

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**  
**Assistance Technique d'Ingénieur**  
**Mathématiques et sciences physiques**  
**ÉPREUVE E3 - UNITÉ U32**  
**Sciences physiques**

**SESSION 2020**

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

**Matériel autorisé :**

L'usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé.  
L'usage de calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Documents à rendre avec la copie :

- Document réponse 1 page 11 ;
- Document réponse 2 page 12 ;
- Document réponse 3 page 13.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet et comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.

**S'il apparaît au candidat qu'une donnée est manquante ou erronée, il pourra formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires pour résoudre les questions posées. Il justifiera, alors, clairement et précisément ces hypothèses.**

BTS ATI	DURÉE : 2h	Session 2020
CODE SUJET : ATPHY-NC	Coefficient : 2	Page 1 sur 13

# ÉTUDE D'UN SYSTÈME DE RÉFRIGÉRATION DE BORD D'UN BATEAU DE PLAISANCE

## Introduction

Un constructeur de bateaux de plaisance souhaite équiper ses navires d'un système de réfrigération des aliments et des boissons :

- permettant de refroidir et de maintenir 50 kg de vivres entre 4 et 6 °C avec une tolérance de + ou – 1 °C ;
- pouvant supporter les contraintes de mouvement et d'humidité à bord ;
- alimenté en 12 V DC par une batterie embarquée à bord du navire.

Il a opté pour un compresseur réfrigérant équipé de sa commande électronique. Celui-ci fonctionne avec un gaz réfrigérant R134a.

Le compresseur est associé à un évaporateur placé dans la chambre froide. L'évaporateur ne fera pas l'objet d'étude.

***Le sujet contient 3 parties qui peuvent être traitées indépendamment :***

PARTIE A – Acquisition de la température dans la chambre froide (5,5 points)

PARTIE B – Élaboration du signal de commande du compresseur (9,25 points)

PARTIE C – Étude énergétique du compresseur (5,25 points)

**L'alimentation électrique du système est assurée par une batterie de 12 V.**

**Les ADI sont supposés idéaux et alimentés en 0 V / 12 V.**

**La porte logique est alimentée en 0 V / 12 V.**

BTS ATI	DURÉE : 2h	Session 2020
CODE SUJET : ATPHY-NC	Coefficient : 2	Page 2 sur 13

## PARTIE A – Acquisition de la température dans la chambre froide

### A1. Étude du capteur de température

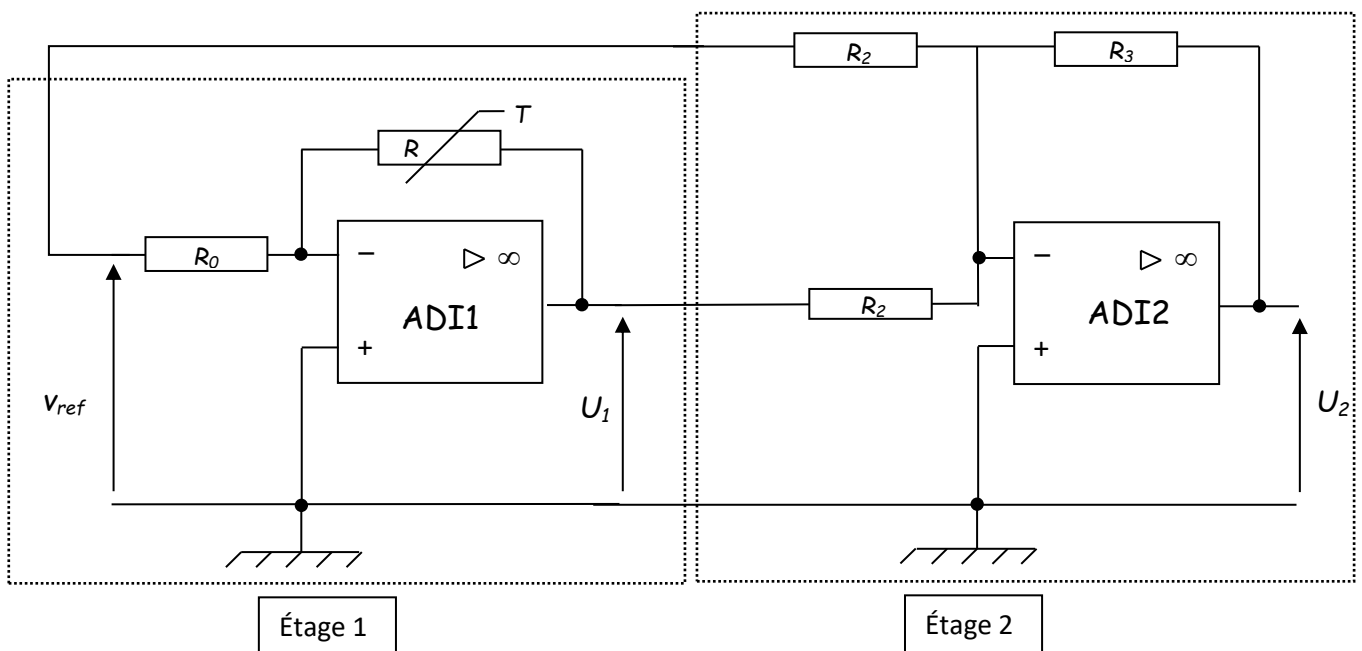
**Q1.** La sonde de température placée dans la chambre froide est réalisée à partir d'une thermorésistance de type PT1000. On donne le tracé de sa résistance en fonction de la température en **annexe 1 page 9**.

