

Brevet de Technicien Supérieur

Systemes Électroniques

Épreuve E4

Étude d'un Système Technique

Unité U4.2 – Physique Appliquée

Session 2015

Durée : 4 heures
Coefficient : 4

Matériel autorisé :

- Toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique, à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Circulaire n°99-186, 16/11/1999).

Documents à rendre avec la copie :

- Documents réponse..... BR1 à BR5

Ce sujet comporte :

Sujet..... B1 à B15
Documents réponse BR1 à BR5
Documentation BAN1

Dès la remise du sujet, s'assurer qu'il est complet.

BTS Systèmes Électroniques – Étude d'un Système Technique		Session 2015
U4.2 – Physique Appliquée	Code : 15SEE4PA1	Page : 1/1

Système de surveillance de viabilité hivernale

Mise en situation

Le système de surveillance de viabilité hivernale, support de l'étude, est capable de transmettre des alertes et d'être interrogé à distance.

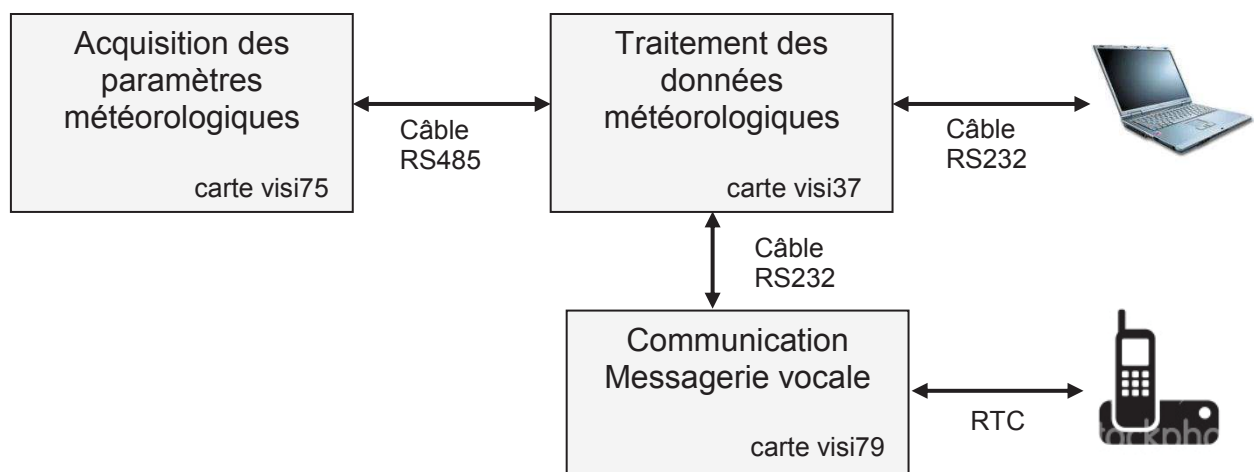
Un tel système permet, en temps réel, de connaître les conditions climatiques de circulation pour organiser, si nécessaire, des interventions de salage des chaussées.

Les paramètres météorologiques surveillés sont principalement :

- les températures de l'air et du sol,
- le taux d'humidité relative de l'air,
- la vitesse et la direction du vent.

La station météorologique permet le traitement des grandeurs mesurées par différents capteurs.

Schéma fonctionnel du système de surveillance de viabilité hivernale



La station météorologique décrite ci-dessus répond à trois grandes fonctionnalités :

- **acquisition des paramètres météorologiques** : les grandeurs environnementales sont collectées à l'aide de la carte visi75 ;
- **traitement des données météorologiques** : les données collectées sont traitées et interprétées par la carte visi37. Elles permettent le déclenchement d'alertes, par exemple en cas de présence de brouillard ou de givre ;
- **messagerie vocale** : les usagers de la route peuvent obtenir en temps réel, en composant le numéro de téléphone attribué à la station, les conditions climatiques du lieu d'implantation de cette dernière. La carte visi79, via la liaison RTC, permet de réaliser cette fonction.

BTS Systèmes Électroniques – Étude d'un Système Technique	Session 2015
U4.2 – Physique Appliquée - Sujet	Code : 15SEE4PA1
	Page : B1/B15

A. Acquisition de l'humidité relative

Pour son fonctionnement, la centrale météorologique nécessite la mesure de grandeurs physiques, en particulier l'humidité relative HR de l'air.

I. Sonde hygrométrique

Des extraits de la documentation de la sonde HMP45A utilisée sont donnés **page BAN1**.

1. Grandeurs caractéristiques

1.1. Indiquer les références des différents capteurs intégrés dans la sonde en précisant, pour chacun d'eux, la grandeur physique mesurée.

1.2. Préciser la plage de variation de la grandeur physique mesurée par chacun des capteurs.

1.3. Préciser la nature de la grandeur de sortie pour chacun des capteurs et préciser sa plage de variation.

1.4. La grandeur caractéristique du capteur capacitif d'humidité est :

$C_{HR} = \varepsilon \frac{A}{d}$, A étant la surface du capteur, d l'épaisseur du capteur et ε la permittivité diélectrique.

En considérant que la géométrie du capteur reste constante, indiquer le paramètre qui varie en fonction de l'humidité relative de l'air.

2. Modélisation électrique de la sonde hygrométrique

Le schéma de principe de la sonde hygrométrique est représenté **figure 1** :

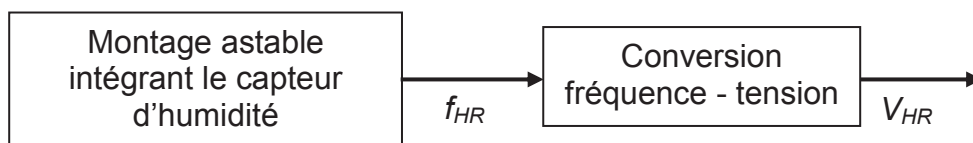


Figure 1

Le schéma du montage astable est donné **figure 2**.

L'amplificateur opérationnel, considéré comme parfait, est alimenté entre $+V_{cc}$ et $-V_{cc}$ et fonctionne en régime de saturation.

BTS Systèmes Électroniques – Étude d'un Système Technique		Session 2015
U4.2 – Physique Appliquée - Sujet	Code : 15SEE4PA1	Page : B2/B15

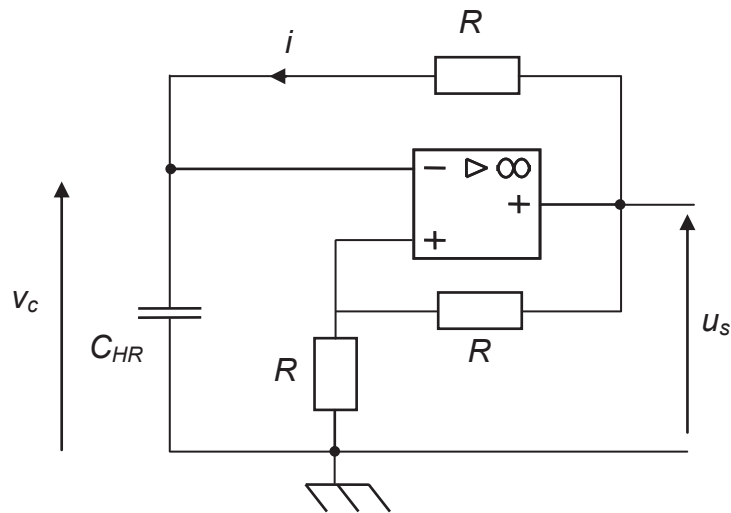


Figure 2

2.1. Variations de v_c

Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la tension v_c peut se mettre sous la forme : $v_c + \tau \frac{dv_c}{dt} = u_s$. Donner l'expression de τ et donner son unité.

