

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

Conception et Industrialisation en Microtechniques

ÉPREUVE E3

Mathématiques et sciences physiques appliquées

UNITÉ U32

SCIENCES PHYSIQUES APPLIQUÉES

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

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

Documents à rendre avec la copie :

- DOCUMENT RÉPONSE DR1 page 13/14
- DOCUMENT RÉPONSE DR2 page 14/14

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet et comporte 14 pages numérotées de 1/14 à 14/14.

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2023
CODE SUJET : 23CDE3SC	Coefficient : 1,5	Page 1 sur 14

Analyseur de bandelettes urinaires

Le sujet comporte trois parties indépendantes :

Partie A : comment obtenir une intensité lumineuse réglable ? (6 points)

Partie B : comment convertir un signal lumineux analogique en une grandeur numérique ? (9 points)

Partie C : la durée du cycle d'analyse est-elle respectée ? (5 points)

En milieu hospitalier, la bandelette urinaire constitue, pour le médecin, un outil de dépistage, d'aide au diagnostic et de surveillance des pathologies les plus fréquentes.



Une bandelette neuve comporte huit pastilles de teintes différentes (plus une pastille blanche de référence notée P.r.) et permet de mesurer plusieurs indicateurs biologiques comme le pH, la présence de protéines, entre autres. Placée en présence d'urine, chaque pastille réactive voit sa couleur changer.

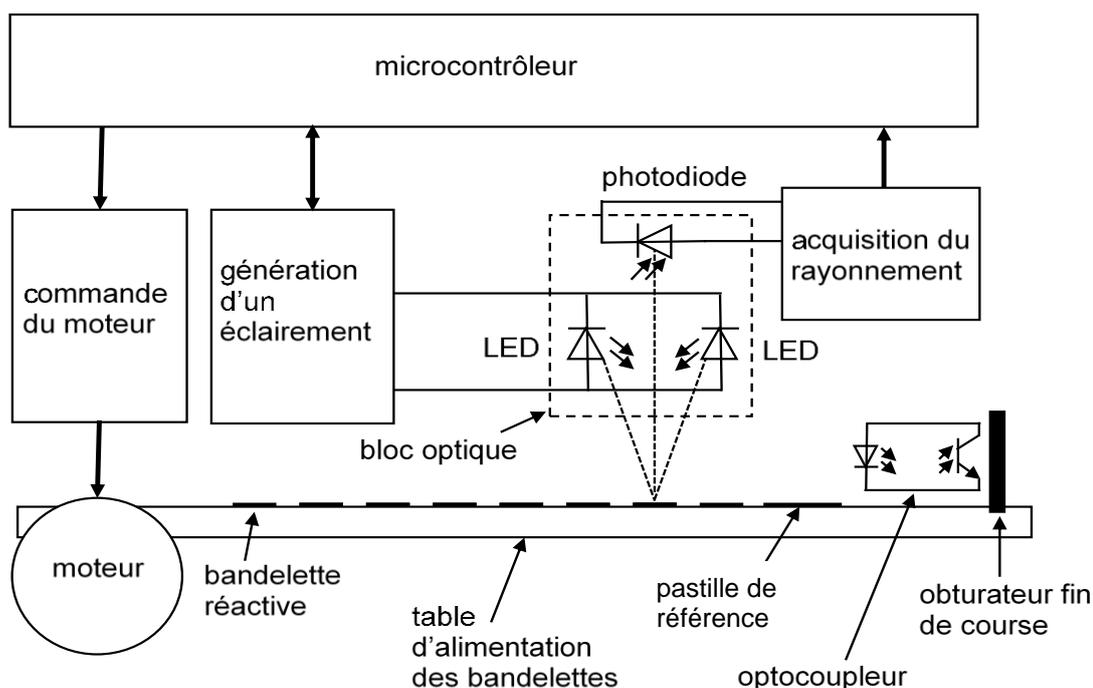


Pour effectuer l'analyse, la bandelette est trempée dans l'urine du patient puis placée sur le guide bandelette jusqu'à une butée. Après lancement de la mesure, la table d'alimentation se déplace pour positionner la première pastille de la bandelette urinaire dans l'axe d'une photodiode.

L'opération est répétée pour les sept pastilles suivantes.

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2023
CODE SUJET : 23CDE3SC	Coefficient : 1,5	Page 2 sur 14