Indiquer les valeurs de la résistance à 0°C et 60°C dans le premier tableau du **document réponse 1 page 11**.

**Q2.** Justifier que le capteur est linéaire dans le domaine de température utilisé et calculer sa sensibilité  $s$  en précisant l'unité.

### A2. Conversion température/tension (production de la tension $U_2$ )

On souhaite obtenir une mesure de la température par une tension  $U_2$  proportionnelle à la température  $T$  et calibrée de sorte que pour  $T = 4^\circ\text{C}$ ,  $U_2 = 1,6\text{ V}$ . On utilise pour cela le montage ci-dessous.

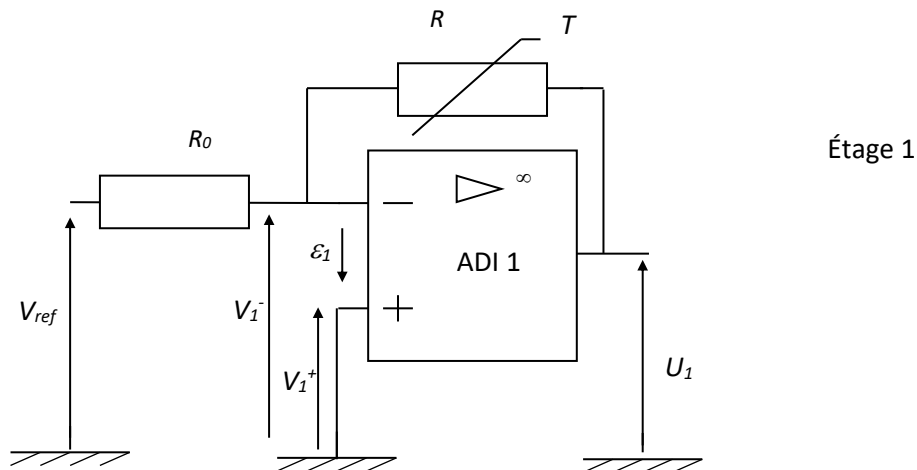


Dans la suite, on considère que la résistance de la sonde s'exprime par :

$$R = R_0 \times (1 + a \times T) \text{ avec } R_0 = 1 \text{ k}\Omega \text{ et } a = 0,00385 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}.$$

BTS ATI	DURÉE : 2h	Session 2020
CODE SUJET : ATPHY-NC	Coefficient : 2	Page 3 sur 13

## A2.1. Étude de l'étage 1



**Q3.** Indiquer, en justifiant, le régime de fonctionnement de l'ADI 1.

**Q4.** Indiquer les valeurs des tensions  $\varepsilon_1$  et  $V_1^+$ . On suppose que l'ADI 1 est idéal.

**Q5.** Montrer que  $V_1^- = \frac{U_1 \times R_0 + V_{ref} \times R}{R + R_0}$ .

**Q6.** En déduire l'expression de  $U_1$  en fonction de  $R$ ,  $R_0$  et  $V_{ref}$ .

**Q7.** Exprimer la tension  $U_1$  en fonction de  $a$ ,  $T$  et  $V_{ref}$ .  
Indiquer si la tension  $U_1$  est proportionnelle à  $T$ .

