}{\frac{1}{\omega_0{}^2}.p^2+2.\frac{\xi}{\omega_0}p+1}$.

   Donner ω_0 et ξ.

- Calculer la valeur de k pour avoir un coefficient d'amortissement $\xi = \frac{\sqrt{2}}{2}$. Application numérique.
- Déterminer le temps de réponse à 5% du système asservi (faire l'application numérique).
- Calculer la valeur finale et le dépassement en réponse à un échelon de θ_{ref} de $10°$ et représenter l'allure de la courbe.

Dans la suite du problème, nous ne faisons plus d'approximations pour H_{BO}.

3. La valeur de k étant égale à 0,02, nousallons regarder ce qui se passe pour le système sans approximation. Déterminer la marge de gain. Conclure ?

7.3–Etude d'une régulation proportionnelle et dérivée

$$U(p) = k(1 + T_d.p).\left(\theta_{ref}(p) - \theta(p)\right)$$

Nous compensons la plus grande constante de temps par T_d.

1. Représenter le système sous forme d'un schéma bloc.
2. Calculer la fonction de transfert en boucle fermée.
3. Calculer la valeur de k, pour avoir un amortissement $\xi = \frac{\sqrt{2}}{2}$.
4. Déterminer le temps de réponse à 5% du système asservi (faire l'application numérique).
5. Calculer la valeur finale et le dépassement en réponse à un échelon de $10°$ et représenter l'allure de la courbe.
6. Conclure sur l'avantage par rapport au régulateur proportionnel.

7.4–Étude d'un régulateur cascade

Nous asservissons d'abord la température θ_1 avec un régulateur PD : $U(p) = k(1 + T_d.p).\left(\theta_{1ref}(p) - \theta_1(p)\right)$

1. Représenter le schéma bloc de cette partie du système.
2. Choisir T_d de façon que ce système asservi soit du premier ordre.
3. Choisir K pour avoir un temps de réponse de $\theta_1(t)$ égale à τ_1 lorsque $\theta_{1ref}(t)$ est un échelon.

Nous réalisons une deuxième boucle avec un régulateur PI :

$$\theta_{1ref}(p) = k_i.\frac{(1 + T_i.p)}{p}.\left(\theta_{ref}(p) - \theta(p)\right)$$

1. Représenter le schéma bloc de l'ensemble de l'installation.
2. Nous choisissons $T_i = \tau_2$. Réduire ce schéma bloc.
3. Montrer que le système est un second ordre.
4. Calculer la valeur de k_i, pour avoir un amortissement $\xi = \frac{\sqrt{2}}{2}$.
5. Déterminer le temps de réponse à 5% du système asservi (faire l'application numérique).
6. Calculer la valeur finale et le dépassement en réponse à un échelon de $10°$ et représenter l'allure de la courbe.
7. Conclure sur l'avantage de cette régulation cascade.