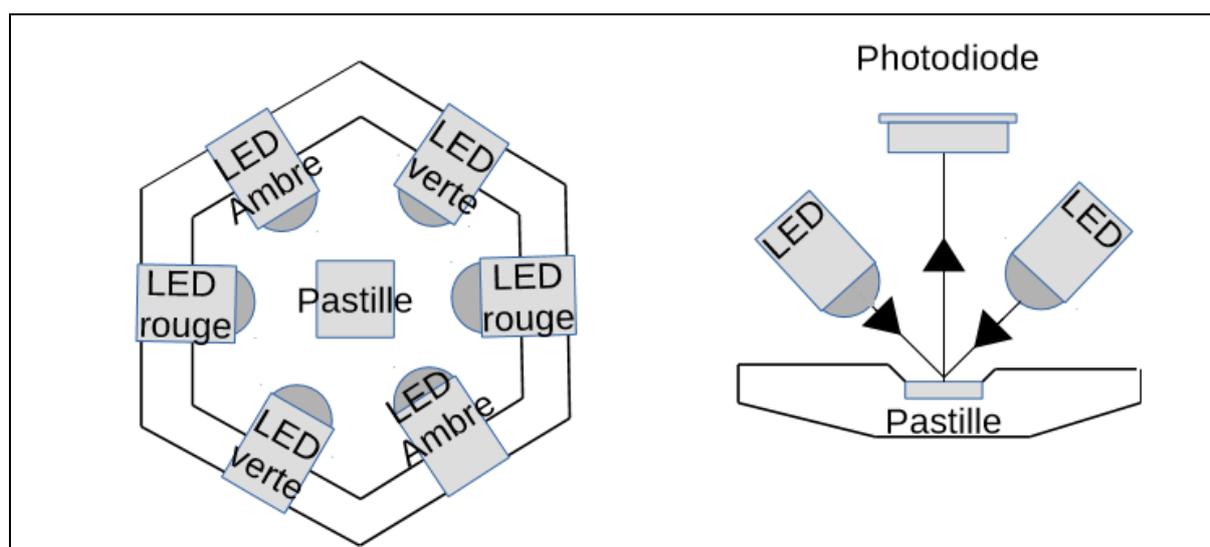
Schéma de principe général



Le bloc optique supporte six DEL (aussi appelées LED) et une photodiode. La répartition se fait en trois paires de DEL émettant de la lumière monochromatique dont les longueurs d'onde sont de 558 nm (DEL verte), 606 nm (DEL ambre) et 647 nm (DEL rouge). Les DEL sont situées en hexagone autour de la photodiode et diamétralement opposées pour la même couleur. La disposition des DEL est représentée ci-dessous.

Chaque paire de DEL illumine tour à tour une des pastilles réactives de la bandelette de test. Le déplacement d'une pastille à l'autre est assuré par le moteur pas à pas.

La photodiode est positionnée face à la surface éclairée par les DEL de manière à recevoir le maximum d'éclairage. Le signal lumineux reçu par la photodiode est ensuite converti en un signal électrique pour être traité par le microcontrôleur.



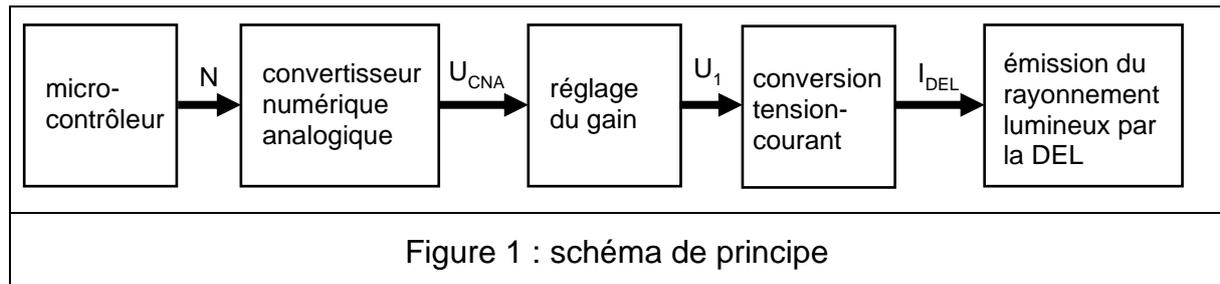
BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2023
CODE SUJET : 23CDE3SC	Coefficient : 1,5	Page 3 sur 14

Partie A : comment obtenir une intensité lumineuse réglable ? (6 points)

À intensité de courant égale, les DEL n'émettent pas le même flux lumineux. Celui émis par la DEL rouge doit être le même que ceux émis par les autres DEL, lorsque leurs lumières sont réfléchies sur une pastille blanche de référence.

Le réglage du gain permet de compenser la différence de flux lumineux des DEL selon les couleurs émises. Le réglage fin réalisé pendant une phase d'initialisation se fait par logiciel (non étudié ici).

Dans la suite du problème seul le réglage de la DEL rouge sera étudié (figure 1).



Le microcontrôleur fournit une valeur binaire sur 8 bits. Le convertisseur numérique-analogique convertit cette valeur en une tension analogique U_{CNA} .

Tension de référence du CNA : $V_{REF} = 5 \text{ V}$.

Tension pleine échelle U_{CNA-PE} : $U_{CNA-PE} = \frac{255}{256} \cdot V_{REF}$.

(lorsque les 8 entrées du CNA sont à l'état haut)

- Q1.** Calculer la tension pleine échelle U_{CNA-PE} du CNA.
- Q2.** Vérifier que le quantum noté q de ce convertisseur vaut 19,5 mV.
- Q3.** Calculer la tension U_{CNA} pour une valeur décimale d'entrée N égale à 150.