## A2.2. Étude de l'étage 2

L'étage 2 permet de produire une tension de sortie  $U_2$  proportionnelle à  $T$ .

On obtient :  $U_2 = \frac{a \times R_3 \times V_{ref}}{R_2} \times T$ .

On donne :  $V_{ref} = 12 \text{ V}$ ,  $a = 0,00385 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

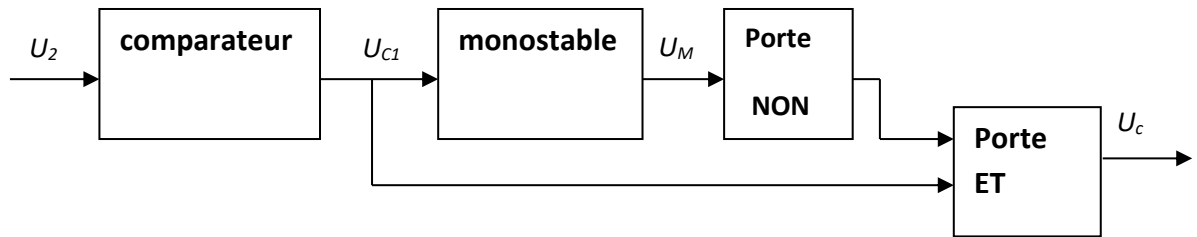
**Q8.** On souhaite obtenir  $U_2 = 1,6 \text{ V}$  pour  $T = 4^\circ\text{C}$ . On donne  $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ .  
Calculer la valeur de  $R_3$ .

BTS ATI	DURÉE : 2h	Session 2020
CODE SUJET : ATPHY-NC	Coefficient : 2	Page 4 sur 13

## PARTIE B – Élaboration du signal de commande du compresseur

### B1. Détection de la température de déclenchement du système réfrigérant

La tension de commande  $U_c$  est élaborée par la chaîne suivante :



La caractéristique du comparateur est donnée dans l'annexe 2 page 9.

**Q9.** Entourer les caractéristiques de ce comparateur sur le deuxième tableau du document réponse 1 page 11.

**Q10.** Indiquer les valeurs  $V_{SB}$  et  $V_{SH}$  des tensions de seuil du comparateur.

**Q11.**  $V_{SB}$  correspond à une température de 4 °C et  $V_{SH}$  à une température de 6 °C. Compléter le document réponse 2 page 12 en représentant la tension  $U_{C1}$ .

### B2. Mise en forme du signal de commande

Le monostable permet d'éviter que le compresseur fonctionne plus de 2 min si le compartiment est ouvert. Il se déclenche sur front montant de  $U_{C1}$  et sa durée de temporisation est fixée à  $T_0 = 2$  min.

L'état stable du monostable (hors temporisation) correspond à  $U_M = 0$  V. Son état instable (pendant la temporisation) correspond à  $U_M = 12$  V.

On donne la table de vérité de  $U_c$  à partir de  $U_{C1}$  et  $U_M$ .

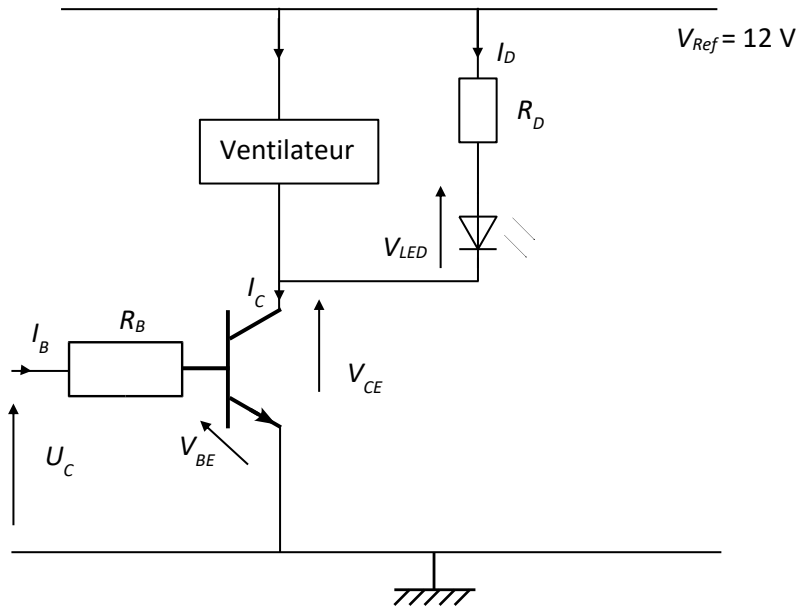
$U_{C1}$	$U_M$	$U_c$
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	0