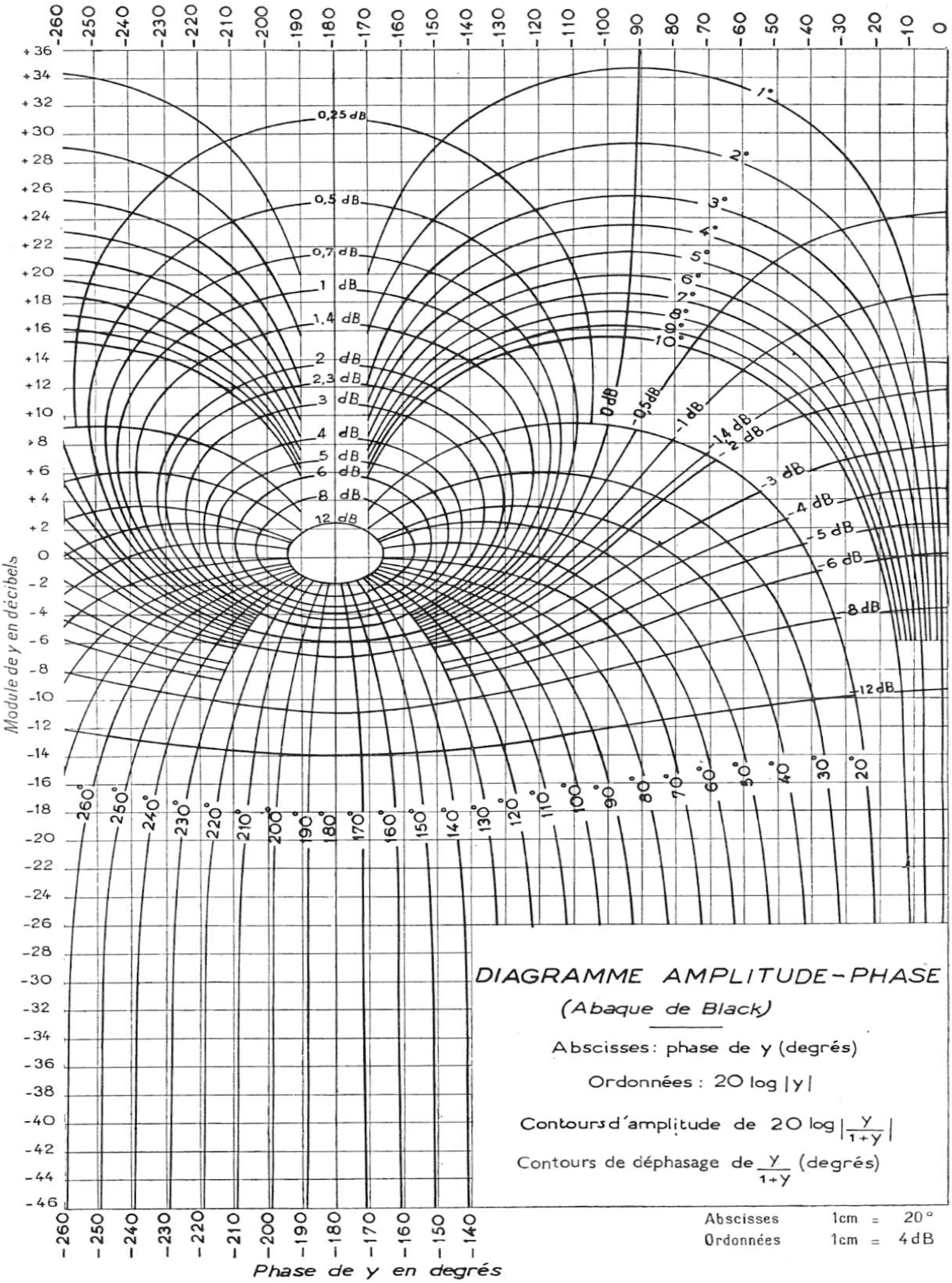


DIAGRAMME AMPLITUDE-PHASE
(Abaque de Black)
Abscisses: phase de y (degrés)
Ordonnées : 20 log |y|
Contours d'amplitude de 20 log |y/(1+y)|
Contours de déphasage de y/(1+y) (degrés)
Abscisses 1cm = 20°
Ordonnées 1cm = 4dB
Module de y en décibels
Phase de y en degrés
0,25 dB
0,5 dB
0,7 dB
1 dB
1,4 dB
2 dB
2,3 dB
3 dB
4 dB
5 dB
6 dB
8 dB
12 dB
0 dB
-0,5 dB
-1 dB
-1,4 dB
-2 dB
-3 dB
-4 dB
-5 dB
-6 dB
-8 dB
-12 dB