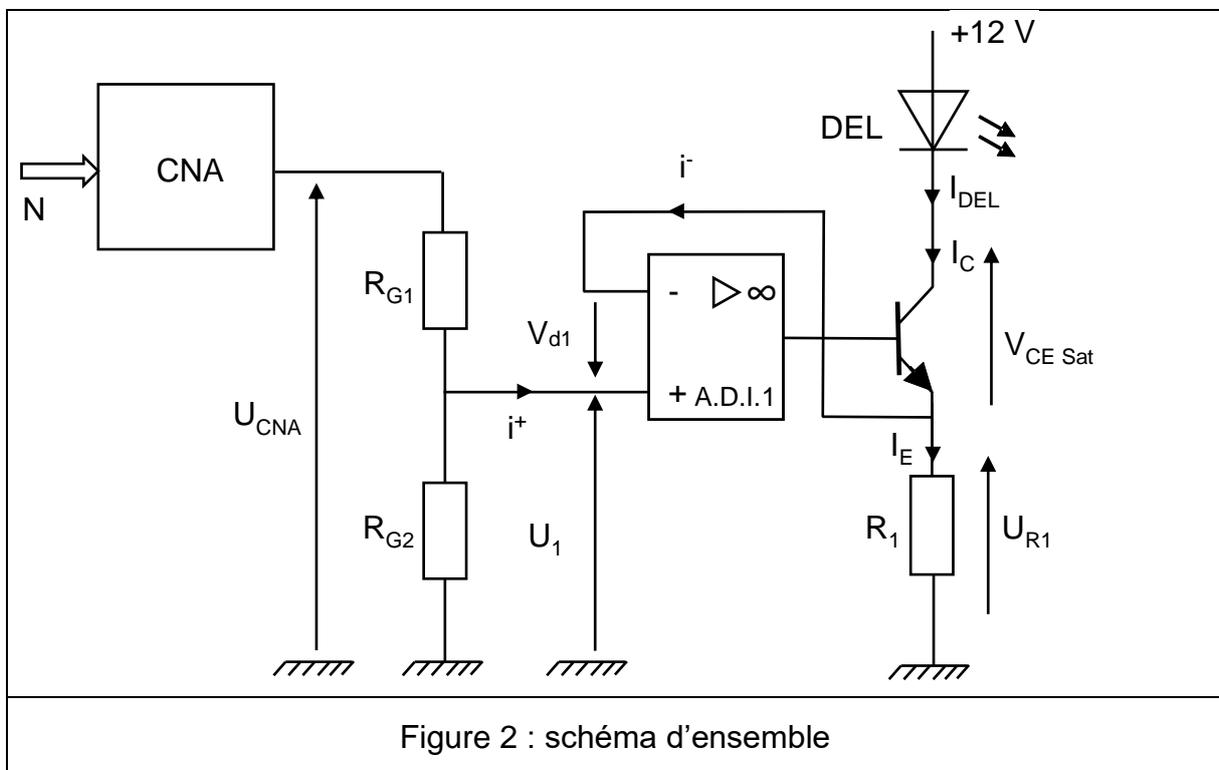
BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2023
CODE SUJET : 23CDE3SC	Coefficient : 1,5	Page 4 sur 14

À intensité de courant égale, les DEL ne produisent pas la même intensité lumineuse (voir tableau ci-dessous). Il est donc nécessaire d'adapter l'intensité du courant circulant dans chaque DEL, afin d'avoir une intensité lumineuse identique pour les trois DEL.

Données concernant les DEL :

Type de DEL	Longueur d'onde	Intensité lumineuse pour un courant d'intensité 50 mA
DEL rouge	647 nm	300 mcd
DEL ambre	606 nm	250 mcd
DEL verte	558 nm	150 mcd

Remarque : 1 mcd = 1 millicandela.



En utilisant le circuit de la figure 2 (l'A.D.I. fonctionne en régime linéaire et est considéré comme idéal) :

Q4. Exprimer la tension U_1 en fonction de R_{G1} , R_{G2} et U_{CNA} .

On donne : $R_{G1} = 10 \text{ k}\Omega$.

Q5. Calculer R_{G2} pour avoir $U_1 = \frac{U_{CNA}}{2}$.

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2023
CODE SUJET : 23CDE3SC	Coefficient : 1,5	Page 5 sur 14

Q6. Exprimer la relation entre U_{R1} , V_{d1} et U_1 .

Q7. En déduire la relation entre U_1 et U_{R1} .

On considère que $I_C = I_E$.

Q8. Montrer que $I_{DEL} = \frac{U_1}{R_1}$.

On suppose que l'intensité lumineuse I_{LUM} (en mcd) est proportionnelle à l'intensité du courant I_{DEL} traversant la DEL (en mA). On donne $R_1 = 50 \Omega$.

Q9. Vérifier, après avoir complété le tableau sur le DOCUMENT RÉPONSE DR1, que les valeurs trouvées sont en accord avec une relation de proportionnalité entre N et I_{LUM} .

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2023
CODE SUJET : 23CDE3SC	Coefficient : 1,5	Page 6 sur 14

Partie B : comment convertir un signal lumineux analogique en une grandeur numérique ? (9 points)

Le flux lumineux F réfléchi par les pastilles est capté par la photodiode et converti en un signal électrique analogique puis en un signal électrique numérique afin d'être traité par le microcontrôleur (figure 3).

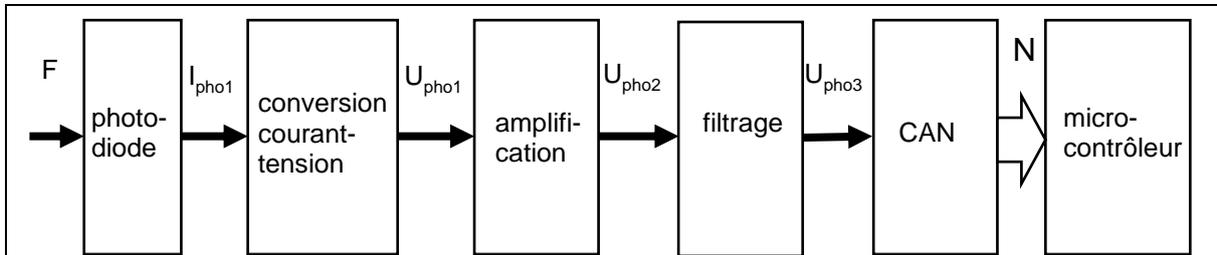


Figure 3 : schéma de principe

La photodiode convertit un signal lumineux en un courant électrique I_{pho1} (figure 4). Ce courant est proportionnel à l'éclairement reçu par la photodiode. On considère pour cette partie que l'éclairement reçu par la photodiode est de 100 lx (lux).