2.2. Exploitation des graphes

Les allures de v_c et u_s pour une humidité relative fixée sont données **figure 3** :

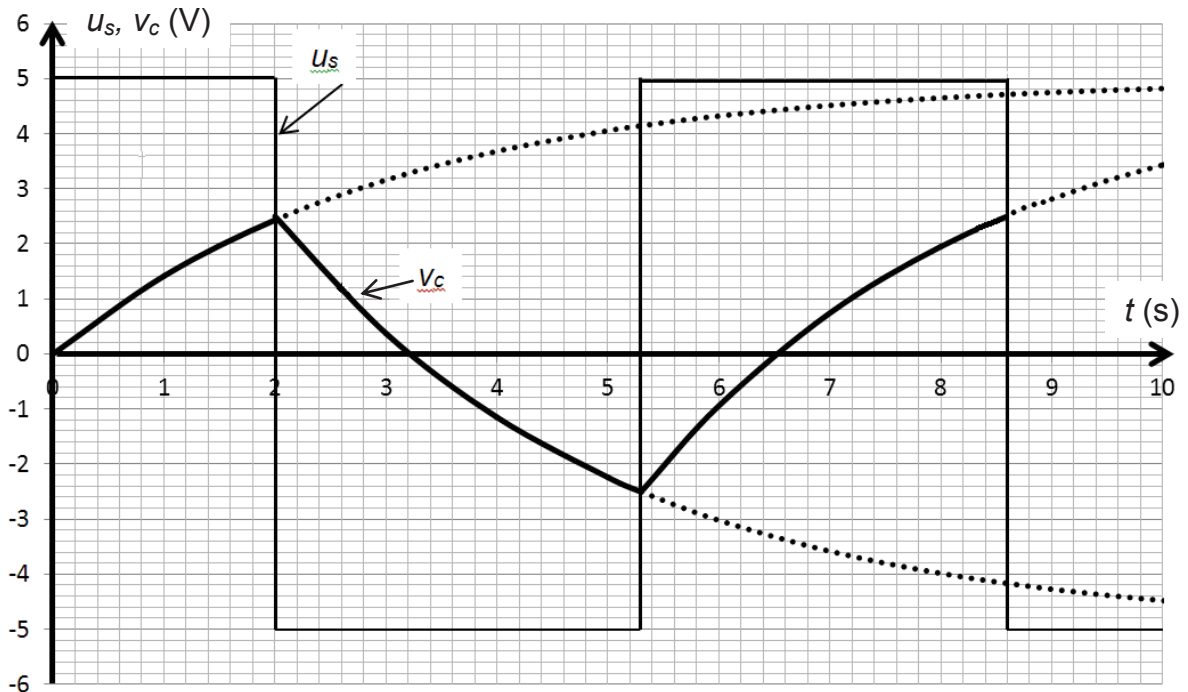


Figure 3

- a. Déterminer graphiquement les valeurs des tensions d'alimentation de l'amplificateur opérationnel, les valeurs de la tension v_c provoquant le basculement de la sortie u_s et la période T_{HR} .
- b. Évaluer la valeur de la constante de temps τ en précisant la méthode utilisée.
- c. On donne : $T_{HR} = 2\tau \ln 3$. Justifier que la fréquence f_{HR} permet de déterminer l'humidité relative.

II. Humidité relative et condensation

L'air humide est un mélange d'air sec et d'eau sous forme de vapeur.

La quantité de vapeur d'eau Q présente dans l'air est variable mais a une limite supérieure Q_m , dépendant de la température, pour laquelle l'air est saturé. En deçà de cette température de saturation, il y a **condensation**.

L'humidité relative HR , exprimée en pourcentage, est donnée par le rapport :

$$HR = \frac{Q}{Q_m}$$

Q : quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air donné.

Q_m : quantité de vapeur d'eau maximale que peut contenir ce même volume d'air dans les mêmes conditions de température.

$HR = 100 \%$ correspond à l'apparition de la condensation.

Le diagramme de MOLLIER, donné **figure 4**, représente la quantité de vapeur d'eau Q en fonction de la température pour différentes valeurs de l'humidité relative HR .

1. Notion d'humidité relative de l'air

Un volume d'air contient une quantité de vapeur d'eau Q , constante, égale à 6,5 g/kg. Sa température est de 20 °C.

1.1. Donner à l'aide du diagramme de MOLLIER une estimation de la valeur de HR .

1.2. Pour cette valeur de Q constante, préciser comment évolue HR lorsque la température diminue. En déduire comment évolue Q_m en fonction de la température.

BTS Systèmes Électroniques – Étude d'un Système Technique		Session 2015
U4.2 – Physique Appliquée - Sujet	Code : 15SEE4PA1	Page : B4/B15

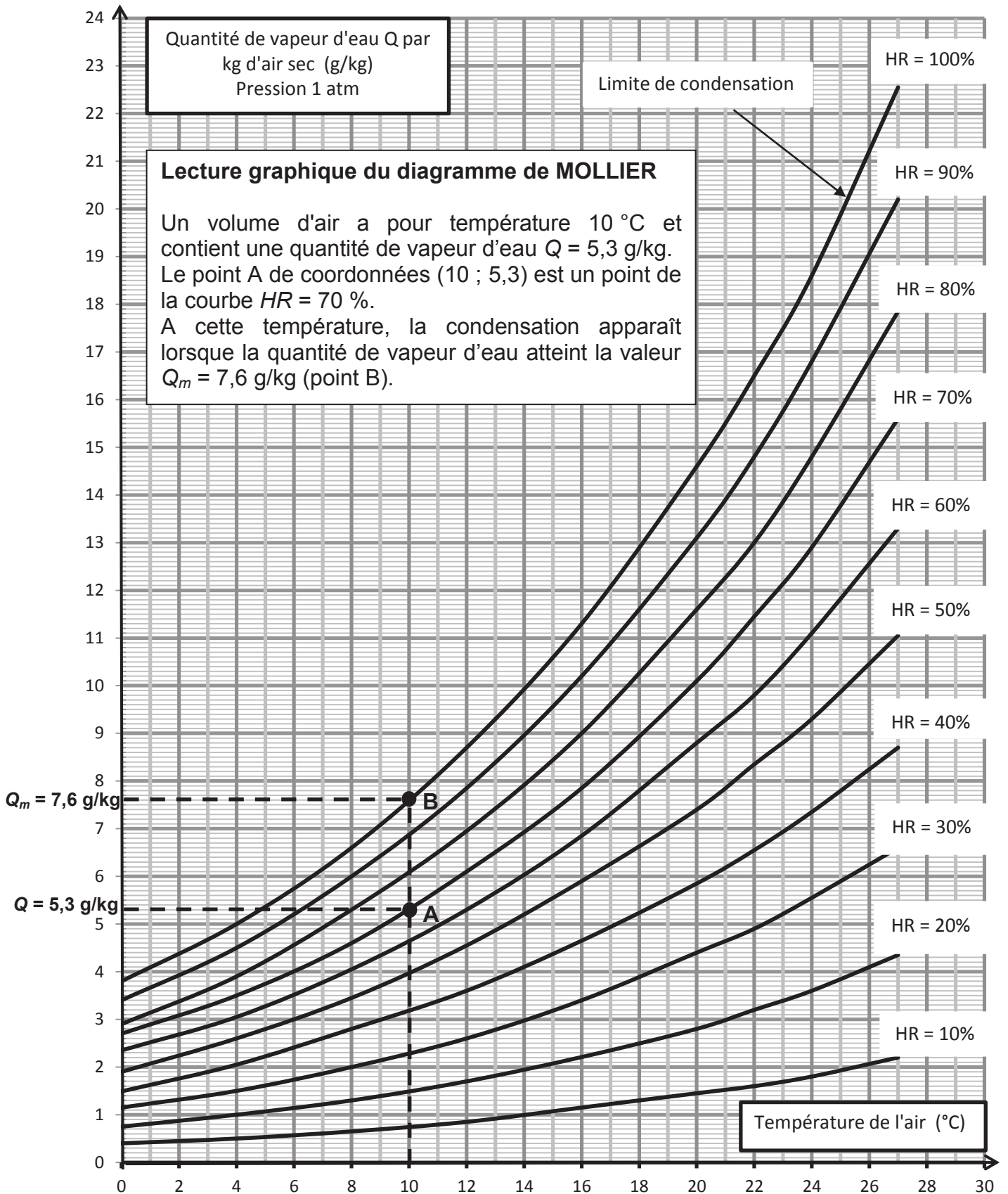


Figure 4

2. Limite de condensation

2.1. À l'aide du diagramme de MOLLIER, compléter le tableau sur le document réponse **DR1 page BR1**.

2.2. En déduire l'évolution de la quantité de vapeur d'eau correspondant à la limite de condensation lorsque la température de l'air diminue. Vérifier que ce résultat est compatible avec l'étude effectuée question II.1.2.

3. Point de rosée

Un air non saturé, pour lequel **Q reste constante**, peut donc le devenir en se refroidissant et être ainsi le siège de condensation. La température à partir de laquelle se produit ce phénomène est le **point de rosée**.

3.1. Compléter le tableau sur le document réponse **DR2 page BR1** à l'aide du diagramme de MOLLIER.

3.2. Justifier que la sonde HMP45A peut permettre de déterminer le point de rosée.

B. Interrogation à distance de la station météorologique

En fonction des conditions climatiques, le message sonore adressé aux usagers de la route est reconstitué à partir de données numérisées pré-programmées.