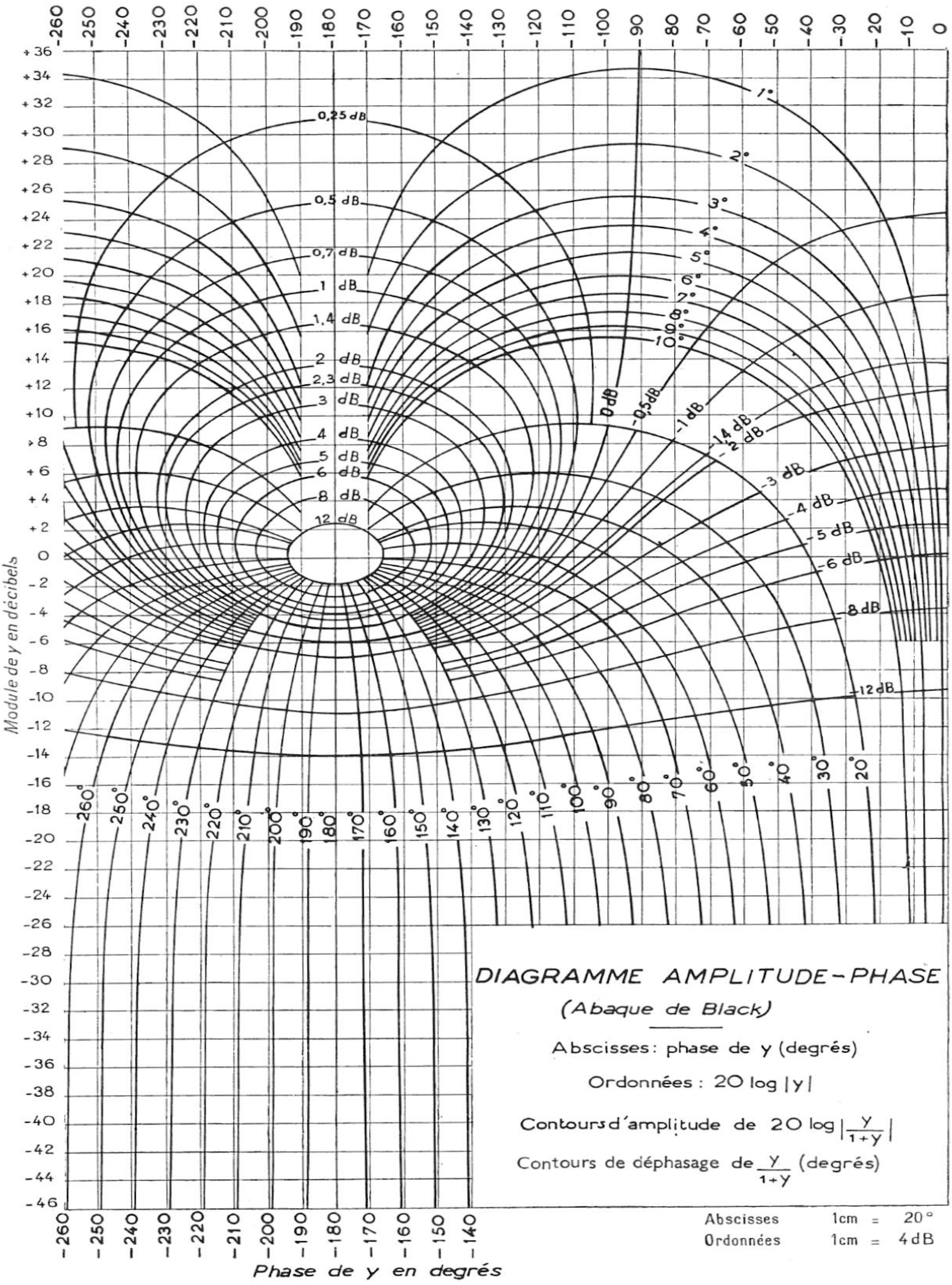


DIAGRAMME AMPLITUDE-PHASE
(Abaque de Black)
Abscisses: phase de y (degrés)
Ordonnées : 20 log |y|
Contours d'amplitude de 20 log $\left|\frac{y}{1+y}\right|$
Contours de déphasage de $\frac{y}{1+y}$ (degrés)
Abscisses 1cm = 20°
Ordonnées 1cm = 4dB
Phase de y en degrés
Module de y en décibels
-260 -250 -240 -230 -220 -210 -200 -190 -180 -170 -160 -150 -140 -130 -120 -110 -100 -90 -80 -70 -60 -50 -40 -30 -20 -10 0
+36 +34 +32 +30 +28 +26 +24 +22 +20 +18 +16 +14 +12 +10 +8 +6 +4 +2 0 -2 -4 -6 -8 -10 -12 -14 -16 -18 -20 -22 -24 -26 -28 -30 -32 -34 -36 -38 -40 -42 -44 -46
0,25 dB
0,5 dB
0,7 dB
1 dB
1,4 dB
2 dB
2,3 dB
3 dB
4 dB
5 dB
6 dB
8 dB
12 dB
0 dB
-0,5dB
-1 dB
-1,4 dB
-2 dB
-3 dB
-4 dB
-5 dB
-6 dB
-8 dB
-12 dB
1°
2°
3°
4°
5°
6°
7°
10°
260° 250° 240° 230° 220° 210° 200° 190° 180° 170° 160° 150° 140° 130° 120° 110° 100° 90° 80° 70° 60° 50° 40° 30° 20°