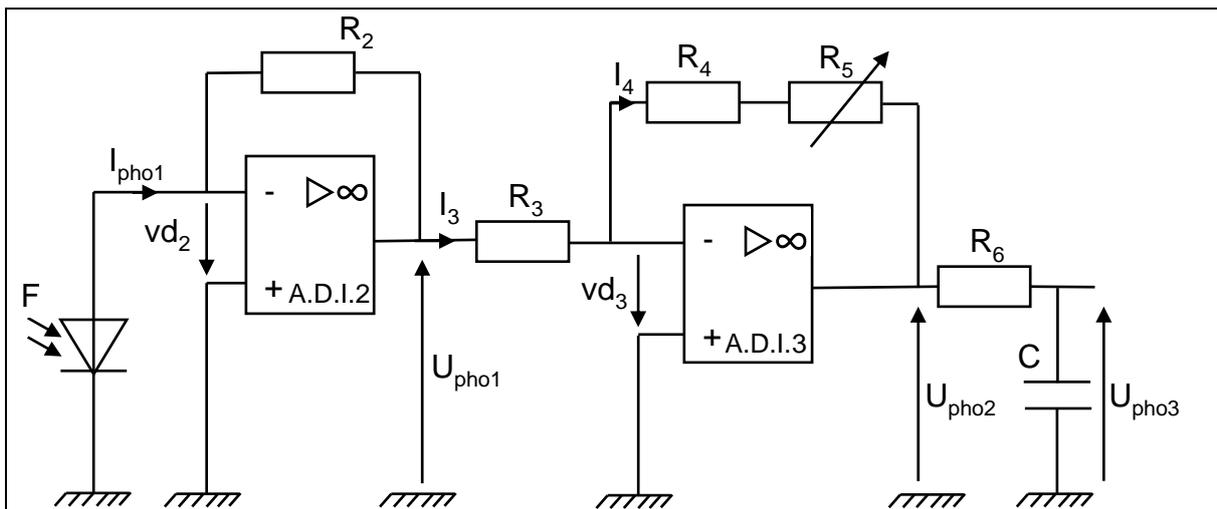
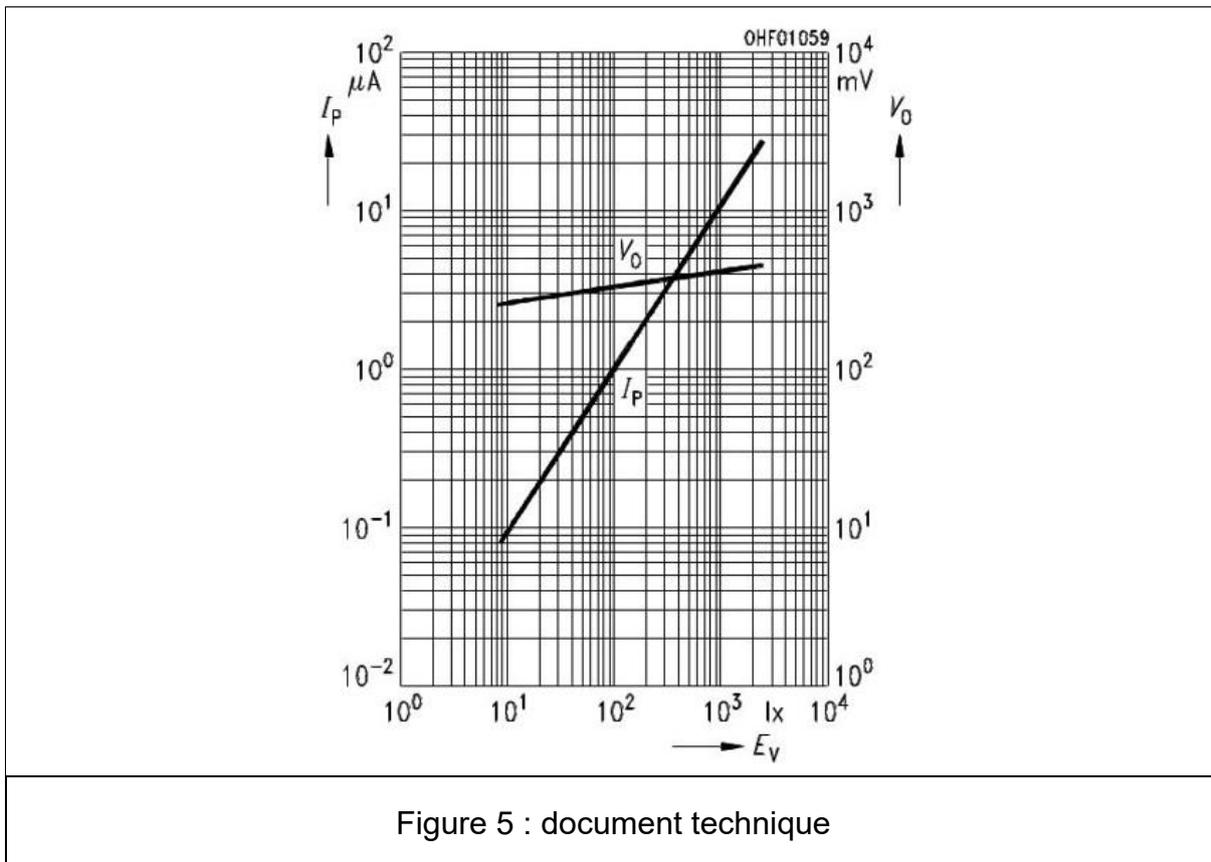


