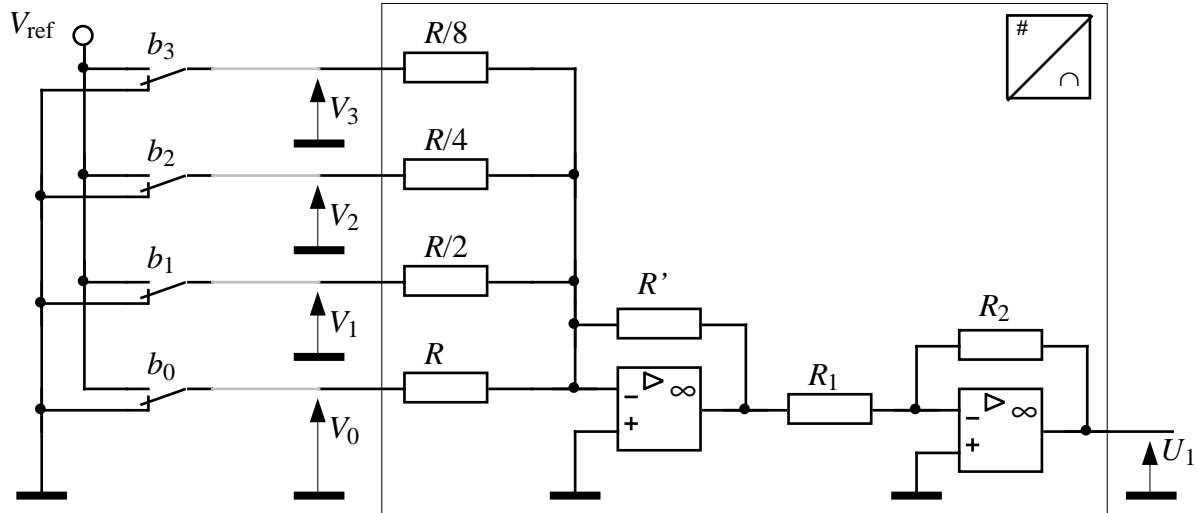


## B12 - CNA & B13 - CAN

### 1ère partie : CNA "à résistances pondérées"

#### I- Principe de fonctionnement d'un CNA 4 bits réalisé à l'aide d'un sommateur à résistances pondérées



1°) Écrire la table des nombres entiers en code binaire, pour  $0 \leq N \leq 15$ .

2°) Écrire l'équation de  $U_1 = f(V_0, V_1, V_2, V_3)$

3°) On suppose que chaque entrée ne peut prendre que les valeurs 0 ou  $V_{\text{ref}} = 5 \text{ V}$ . Par exemple :  $V_0 = b_0 \cdot 5$  avec  $b_0 = 0$  ou 1. Montrer que l'on a :  $U_1 = K(8b_3 + 4b_2 + 2b_1 + b_0) = K \cdot N$ .

Préciser l'expression de  $K$  en fonction des résistances et de  $V_{\text{ref}}$ .

Soit  $R = 80 \text{ k}\Omega$  ;  $R' = 8 \text{ k}\Omega$ . Choisir les valeurs de  $R_1$  et  $R_2$  de façon à avoir une tension de sortie comprise entre 0 et 7,5 V :

$$U_1 = 0 \text{ V lorsque } b_3 = \dots = b_0 = 0$$

$$U_1 = 7,5 \text{ V lorsque } b_3 = \dots = b_0 = 1$$

Utiliser des boîtes AOIP pour les résistances  $R, \dots, R/8$ .

4°) Tracer la caractéristique de transfert  $U_1(N)$ . Quel est la valeur de l'incrément de tension  $\Delta U_1$  ?

5°) Évaluation du montage : on veut étudier l'influence de la précision des valeurs de  $R, R/2, R/4, R/8$ . Représenter de nouveau la caractéristique de transfert (sur la même feuille) pour :

$R$  et  $R/8$  : valeurs exactes

$R/2 = \text{supérieure}$  de 10 % à sa valeur nominale

$R/4 = \text{inférieure}$  de 10 % à sa valeur nominale

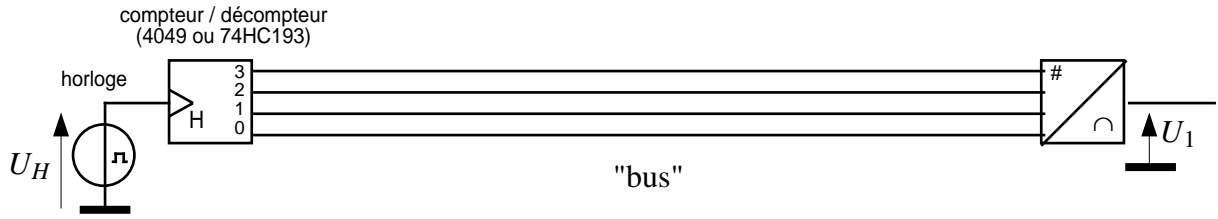
Conclusion.