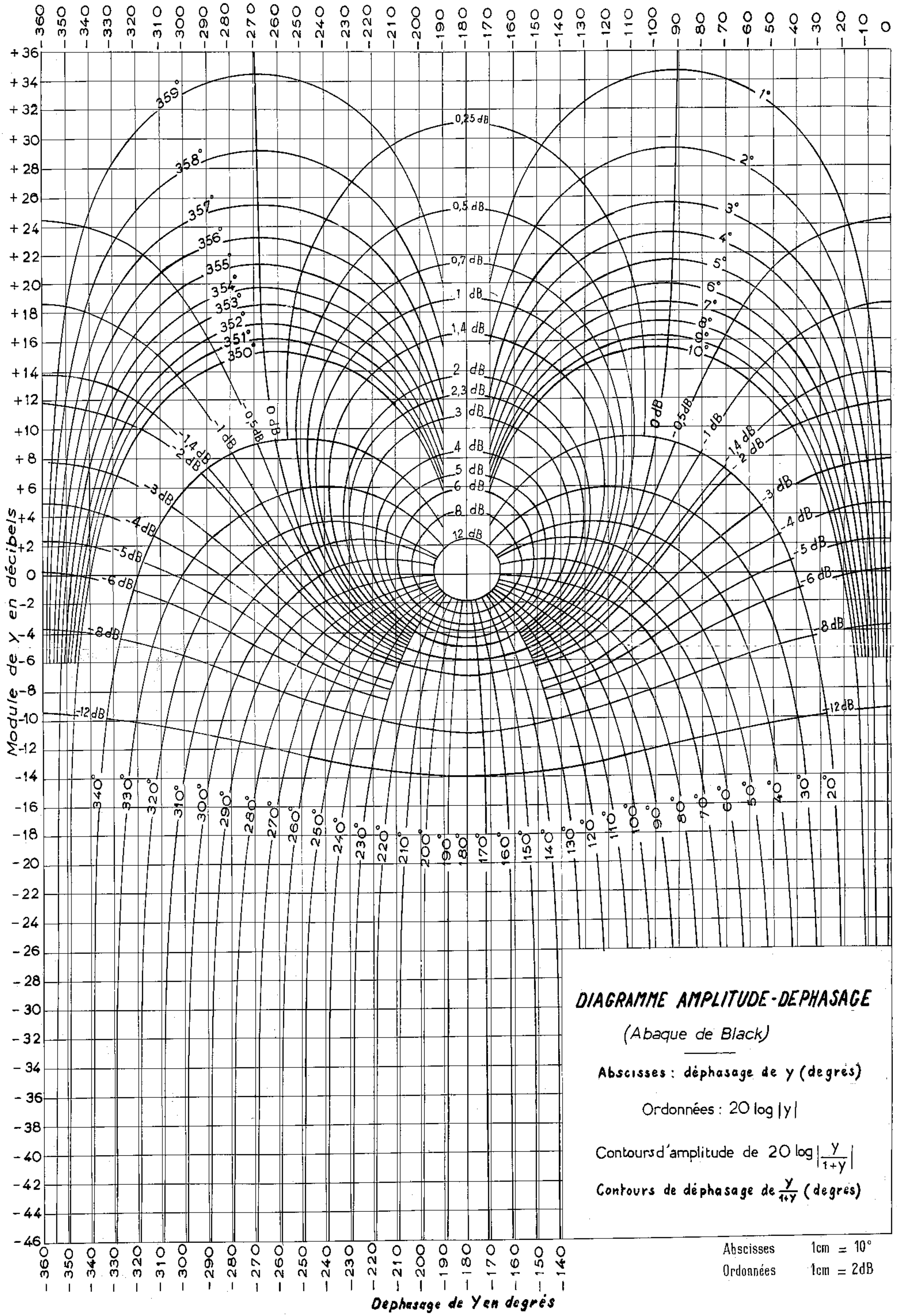


DIAGRAMME AMPLITUDE-DEPHASAGE
(Abaque de Black)
Abscisses : déphasage de y (degrés)
Ordonnées : 20 log |y|
Contours d'amplitude de 20 log |y/(1+y)|
Contours de déphasage de y/(1+y) (degrés)
Abscisses 1cm = 10°
Ordonnées 1cm = 2dB
Module de Y en décibels
Dephasage de Y en degrés