Figure 4 : schéma d'ensemble

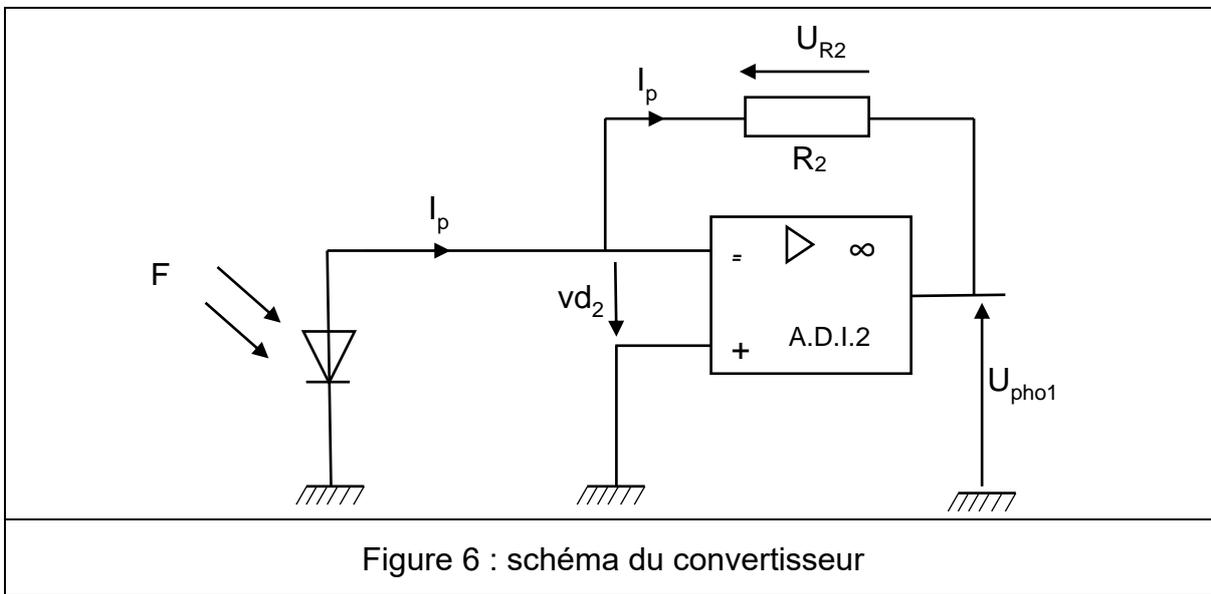
Q10. Placer les trois points correspondant aux trois longueurs d'onde sur le graphique (DOCUMENT RÉPONSE DR1) et indiquer quelle couleur permet d'obtenir la meilleure sensibilité spectrale relative la plus élevée.

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2023
CODE SUJET : 23CDE3SC	Coefficient : 1,5	Page 7 sur 14

Q11. Déterminer l'intensité du courant I_p produit par la photodiode pour un éclairement E_v de 100 lux en vous aidant de la figure 5.



La tension U_{pho1} est proportionnelle au courant I_p , image de l'éclairement reçu.



BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2023
CODE SUJET : 23CDE3SC	Coefficient : 1,5	Page 8 sur 14

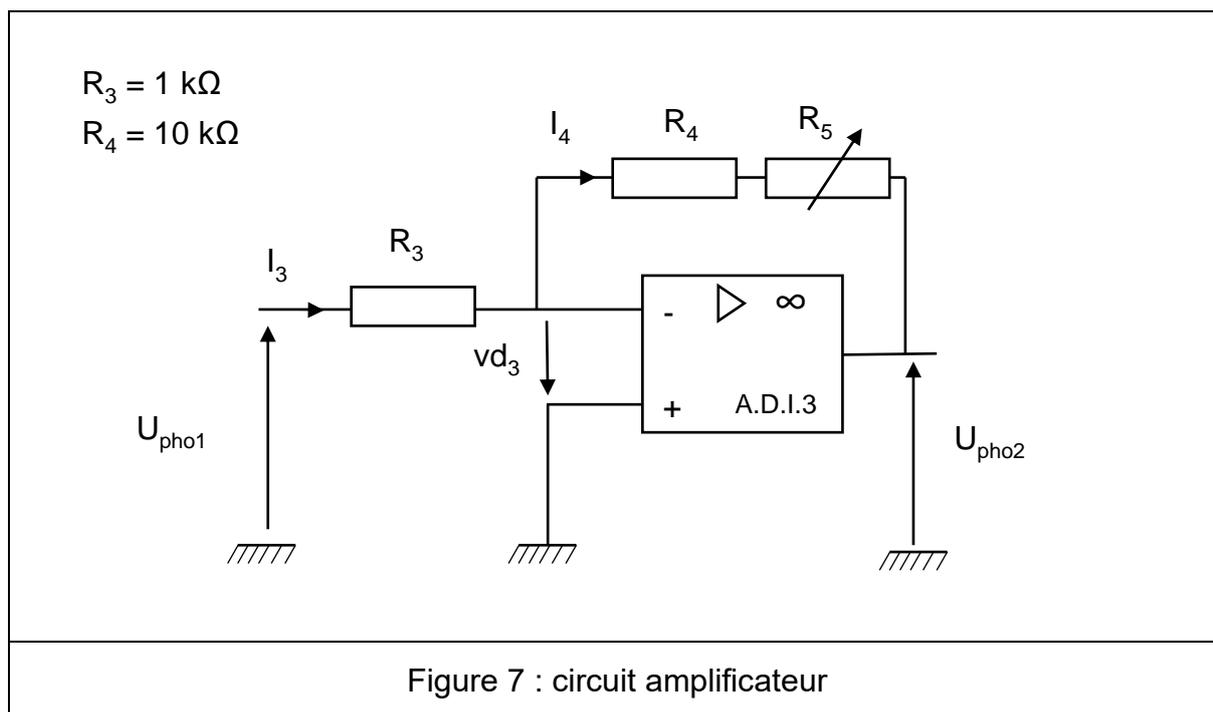
En utilisant le schéma de la figure 6 :