La chaîne de traitement de ces données est représentée **figure 5** :

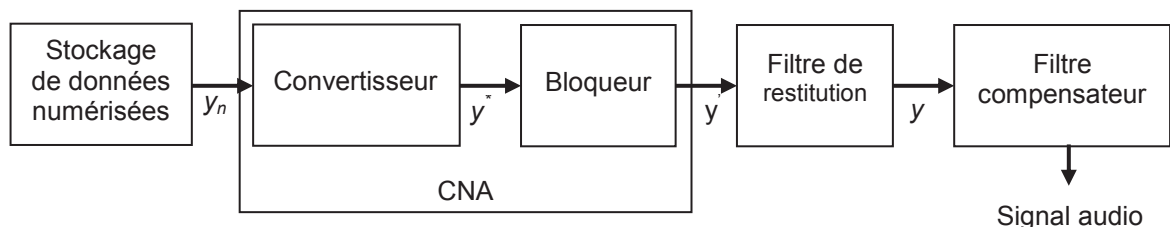


Figure 5

Le C.NA. est modélisé par un convertisseur et un bloqueur :

y_n : mots binaires issus du stockage de données

y^* : échantillons analogiques correspondants aux mots binaires y_n

y' : signal en marche d'escaliers obtenu après blocage des échantillons analogiques

y : signal sans discontinuité obtenu par filtrage

On se limitera à la bande de fréquence s'étendant de 300 Hz à 3 400 Hz pour le signal audio.

On notera $f_{min} = 300$ Hz et $f_{max} = 3\,400$ Hz

BTS Systèmes Électroniques – Étude d'un Système Technique		Session 2015
U4.2 – Physique Appliquée - Sujet	Code : 15SEE4PA1	Page : B6/B15

I. Bloqueur

1. Réponse en fréquence du bloqueur

1.1. La transmittance de Laplace du bloqueur $T_B(p)$ est la suivante :

$$T_B(p) = \frac{1 - e^{-T_e p}}{p}$$

Avec T_e période d'échantillonnage.

En déduire l'expression de la transmittance complexe $\underline{T}_B(jf)$ en fonction de la fréquence f et de la fréquence d'échantillonnage f_e .

La transmittance complexe peut se mettre sous la forme : $\underline{T}_B(jf) = \frac{\sin\left(\pi \frac{f}{f_e}\right)}{\pi f} e^{-j\pi \frac{f}{f_e}}$

1.2. En déduire l'expression du module $|\underline{T}_B(jf)|$ de $\underline{T}_B(jf)$.

1.3. Préciser les fréquences pour lesquelles $|\underline{T}_B(jf)|$ s'annule, puis vérifier les résultats à l'aide du graphe $|\underline{T}_B(jf)|$ en fonction de la fréquence f représenté **figure 6** :

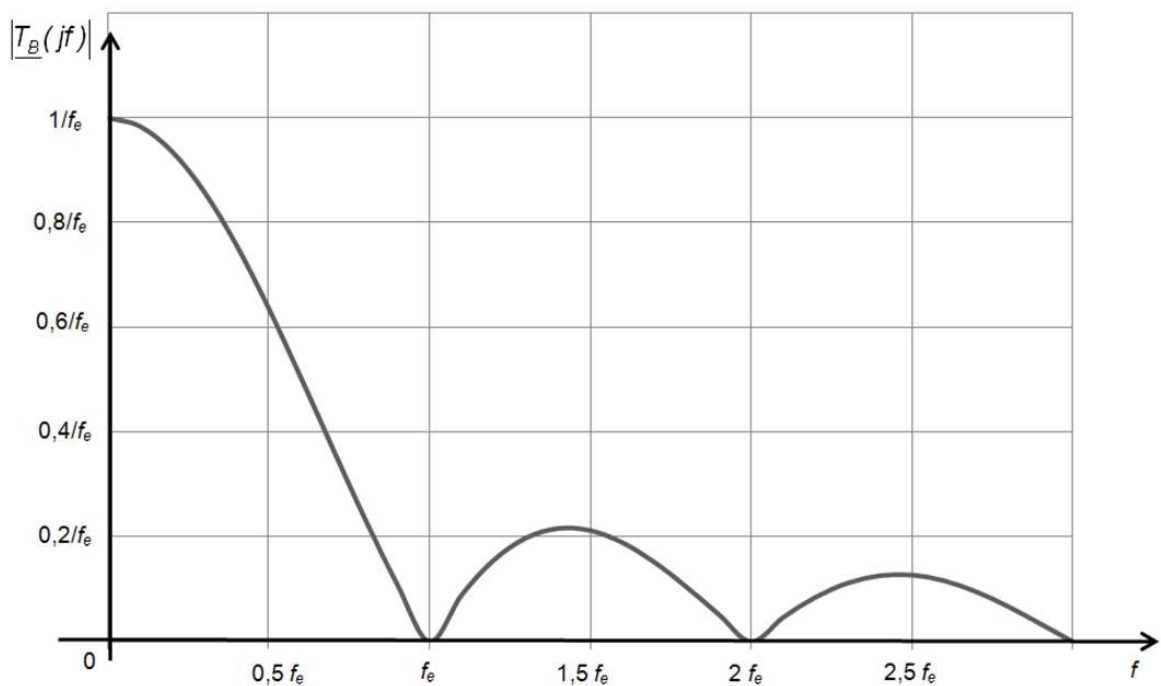


Figure 6

BTS Systèmes Électroniques – Étude d'un Système Technique		Session 2015
U4.2 – Physique Appliquée - Sujet	Code : 15SEE4PA1	Page : B7/B15

2. Action du bloqueur

Le spectre du signal y^* en **entrée du bloqueur** est représenté **figure 7** :

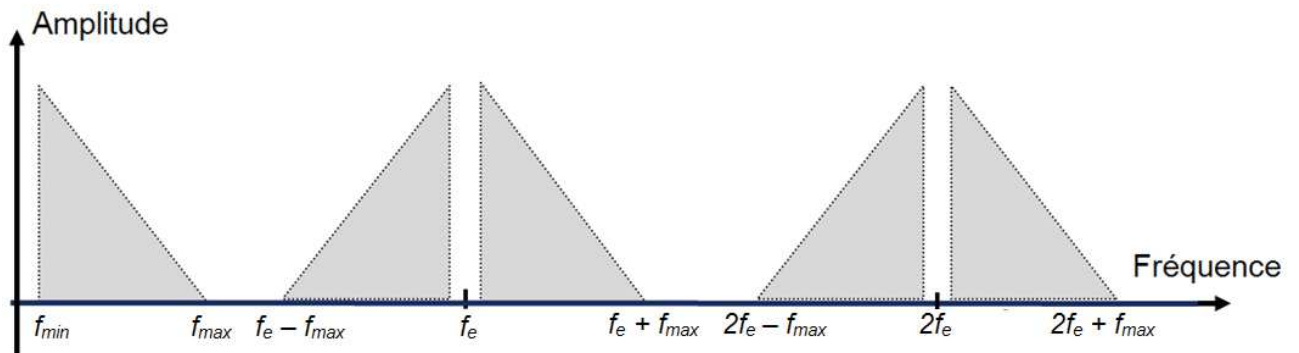


Figure 7

Le spectre du signal y' en **sortie du bloqueur** est représenté **figure 8** :

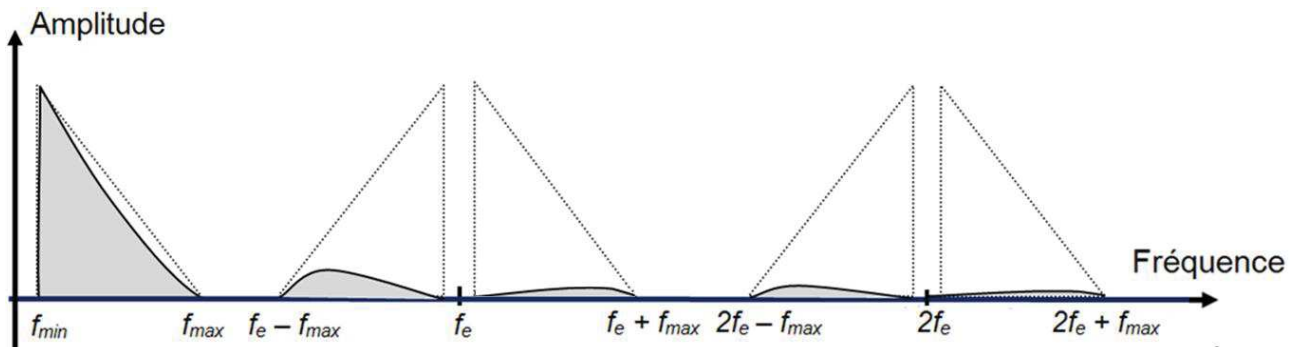


Figure 8

2.1. Justifier l'allure du spectre du signal en sortie du bloqueur.

2.2. Le spectre du signal de sortie du bloqueur est représenté document réponse **DR3 page BR1**. Entourer sur le document réponse la zone spectrale à conserver afin de restituer seulement le signal audio. Préciser la nature du filtre de restitution à ajouter après le bloqueur pour obtenir le signal audio.