**Q12.** Compléter le document réponse 3 page 13 en représentant  $U_M$  et  $U_c$ .

BTS ATI	DURÉE : 2h	Session 2020
CODE SUJET : ATPHY-NC	Coefficient : 2	Page 5 sur 13

### B3. Étude de l'étage de puissance

- Le transistor fonctionne en commutation. Lorsqu'il est saturé  $V_{CESat} = 0,4 \text{ V}$  et  $U_{BESat} = 0,7 \text{ V}$  et  $I_{CSat} = 0,58 \text{ A}$ .  
Par ailleurs, son coefficient d'amplification en courant est  $\beta = \frac{I_C}{I_B} = 100$ .
- La tension aux bornes de la LED passante est  $V_{LED} = 2,4 \text{ V}$ . Le courant qui traverse la LED est  $I_D = 20 \text{ mA}$  quand elle est allumée.



**Q13.** Indiquer la famille et le type du transistor.

**Q14.** Dans le troisième tableau du **document réponse 1 page 11**, indiquer l'état de fonctionnement du transistor, de la LED et du ventilateur en fonction de la valeur de la tension  $U_C$ .

**Q15.** Calculer la valeur de la résistance  $R_D$  de protection de la LED.

**Q16.** Quel est le rôle de cette diode ?

**Q17.** Calculer la valeur maximale de  $R_B$  permettant de saturer le transistor puis choisir la résistance  $R_B$  parmi les suivantes :

1,5 k $\Omega$	3 k $\Omega$	5 k $\Omega$	10 k $\Omega$
----------------	--------------	--------------	---------------

BTS ATI	DURÉE : 2h	Session 2020
CODE SUJET : ATPHY-NC	Coefficient : 2	Page 6 sur 13

## PARTIE C – Étude énergétique du compresseur

### C1. Étude énergétique du moteur du compresseur

Le moteur utilisé est un moteur à courant continu à aimants permanents.

L'ensemble des pertes dites collectives seront négligées.

Le moteur du compresseur consomme une puissance électrique  $P_a$  et permet d'extraire une puissance thermique  $P_r$  (appelée puissance réfrigérante).

Sa résistance interne vaut  $R = 1,8 \Omega$ .

**Q18.** Remplir le quatrième tableau du **document réponse 1 page 11** à l'aide des données de fonctionnement de **l'annexe 3 page 10**.

**Q19.** Calculer la valeur des pertes Joule  $P_J$  du moteur.

**Q20.** Calculer la valeur de la puissance mécanique  $P_m$  délivrée par le moteur et celle de son rendement  $\eta$ .

**Q21.** On définit l'efficacité d'un système réfrigérant par le rapport :

$$e = \frac{\text{puissance réfrigérante}}{\text{puissance électrique consommée}}$$

Calculer la valeur de l'efficacité du système réfrigérant étudié. Commenter.

### C2. Conditionnement des provisions

**Q22.** L'énergie thermique qui doit être extraite pour refroidir une masse  $m$  d'eau de la température  $T_0$  à  $T_1$  se calcule à l'aide de la formule :

$$Q = m \times c \times (T_0 - T_1)$$

avec  $Q$  en Joule,  $m$  en kg et  $c = 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

L'équipage souhaite embarquer 50 kg de produits frais initialement à la température ambiante de 20 °C et assimilables thermiquement à de l'eau.

Déterminer combien de temps avant l'embarquement les produits doivent être mis au frais pour être à 5 °C au moment du départ.

BTS ATI	DURÉE : 2h	Session 2020
CODE SUJET : ATPHY-NC	Coefficient : 2	Page 7 sur 13

### C3. Choix de la batterie

**Q23.** On souhaite que la batterie alimentant le système réfrigérant ait une autonomie de 24 h.

Calculer en Ah la quantité d'électricité consommée par l'ensemble compresseur et ventilateur pendant cette durée sachant que la valeur de l'intensité consommée est  $I = 2,8 \text{ A}$ .