- Q12.** Indiquer et justifier le régime de fonctionnement de l'A.D.I.2, supposé idéal.
- Q13.** Exprimer la relation entre U_{pho1} et U_{R2} .
- Q14.** Dédire la relation entre U_{pho1} , I_p et R_2 .
- Q15.** Calculer la tension U_{pho1} pour $R_2 = 470 \text{ k}\Omega$ et un éclairage de 100 lux.

La fonction amplification (figure 7) permet d'obtenir :

$U_{\text{pho2}} = 0 \text{ V}$ lorsque les DEL sont éteintes ;

$U_{\text{pho2}} = 5,5 \text{ V}$ lorsque les DEL rouges sont allumées pour $N = 255$ (soit $E_v = 100 \text{ lx}$).



Un calcul, non demandé, montre que U_{pho2} en fonction de U_{pho1} s'exprime par :

$$U_{\text{pho2}} = -\frac{R_4 + R_5}{R_3} \times U_{\text{pho1}}$$

avec R_5 fixée à 1,7 k Ω .

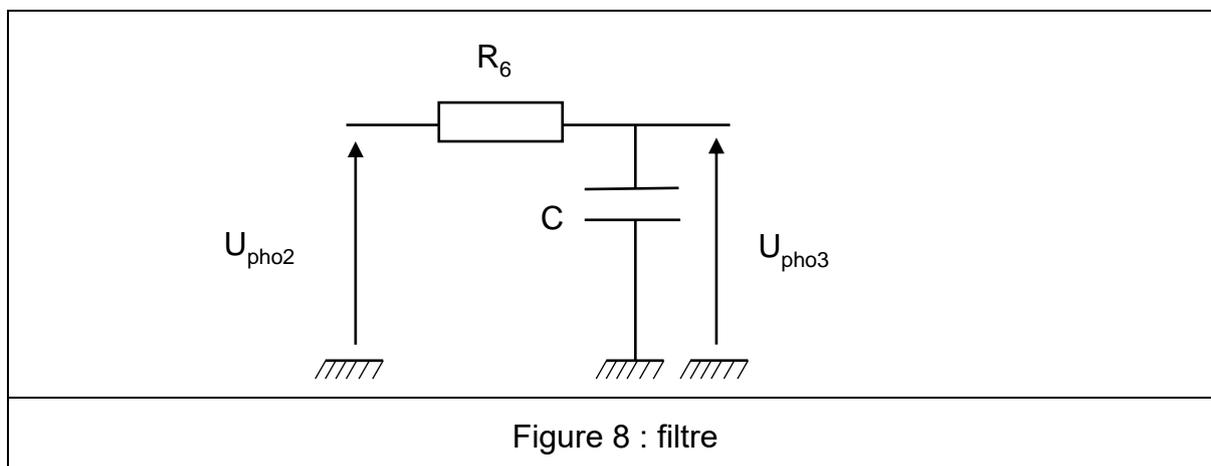
- Q16.** Calculer l'amplification $A = \frac{U_{\text{pho2}}}{U_{\text{pho1}}}$ du circuit.

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2023
CODE SUJET : 23CDE3SC	Coefficient : 1,5	Page 9 sur 14

Le filtrage de la tension U_{pho2} permet de la rendre compatible avec le convertisseur analogique numérique au niveau du microcontrôleur.

La tension à l'entrée du convertisseur analogique numérique (CAN) doit être constante pendant la durée de conversion.

On a effectué l'étude du filtre représenté figure 8 en régime sinusoïdal. On obtient la courbe représentant le gain G en fonction de la fréquence (voir DOCUMENT RÉPONSE DR2).



Q17. Mesurer la valeur du gain G en basses fréquences d'après la courbe de gain donnée dans le DOCUMENT RÉPONSE DR2.

Q18. Mesurer la fréquence de coupure f_c à -3 dB en faisant apparaître le tracé sur le DOCUMENT RÉPONSE DR2.