2.3. Le spectre du signal de sortie du bloqueur, représenté **figure 8**, présente une atténuation pour les fréquences comprises entre f_{min} et f_{max} . Dans cette plage, préciser le domaine de fréquence audio le mieux transmis (sans atténuation).

BTS Systèmes Électroniques – Étude d'un Système Technique		Session 2015
U4.2 – Physique Appliquée - Sujet	Code : 15SEE4PA1	Page : B8/B15

II. Filtre compensateur

Afin d'obtenir un signal sonore le moins déformé possible, on utilise un filtre dont la courbe de gain est représentée sur le document réponse **DR4 page BR2**.

1. Justifier l'utilisation de ce filtre **en particulier**.
2. Tracer sur le document réponse **DR4 page BR2**, le diagramme asymptotique du gain de ce filtre et en déduire l'ordre du filtre.
3. La fonction de transfert isochrone de ce filtre peut s'écrire :

$$\underline{T}(jf) = \frac{1}{1 + 2jm \frac{f}{f_0} + \left(\frac{jf}{f_0}\right)^2}$$

avec m coefficient d'amortissement et f_0 fréquence propre, paramètres que l'on cherche à déterminer.

Déterminer graphiquement la valeur de f_0 puis comparer la à f_{max} , fréquence audio maximale.

4. Détermination du coefficient d'amortissement m
 - 4.1. Exprimer $\underline{T}(jf)$ pour $f = f_0$.
 - 4.2. En déduire l'expression du module $|\underline{T}(jf)|$ de $\underline{T}(jf)$ pour cette fréquence.
 - 4.3. Déterminer graphiquement la valeur du gain $G(f_0)$.
 - 4.4. En déduire la valeur de m .

C. Transmission en bande de base des signaux téléphoniques sur les lignes RTC (Réseau Téléphonique Commuté)

Le signal sonore analogique fourni par le système est transmis par paire torsadée jusqu'au central téléphonique où il est numérisé sur 8 bits. Après plusieurs multiplexages, qui augmentent le débit, les informations sont transmises en bande de base par câble coaxial (liaison interurbaine).

Lorsque le canal de transmission est un câble, il est possible de distinguer le signe d'un signal et d'utiliser des codes bipolaires. L'objectif de cette partie est d'étudier et de comparer ces codages.

Les signaux codés présents sur les lignes RTC doivent avoir les caractéristiques suivantes :

- une densité spectrale de puissance nulle à la fréquence nulle ;
- pas de signal constant pour des séquences de données binaires présentant des longues suites de 0 ou de 1.

BTS Systèmes Électroniques – Étude d'un Système Technique		Session 2015
U4.2 – Physique Appliquée - Sujet	Code : 15SEE4PA1	Page : B9/B15

I. Codage NRZ bipolaire (No Return to Zero)

Ce codage est défini par :

- État « 1 » : Niveau haut +V ;
- État « 0 » : Niveau bas - V.

1. Exprimer la durée d'un symbole T_S en fonction de la durée d'un bit T_B . Sachant que la rapidité de modulation notée R est caractérisée par la relation : $R = \frac{1}{T_s}$, exprimer R en fonction du débit binaire D .
2. S_{NRZ} représente le signal de sortie du système de codage NRZ. Pour la séquence de données binaires présentes à l'entrée indiquée document réponse **DR5 page BR3**, compléter sur ce document réponse le graphe S_{NRZ} en fonction du temps.
3. En supposant que l'on émette une très longue série de « 1 » ou de « 0 », préciser l'allure du signal obtenu.
4. La densité spectrale relative de puissance du signal NRZ est représentée **figure 9**.

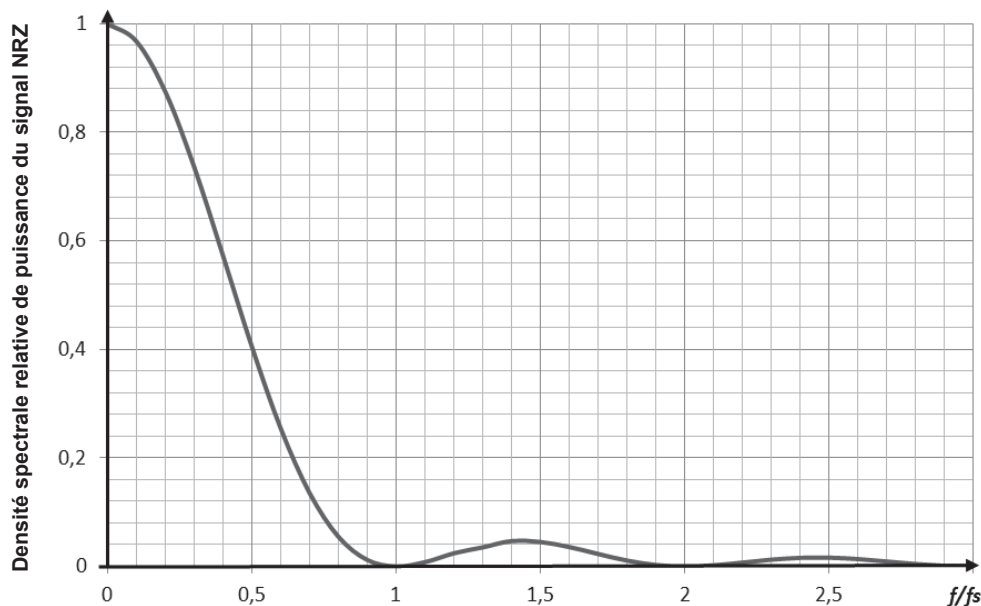


Figure 9

On note $f_s = \frac{1}{T_s}$ la fréquence d'horloge.

Indiquer les caractéristiques de ce spectre et la présence ou l'absence de la fréquence d'horloge nécessaire au décodage des signaux.

5. Indiquer en justifiant la réponse si le codage NRZ est compatible avec les caractéristiques souhaitées.

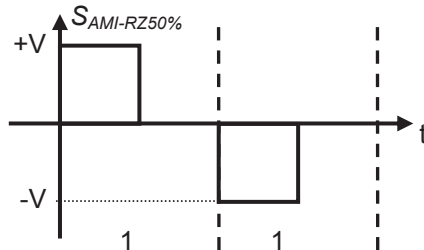
BTS Systèmes Électroniques – Étude d'un Système Technique		Session 2015
U4.2 – Physique Appliquée - Sujet	Code : 15SEE4PA1	Page : B10/B15

II. Codage AMI-RZ50% bipolaire

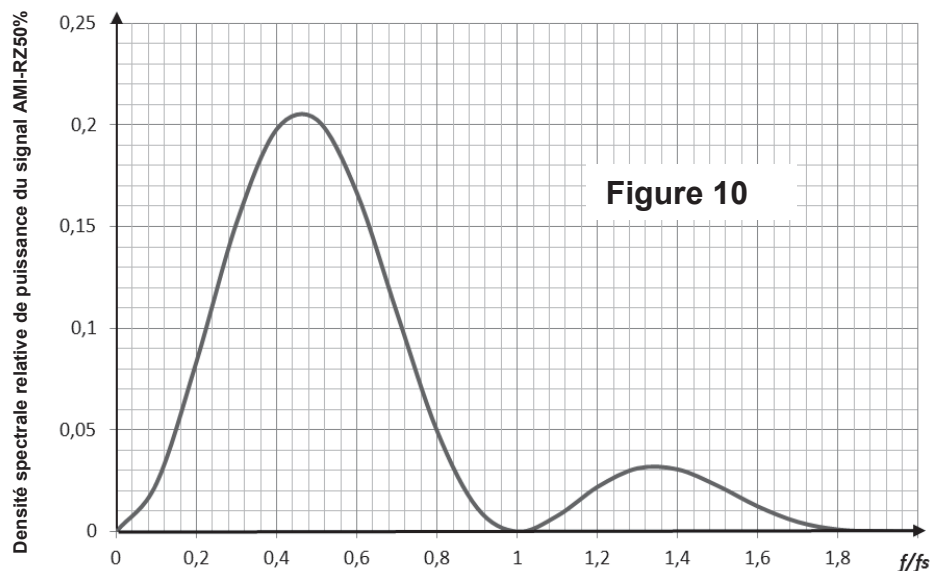
Les règles du codage AMI-RZ50% sont les suivantes :

- État « 0 » : Niveau zéro pendant T_S .
- État « 1 » : Niveau $+V$ ou $-V$ alternativement avec retour à zéro à $\frac{T_S}{2}$.