**Q24.** Le constructeur peut choisir entre 3 types de batterie :

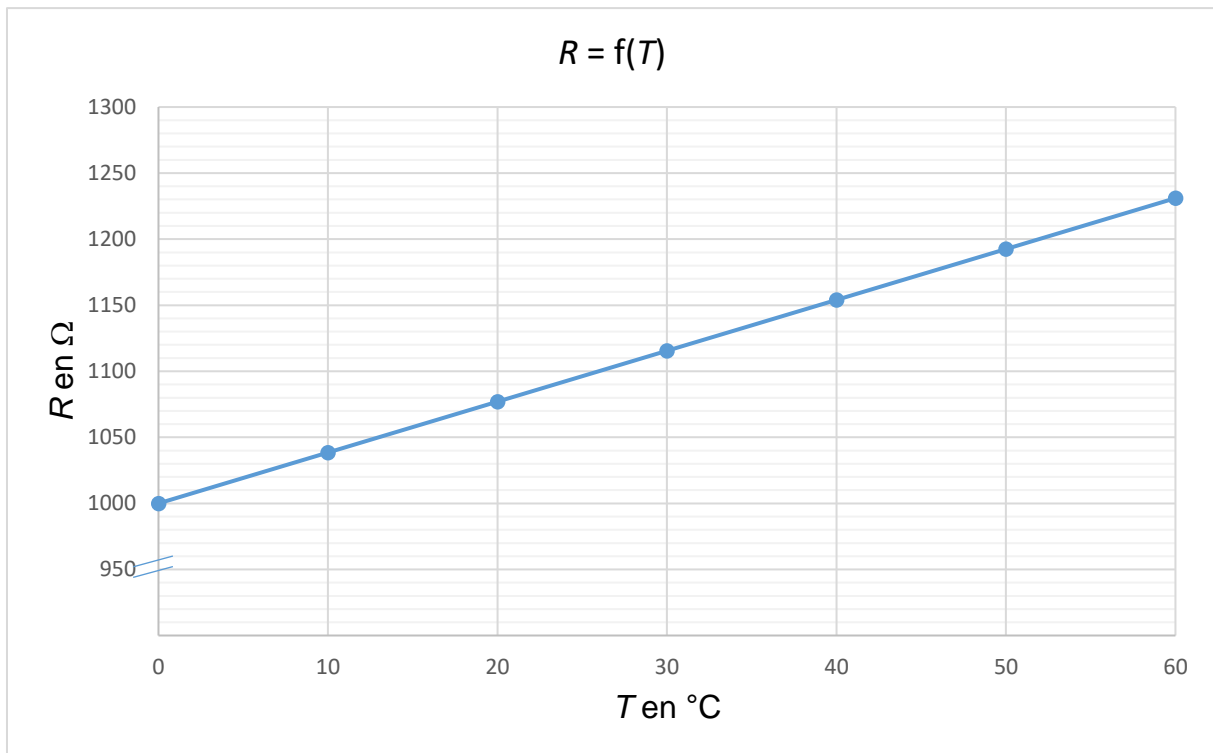
Type 1	Type 2	Type 3
12 V / 42 Ah	12 V / 50 Ah	12 V / 80 Ah

Indiquer le modèle qu'il faut choisir pour assurer le refroidissement correct des produits frais. Justifier.

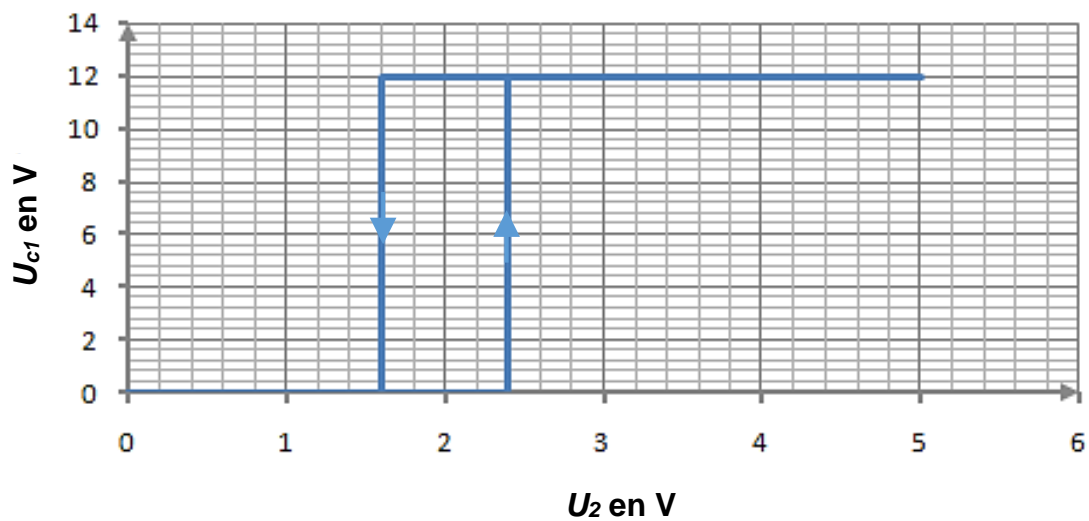
BTS ATI	DURÉE : 2h	Session 2020
CODE SUJET : ATPHY-NC	Coefficient : 2	Page 8 sur 13