Q19. Déterminer la nature du filtre, d'après la courbe de gain donnée dans le DOCUMENT RÉPONSE DR2.

Q20. Préciser le rôle de ce filtre.

Dans la suite de l'étude, on considère que $U_{\text{pho2}} = U_{\text{pho3}}$.

La dernière étape consiste à convertir la tension U_{pho3} sous forme numérique pour être traitée par le microcontrôleur.

Le CAN a un quantum q_{CAN} égal à 0,0215 V.

Q21. Compléter le tableau du DOCUMENT RÉPONSE DR2.

Q22. Vérifier, la proportionnalité entre les valeurs numériques calculées pour l'éclairement E_v et le nombre N appliqué à l'entrée du microcontrôleur. On acceptera un écart relatif maximal de 2 %.

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2023
CODE SUJET : 23CDE3SC	Coefficient : 1,5	Page 10 sur 14

Partie C : la durée du cycle d'analyse est-elle respectée ? (5 points)

Lors de la mesure, chaque pastille réactive est positionnée dans l'axe de la photodiode afin d'en effectuer l'analyse. Le déplacement du support de la tablette est assuré par une crémaillère et un pignon entraîné par un moteur pas à pas.

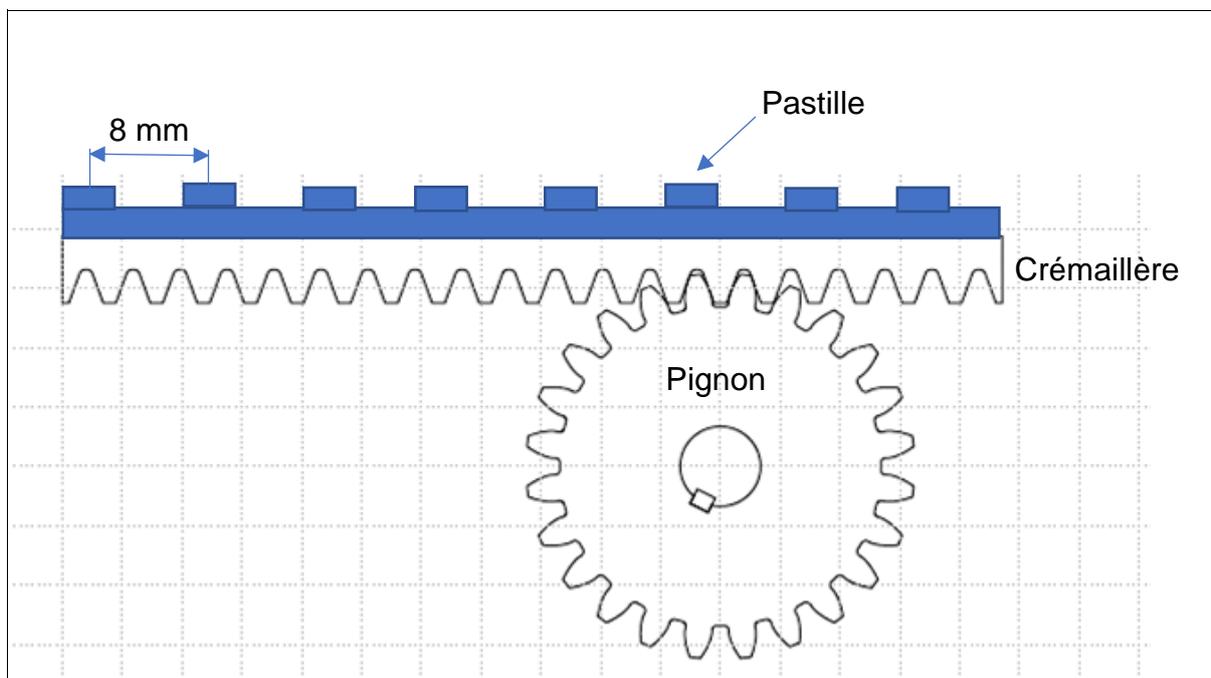


Figure 9 : schéma de principe de l'ensemble « pignon-crémaillère »

Cahier des charges relatif à l'analyseur	
Durée maximale d'un cycle de lecture total des 8 pastilles :	60 s
Espace entre 2 pastilles successives :	3 mm
Tolérance de positionnement de la pastille :	0,5 mm
Taille d'une pastille :	5 mm
Durée de l'analyse d'une pastille :	1,5 s
Caractéristique du pignon (roue dentée)	
Module :	$m = 1 \text{ mm}$
Nombre de dents :	$z = 24$
Caractéristique de la crémaillère	
Module :	$m = 1 \text{ mm}$
Caractéristique du moteur pas à pas	
Moteur pas à pas bipolaire	200 pas/tour
Relations relatives au pignon et à la crémaillère	
$m = \frac{d}{z}$	avec d le diamètre du pignon en mm et m le module en mm
$p = m \times \pi$	avec p le pas de la crémaillère en mm (distance entre 2 dents)

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2023
CODE SUJET : 23CDE3SC	Coefficient : 1,5	Page 11 sur 14

Q23. Calculer le diamètre d du pignon.

Q24. Vérifier, par un calcul, que l'angle θ correspondant à un pas du moteur vaut $3,1 \times 10^{-2}$ rad.

Q25. Déterminer le déplacement L_P de la crémaillère correspondant à un pas du moteur.

La tolérance sur le déplacement de la crémaillère est donnée à plus ou moins un pas.