Exemple de codage de deux niveaux hauts consécutifs :



1. $S_{AMI-RZ50\%}$ représente le signal de sortie du système de codage AMI-RZ50%. Pour la séquence de données binaires présentes à l'entrée indiquée sur le document réponse **DR6 page BR3**, compléter sur le document réponse, le chronogramme de $S_{AMI-RZ50\%}$.
2. En supposant que l'on émette une très longue série de « 0 » ou de « 1 », donner les caractéristiques du signal obtenu dans chacun des deux cas.
3. La densité spectrale relative de puissance du signal codé AMI-RZ50% est représentée sur la **figure 10**.



Indiquer les particularités essentielles de ce spectre concernant la densité spectrale relative de puissance et la présence ou l'absence de la fréquence d'horloge nécessaire au décodage des signaux.

BTS Systèmes Électroniques – Étude d'un Système Technique	Session 2015
U4.2 – Physique Appliquée - Sujet	Code : 15SEE4PA1
	Page : B11/B15

4. Indiquer deux améliorations apportées par ce codage par rapport au codage NRZ.

III. Codage HDB3 (Haute Densité Bipolaire d'ordre 3)

Pour la séquence de données binaires présentes à l'entrée indiquée document réponse **DR7 page BR3**, on donne l'allure du signal de sortie S_{HDB3} respectant le codage HDB3.

1. Identifier la particularité principale de ce codage par rapport au codage AMI-RZ50%.
2. Déterminer à partir de combien de zéros consécutifs le codage réalisé respecte la règle suivante : le dernier zéro est remplacé par un symbole identique au dernier « 1 » codé. Entourer sur le document réponse **DR7 page BR3** le bit concerné par cette règle.
3. Indiquer le principal avantage de ce codage par rapport au codage AMI-RZ50%.

D. Filtrage numérique

Le message numérique précédent est mis en forme puis transmis. Le schéma de principe simplifié de la transmission des signaux est représenté **figure 11** :

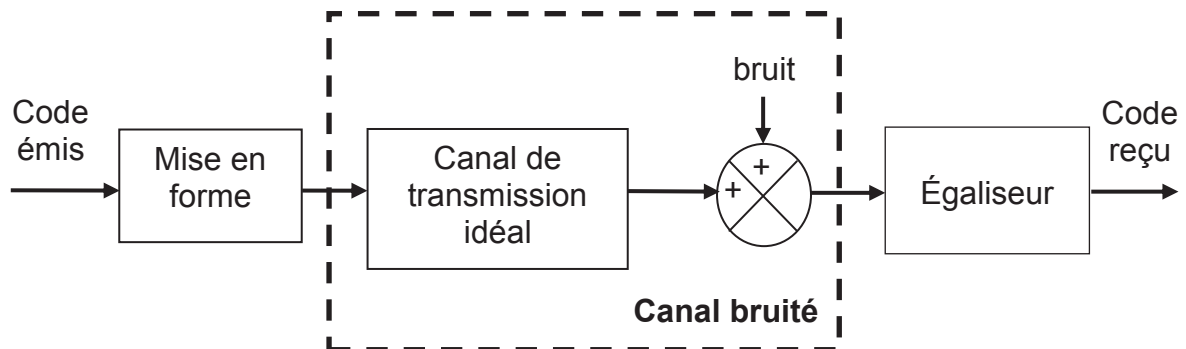


Figure 11

BTS Systèmes Électroniques – Étude d'un Système Technique		Session 2015
U4.2 – Physique Appliquée - Sujet	Code : 15SEE4PA1	Page : B12/B15

I. Canal de transmission bruité

Après échantillonnage, la réponse impulsionnelle du canal de transmission bruité est donnée **figure 12** :

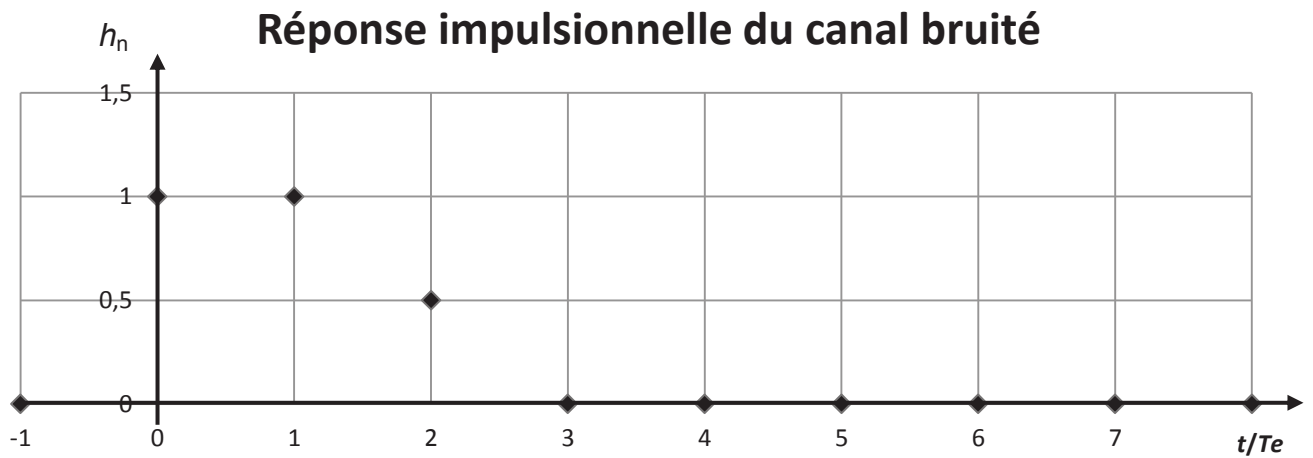


Figure 12

1. Montrer que la fonction de transfert en z du canal bruité $H_c(z)$ peut se mettre sous la forme :

$$H_c(z) = \frac{z^2 + z + 0,5}{z^2}$$

Rappel : $H_c(z) = \sum_{n=0}^{\infty} h_n \cdot z^{-n}$

2. Montrer que les zéros de cette fonction de transfert sont $z_1 = -0,5 + 0,5j$ et $z_2 = -0,5 - 0,5j$.
3. Représenter les zéros de $H_c(z)$ dans le plan complexe du document réponse **DR8 page BR4**.

II. Égaliseur associé au canal bruité

La fonction de transfert du canal ne possède que des zéros à phase minimale (les zéros sont situés à l'intérieur du cercle unitaire).

On ajoute un égaliseur de fonction de transfert $H_{eg}(z)$ telle que : $H_{eg}(z) \cdot H_c(z) = 1$

BTS Systèmes Électroniques – Étude d'un Système Technique		Session 2015
U4.2 – Physique Appliquée - Sujet	Code : 15SEE4PA1	Page : B13/B15

1. Identification du filtre numérique

1.1. Déterminer le rôle de l'égaliseur.

1.2. Déterminer la fonction de transfert en z de l'égaliseur $H_{eg}(z)$

$$H_{eg}(z) = \frac{1}{H_c(z)} = \frac{Y(z)}{X(z)}$$

1.3. En déduire que l'équation de récurrence reliant y_n à x_n et aux échantillons précédents peut s'écrire :

$$y_n = x_n - y_{n-1} - 0,5 \cdot y_{n-2}$$

Avec :

x_n : échantillon d'entrée du filtre numérique à l'instant $t = nT_e$.

y_n : échantillon de sortie du filtre numérique à l'instant $t = nT_e$.

T_e : période d'échantillonnage.

1.4. Donner la famille du filtre numérique utilisé comme égaliseur. Justifier.

1.5. Justifier que les zéros de la fonction $H_c(z)$ correspondent aux pôles de la fonction $H_{eg}(z)$.

1.6. Conclure sur la stabilité du filtre numérique.

2. Modification du filtre numérique

On peut également utiliser un filtre numérique RIF pour réaliser l'égaliseur. Il faut donc déterminer ses caractéristiques et valider l'effet de l'égaliseur sur le canal bruité.