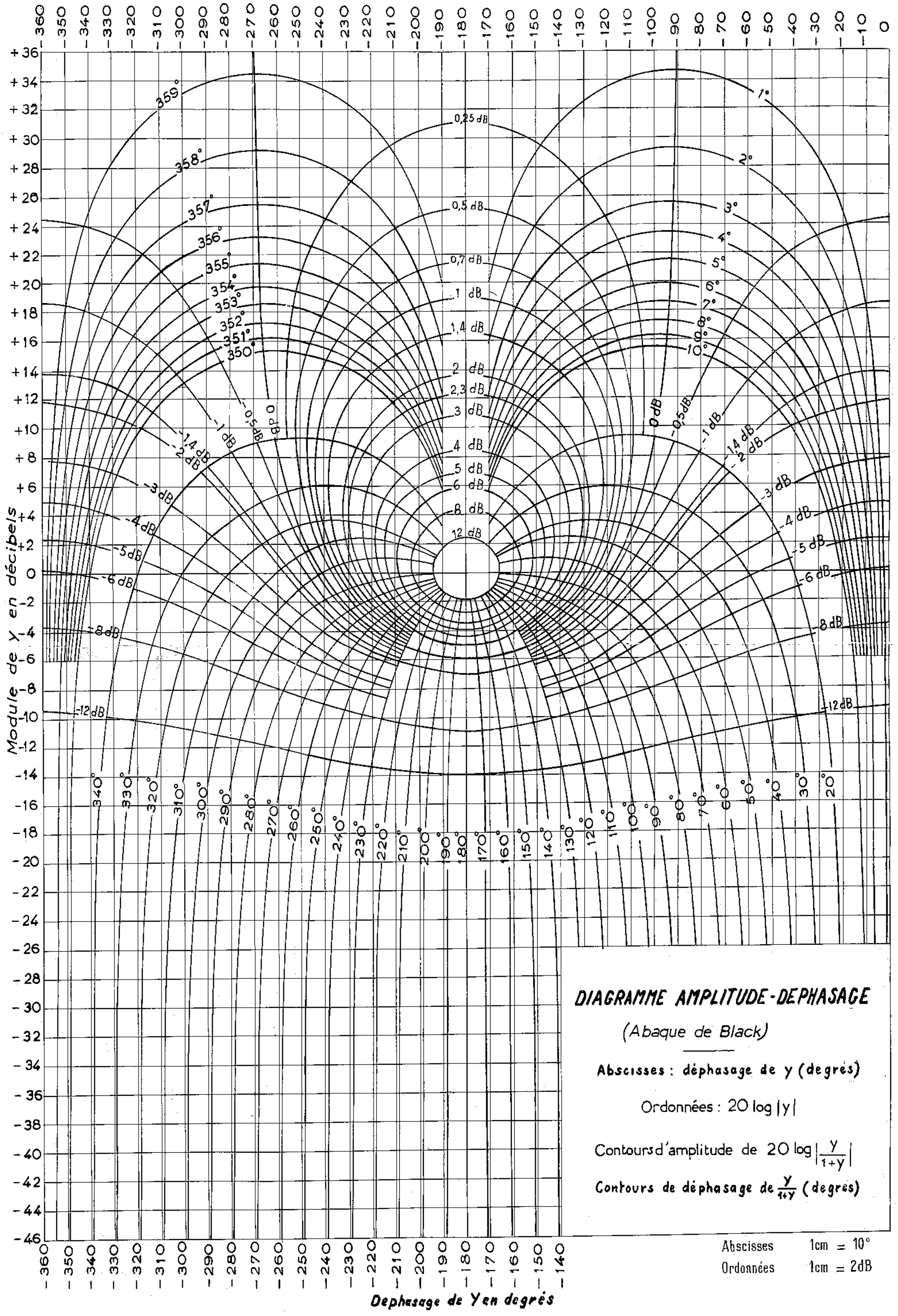


DIAGRAMME AMPLITUDE-DEPHASAGE
(Abaque de Black)
Abscisses : déphasage de y (degrés)
Ordonnées : 20 log |y|
Contours d'amplitude de 20 log |y/(1+y)|
Contours de déphasage de y/(1+y) (degrés)
Module de Y en décibels
Dephasage de Y en degrés
Abscisses 1cm = 10°
Ordonnées 1cm = 2dB