Q26. Vérifier que le déplacement L_P est conforme à la tolérance de positionnement du cahier des charges lorsque le moteur se déplace à un pas près.

Q27. Calculer le nombre de pas N_P du moteur, nécessaires au passage d'une pastille à l'autre (soit un déplacement de 8 mm).

La vitesse du moteur pas à pas est fixée à 20 pas par seconde.

Q28. Calculer la durée Δt nécessaire au passage d'une pastille à l'autre.

Le bloc optique étant placé sur la première pastille, l'appareil effectue 8 analyses, 7 déplacements. La durée, notée t_R , du retour du bloc optique est de 14 s.

Q29. Vérifier que la durée d'un cycle de lecture complet de la bandelette est conforme avec le cahier des charges.

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2023
CODE SUJET : 23CDE3SC	Coefficient : 1,5	Page 12 sur 14

DOCUMENT RÉPONSE DR1

À rendre avec votre copie

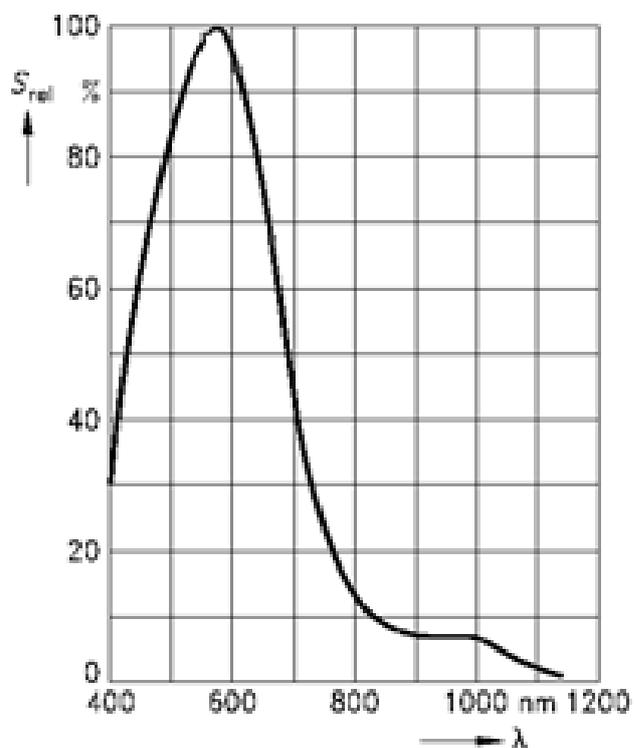
RÉPONSE à Q9.

Valeur de N	U _{CNA} (V)	U ₁ (V)	U _{R1} (V)	I _{DEL} (mA)	I _{LUM} (mcd)
150	2,93			29,4	
255	4,98	2,49	2,49	49,8	300

RÉPONSE à Q10.

Relative spectral sensitivity

$$S_{rel} = f(\lambda)$$

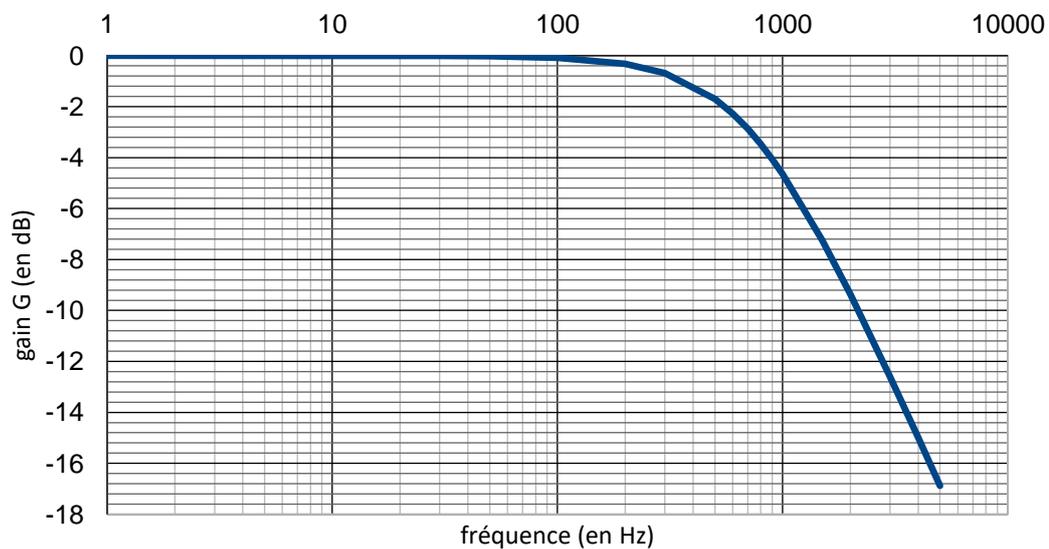


BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2023
CODE SUJET : 23CDE3SC	Coefficient : 1,5	Page 13 sur 14

DOCUMENT RÉPONSE DR2

À rendre avec votre copie

RÉPONSE à Q17. et Q18.



RÉPONSE à Q21.

E_v (lux)	I_p (μA)	U_{pho1} (V)	U_{pho2} (V)	U_{pho3} (V)	$(N)_{10}$
10	0,1	-0,047	0,55		25
20	0,2	-0,094		1,1	51
100	1	-0,47			

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2023
CODE SUJET : 23CDE3SC	Coefficient : 1,5	Page 14 sur 14