Le schéma de ce filtre RIF est donné **figure 13** :

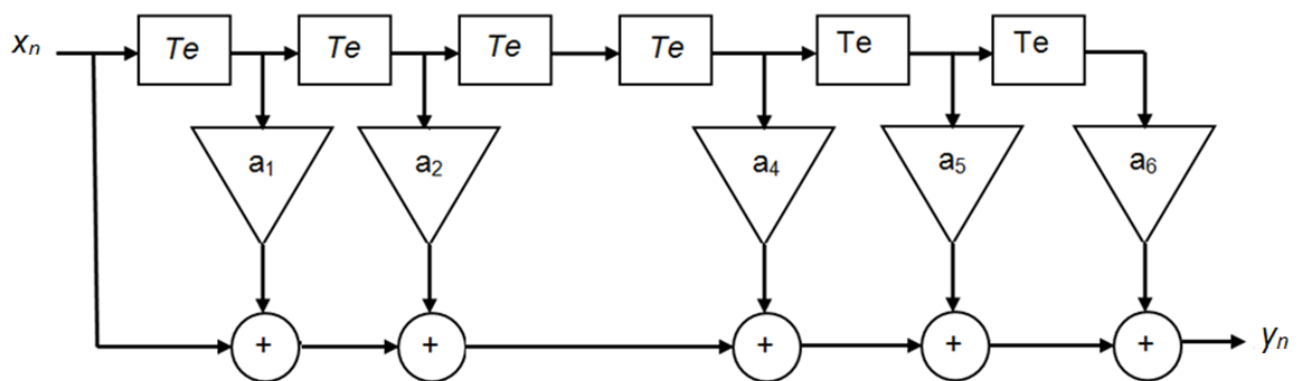


Figure 13

BTS Systèmes Électroniques – Étude d'un Système Technique		Session 2015
U4.2 – Physique Appliquée - Sujet	Code : 15SEE4PA1	Page : B14/B15

2.1. Écrire l'équation de récurrence reliant y_n à x_n et aux échantillons précédents.

2.2. La séquence des échantillons d'entrée $\{x_n\}$ est donnée sur le document réponse **DR9 page BR4**.

Les coefficients du filtre numérique ont les valeurs suivantes :

$$a_1 = -1 ; a_2 = 0,5 ; a_4 = -0,25 ; a_5 = 0,25 \text{ et } a_6 = -0,125$$

Représenter sur le document réponse **DR9 page BR4**, la séquence des échantillons de sortie $\{y_n\}$.

2.3. Montrer que la fonction de transfert en z de ce filtre a pour expression :

$$H_{RIF}(z) = 1 - z^{-1} + 0,5z^{-2} - 0,25z^{-4} + 0,25z^{-5} - 0,125z^{-6}$$

La fonction de transfert du canal bruité égalisé peut s'écrire : $H_c(z) \cdot H_{RIF}(z) = 1 - 0,0625z^{-8}$

2.4. Représenter la réponse impulsionnelle associée à la fonction de transfert du canal bruité égalisé sur le document réponse **DR10 page BR5**.

2.5. Conclure sur l'utilisation de ce filtre numérique comme égaliseur de canal.

BTS Systèmes Électroniques – Étude d'un Système Technique		Session 2015
U4.2 – Physique Appliquée - Sujet	Code : 15SEE4PA1	Page : B15/B15

Documents- Réponse

Document réponse DR1- Partie A. Questions A.II.2.1

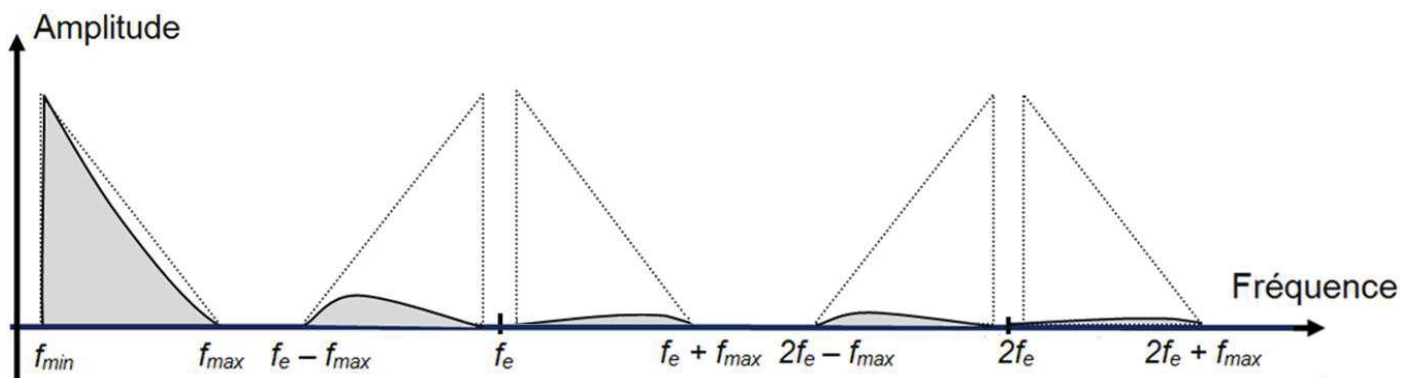
Température (°C)		15	18
Q : Quantité de vapeur d'eau (g/kg)	2,6		11,6
HR : Humidité relative (%)	30	50	90
Q_m : Quantité de vapeur d'eau maximale à saturation (g/kg)	8,7	10,6	

Document réponse DR2- Partie A. Question A.II.3.1

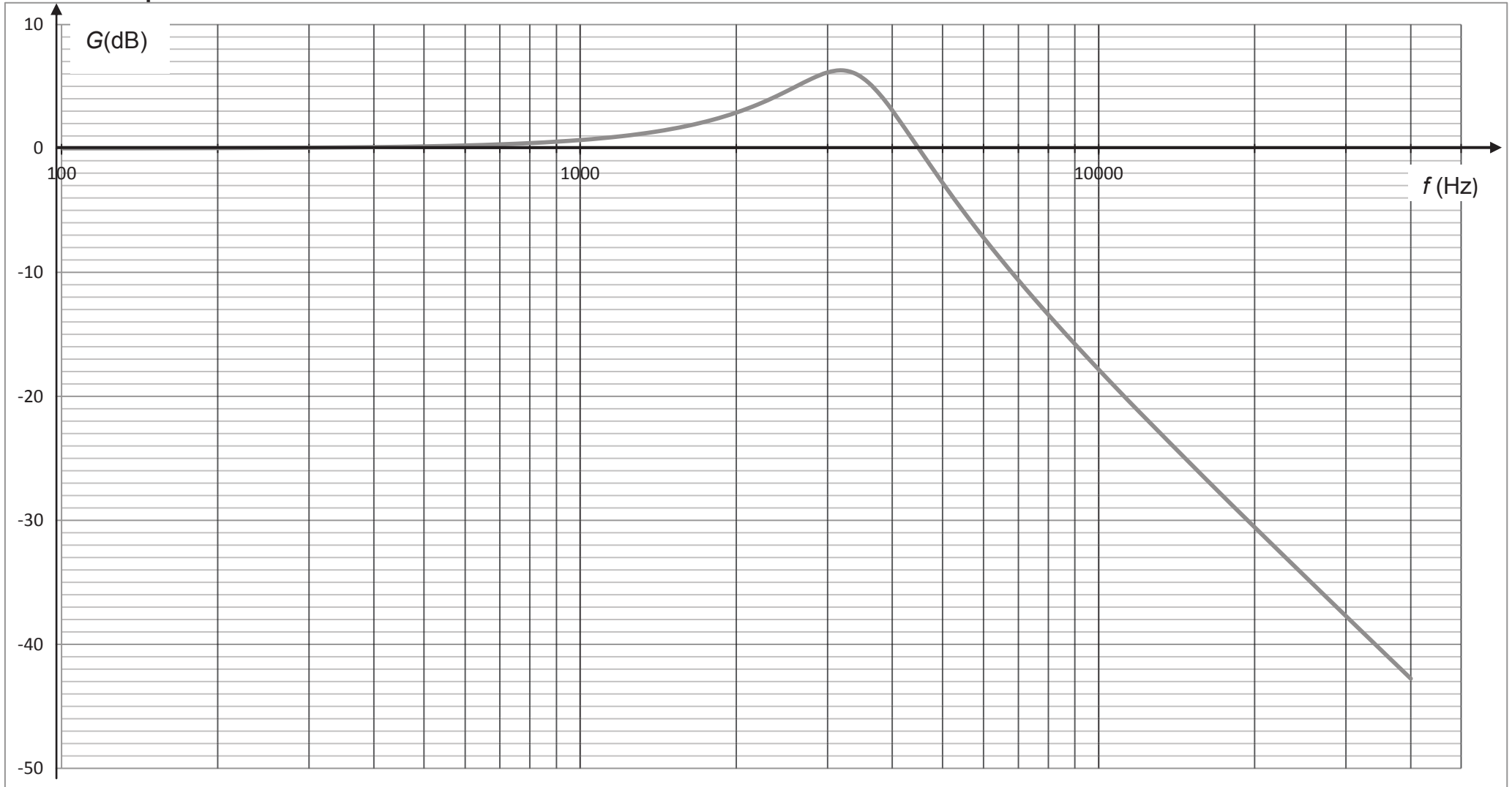
Température (°C)	10	12	26
Humidité relative (%)	70	80	40
Point de rosée (°C)	4,8		