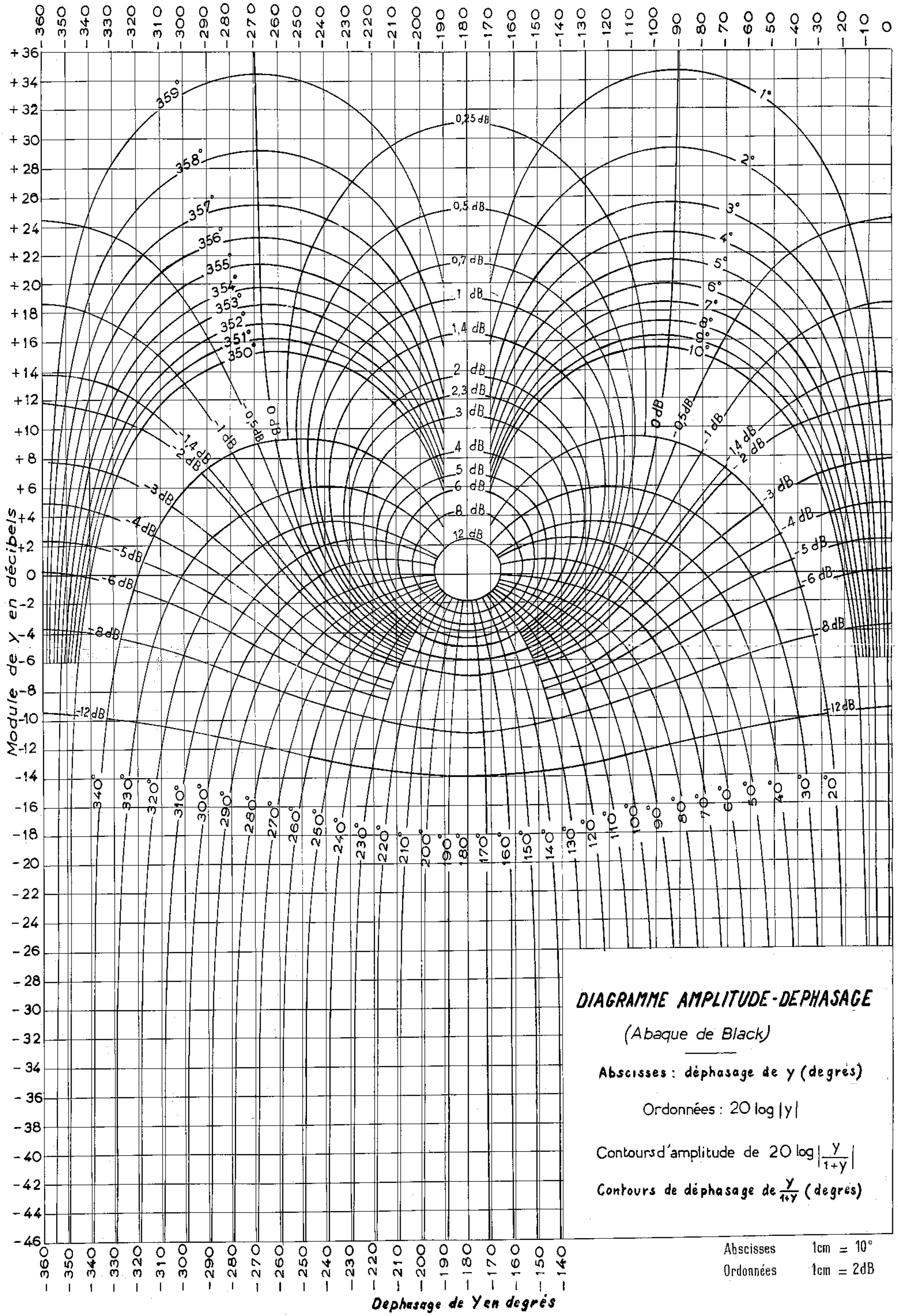


DIAGRAMME AMPLITUDE-DEPHASAGE
(Abaque de Black)
Abscisses : déphasage de y (degrés)
Ordonnées : 20 log |y|
Contours d'amplitude de 20 log |y/(1+y)|
Contours de déphasage de y/(1+y) (degrés)
Abscisses 1cm = 10°
Ordonnées 1cm = 2dB
Module de Y en décibels
Dephasage de Y en degrés