## ANNEXE 1



## ANNEXE 2



BTS ATI	DURÉE : 2h	Session 2020
CODE SUJET : ATPHY-NC	Coefficient : 2	Page 9 sur 13

### ANNEXE 3

**Puissance électrique consommée  $P_a$  exprimée en « W » en fonction de la température d'évaporation du fluide réfrigérant et de la vitesse de rotation du moteur :**

°C tr/min	-30	-25	-23,3	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
2000	25,0	31,6	33,8	38,0	44,3	50,8	57,5	65,3	73,8	77,9	83,5
2500	30,7	39,5	42,4	48,0	56,5	64,9	73,4	82,0	90,9	94,9	
3000	37,4	48,1	51,6	58,3	68,3	78,1	87,9	98,0			
3500	45,0	56,8	60,7	68,2	79,5	91,2	104				

-----

**Puissance réfrigérante  $P_r$  exprimée en W en fonction de la température d'évaporation du fluide réfrigérant et de la vitesse de rotation du moteur :**

°C tr/min	-30	-25	-23,3	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
2000	25,9	37,2	41,8	51,7	69,3	90,0	114	141	171	185	205
2500	32,3	45,9	51,3	63,1	84,3	110	140	176	217	237	
3000	38,5	55,4	62,0	76,4	102	132	168	210			
3500	48,5	64,2	71,6	87,8	117	152	194				

-----

**Courant électrique consommé / exprimé en A en fonction de la température d'évaporation du fluide réfrigérant et de la vitesse de rotation du moteur :**

C° tr/min	-30	-25	-23,3	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
2000	2,07	2,58	2,76	3,12	3,70	4,31	4,94	5,62	6,32	6,67	7,05
2500	2,62	3,24	3,47	3,92	4,63	5,38	6,13	6,88	7,63	7,95	
3000	3,20	3,99	4,27	4,80	5,63	6,48	7,34	8,23			
3500	3,86	4,70	4,99	5,60	6,56	7,58	8,67				

-----

BTS ATI	DURÉE : 2h	Session 2020
CODE SUJET : ATPHY-NC	Coefficient : 2	Page 10 sur 13

## DOCUMENT RÉPONSE 1

Q1.

$T$ (C°)	0	60
$R$ ( $\Omega$ )		

Q9.

1 seuil	inverseur	tension de sortie sinusoïdale
2 seuils	non-inverseur	tension de sortie rectangulaire

Q14.