Document réponse DR3- Partie B. Question B.I.2.2

Spectre du signal en sortie du bloqueur

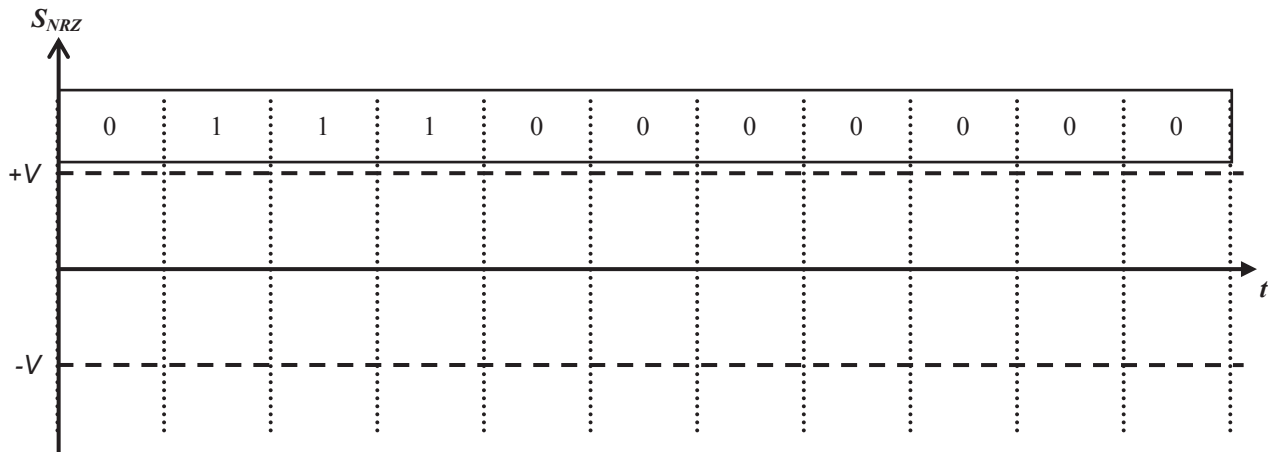


Document réponse DR4- Partie B. Question B.II.2

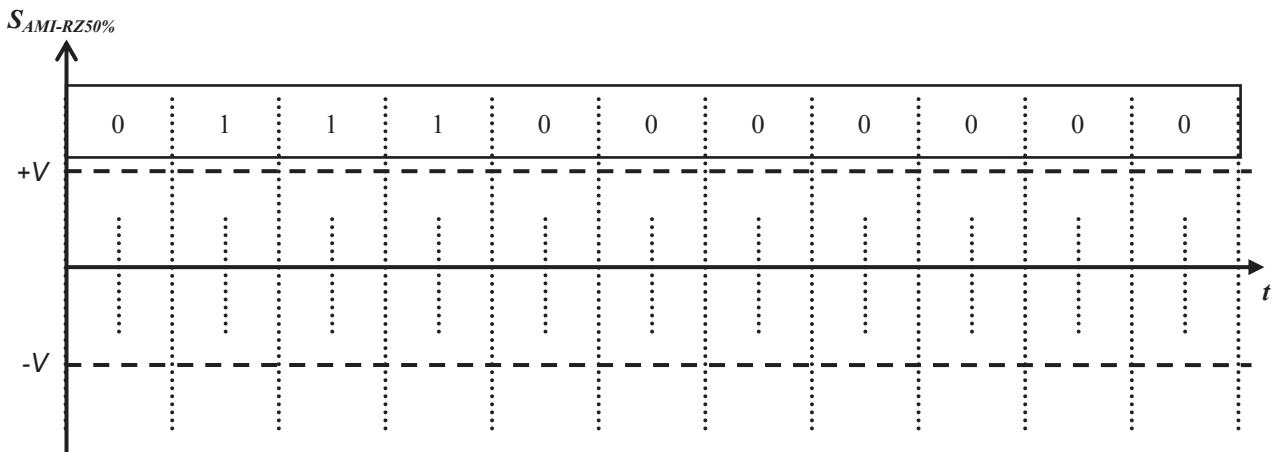


BTS Systèmes Électroniques – Étude d'un Système Technique		Session 2015
U4.2 – Physique Appliquée – Documents réponse	Code : 15SEE4PA1	Page : BR2 sur BR5

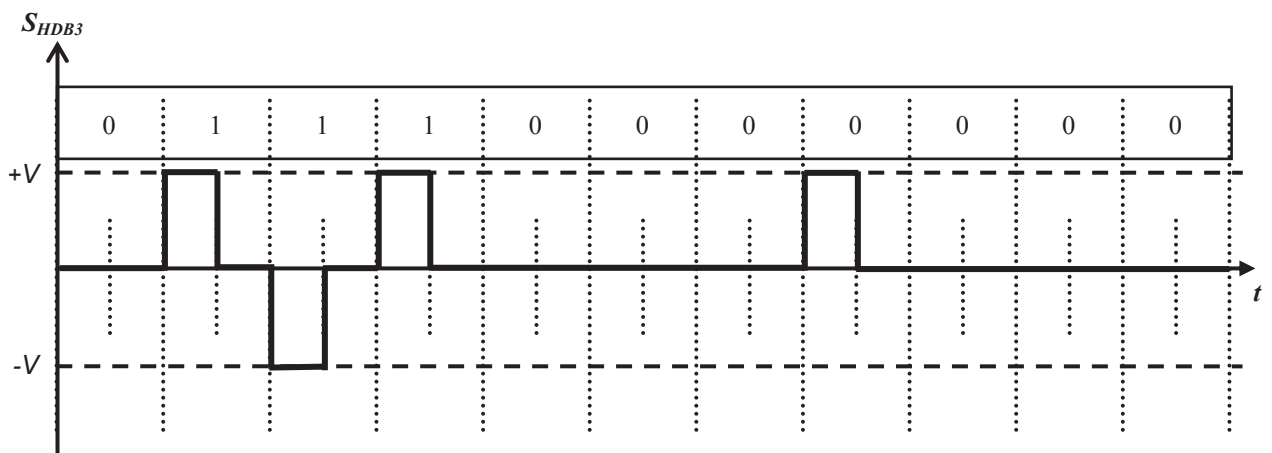
Document réponse DR5- Partie C. Question C.I.2



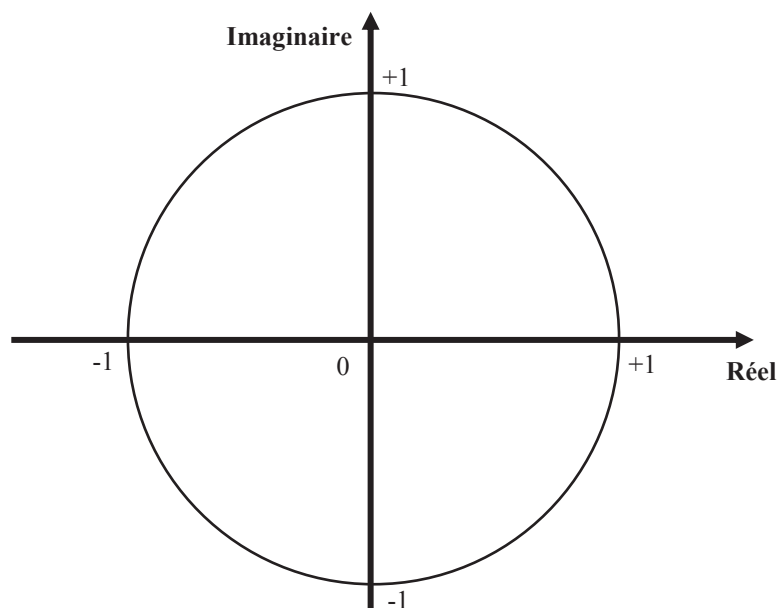
Document réponse DR6- Partie C. Question C.II.1