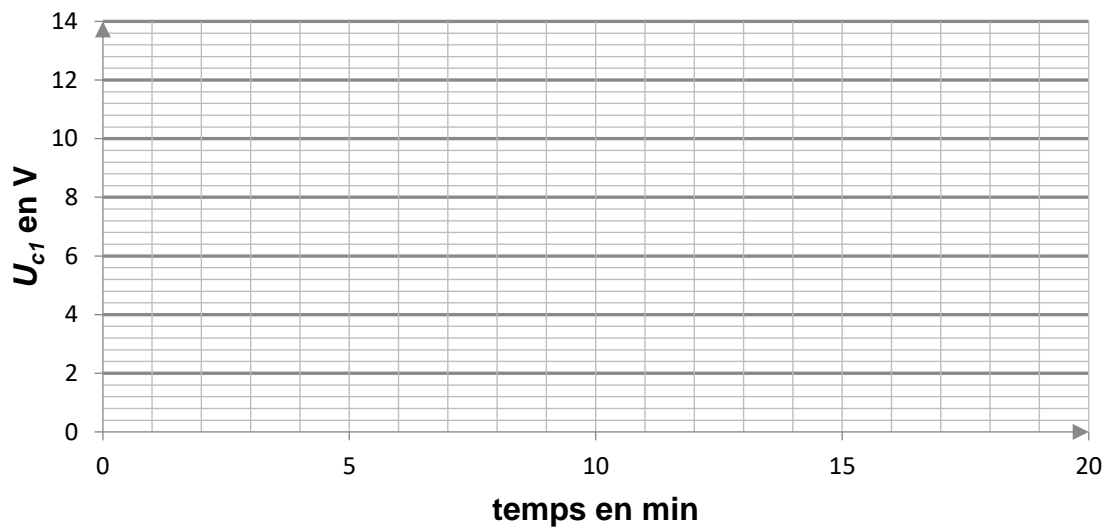
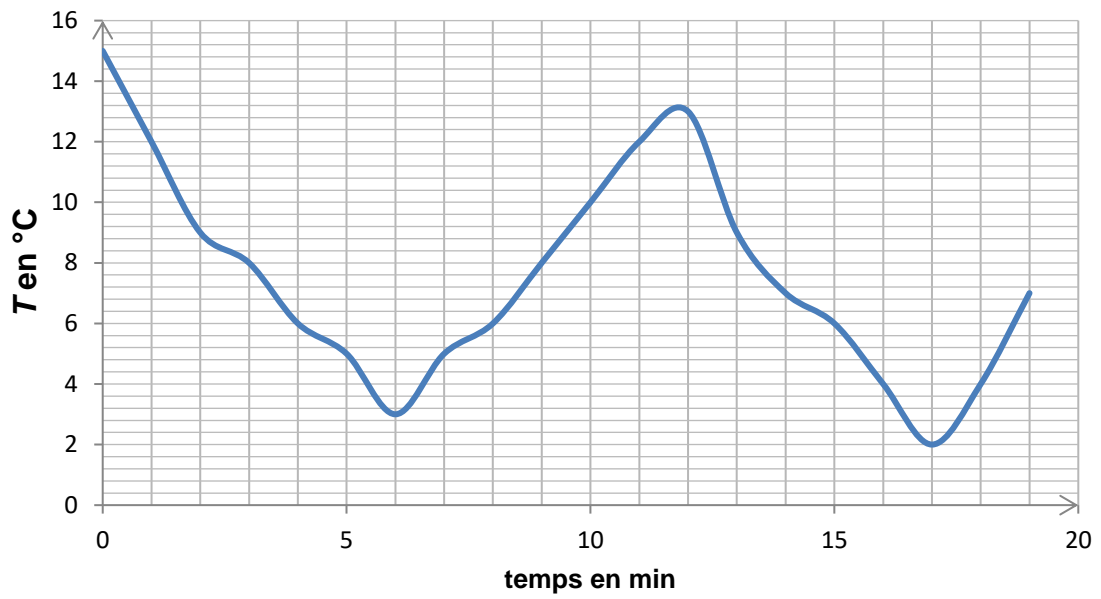
Valeur de $U_c$	État du transistor	État de la LED	État du ventilateur
0 V			
12 V			

Q 18.

Température d'évaporation (°C)	Vitesse (tr/min)	$I$ (A)	$P_a$ (W)	$P_r$ (W)
-23,3	2000			