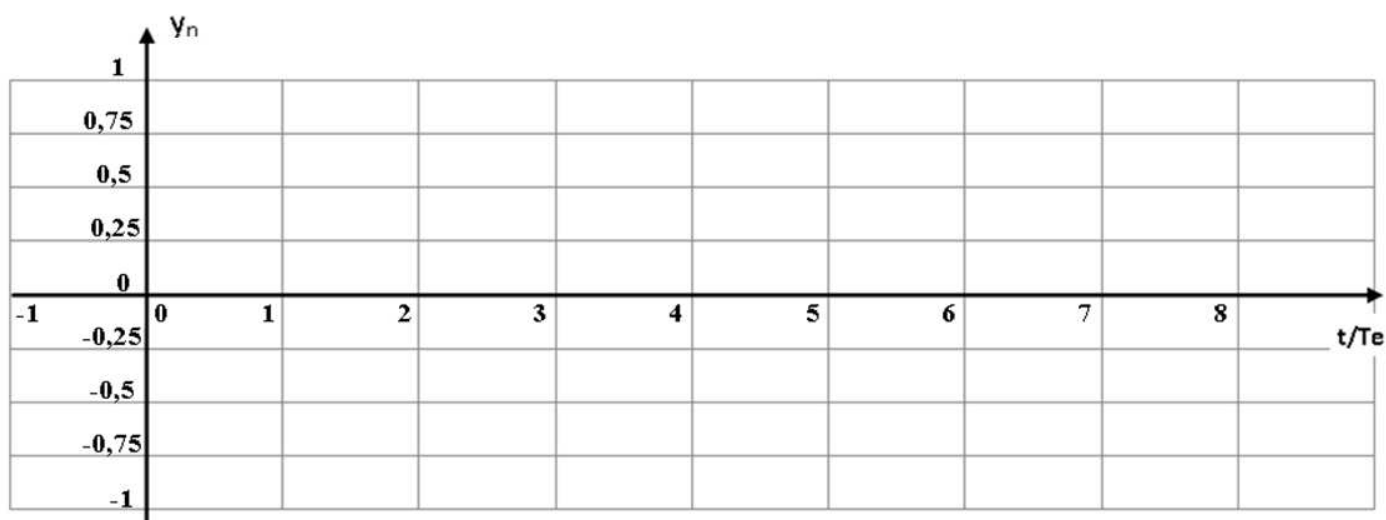
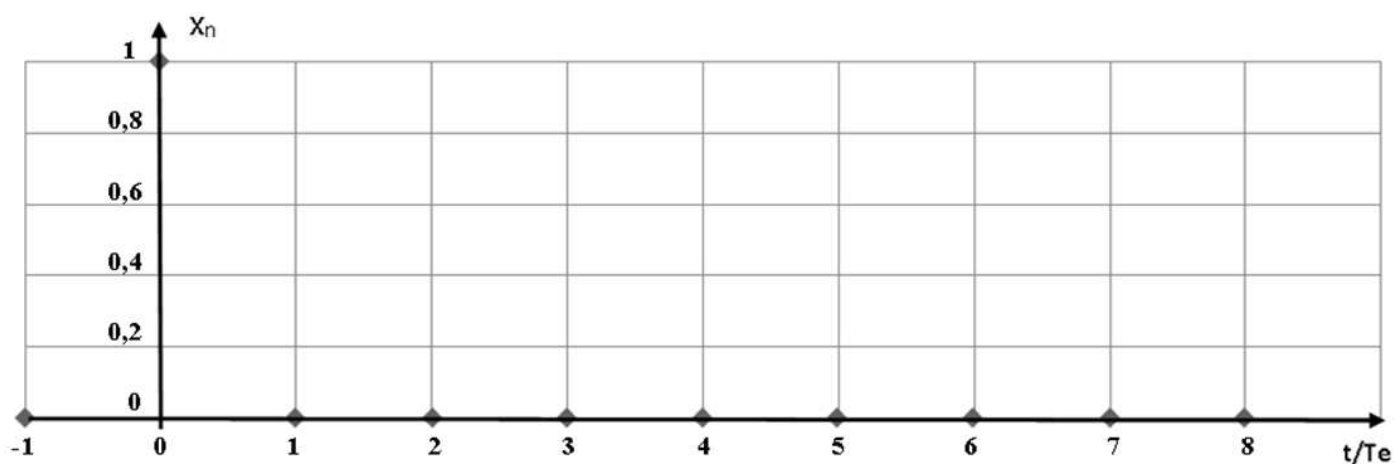
Document réponse DR7- Partie C. Questions C.III.1 et C.III.2



Document réponse DR8 - Partie D. Question D.I.3

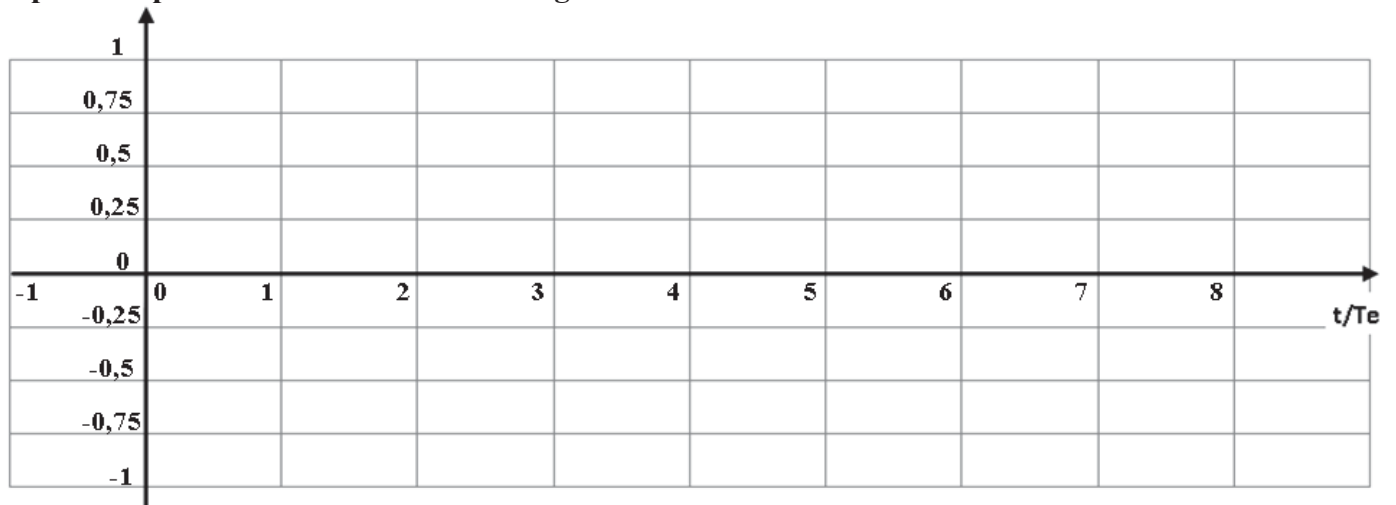


Document réponse DR9 - Partie D. Question D.II.2.2



Document réponse DR10 - Partie D. Question D.II.2.4

Réponse impulsionnelle du canal bruité égalisé



Documentation de la sonde HMP45A

HMP45A & HMP45D Relative Humidity and Temperature Probes

Versatile probes

The HMP45A and HMP45D humidity and temperature probes are designed for a wide range of instrumentation (e.g. recorders, data loggers, laboratory equipment and weather stations.)

Vaisala's HUMICAP® Sensor

The combined performance of the HUMICAP®180 sensor and IP65 protected probe provides accurate and repeatable humidity and temperature measurements in high humidity.

Technical Data

General

Operating temperature range	-40...+60 °C
Storage temperature range	-40...+80 °C
Supply voltage	7...35 VDC
Settling time	500 ms
Power consumption	<4 mA
Output load	>10kohm (to ground)
Weight	350 g (incl. package)
Cable length	3.5 m
Housing material	ABS plastic
Housing classification (electronics)	IP65

Relative Humidity

HMP45A & HMP45D

Measuring range:	0.8 to 100 %RH
Output scale	0...100 %RH equals 0...1 VDC
Accuracy at +20 °C (incl. nonlinearity and hysteresis)	
against factory references	±1 %RH
field calibration against references	±2 %RH (0...90 %RH) ±3 %RH (90...100 %RH)
Humidity sensor	HUMICAP® 180

Temperature

HMP45A

Measurement range	-39.2...+60 °C
Output scale	-40...+60 °C equals 0...1 VDC
Accuracy at +68 °F (+20 °C)	±0.2 °C
Temperature sensor	Pt 1000 IEC 751

BTS Systèmes Électroniques – Étude d'un Système Technique		Session 2015
U4.2 – Physique Appliquée – Documentation	Code : 15SEE4PA1	Page : BAN1