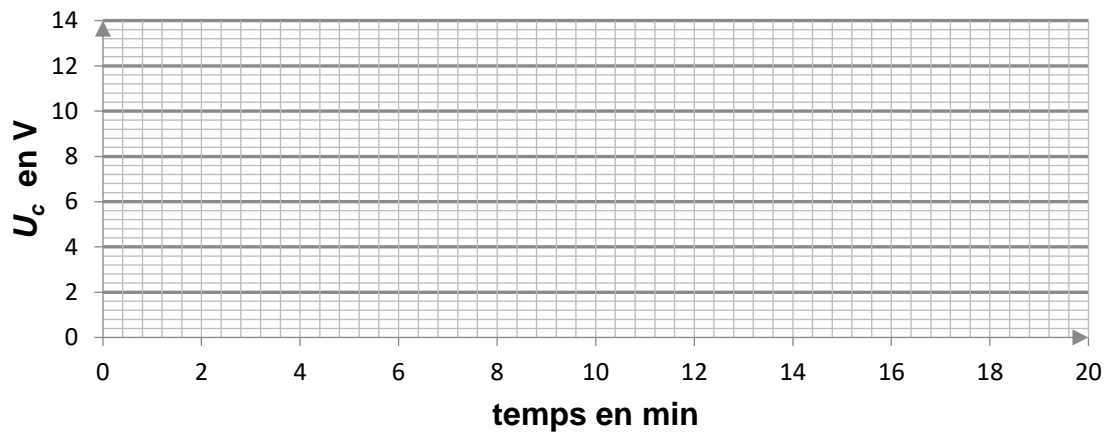
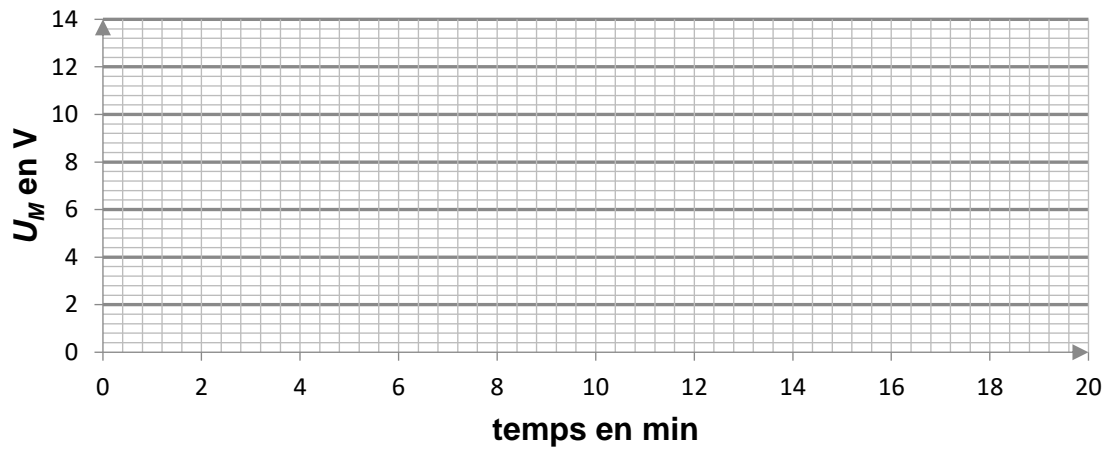
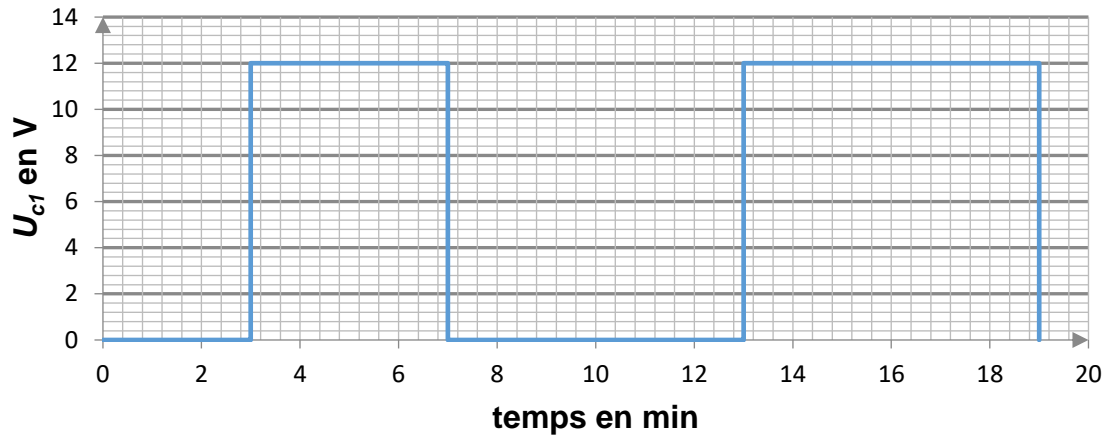
BTS ATI	DURÉE : 2h	Session 2020
CODE SUJET : ATPHY-NC	Coefficient : 2	Page 11 sur 13

DOCUMENT RÉPONSE 2



BTS ATI	DURÉE : 2h	Session 2020
CODE SUJET : ATPHY-NC	Coefficient : 2	Page 12 sur 13

DOCUMENT RÉPONSE 3



BTS ATI	DURÉE : 2h	Session 2020
CODE SUJET : ATPHY-NC	Coefficient : 2	Page 13 sur 13