Conserver le montage pour la suite du TP (avec les valeurs correctes pour le réseau R)

#### II- Générateur de rampe numérique

Avec le montage précédent, réaliser un générateur de rampe de tension comprise entre 0 et 7,5V<sup>(1)</sup>, associant le CNA à un compteur binaire 4 bits et une horloge (GBF sortie TTL,  $f_H = 10 \text{ kHz}$ ). Relever sur le document réponse les signaux  $U_H, V_0, V_1, V_2, V_3$  (échelle 5 V  $\leftrightarrow$  1 cm **sauf** :  $U_1$  : éch. 1 V  $\leftrightarrow$  1 cm) .

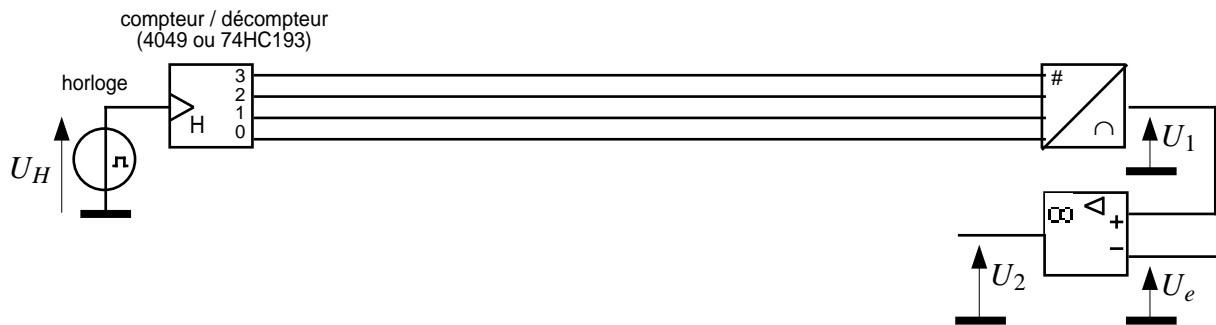
<sup>(1)</sup> Eventuellement, régler le gain de l'amplificateur en modifiant  $R_2$  pour ajuster l'amplitude crête de la rampe  $U_1$  à 7,5V (ceci à cause du type de circuits logiques CMOS : série 4000  $\rightarrow$  sortie 0/5V ; série HC  $\rightarrow$  sortie 0/4V).



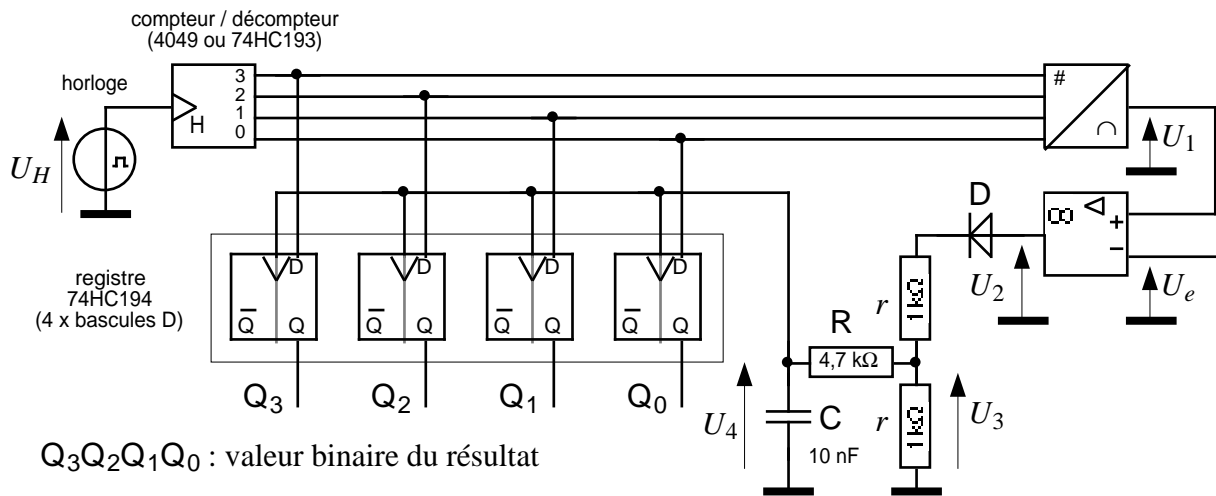
**III- Modulateur de Largeur d'Impulsions (MLI) Pulse Width Modulation (PWM)**

A l'aide du générateur de rampes, réaliser un MLI, générateur de signaux rectangulaires de rapport cyclique  $\alpha$  variable commandé par une tension continue réglable  $U_e$  comprise entre 0 et 7,5 V.

- 1) Vérifier que  $\alpha$  est proportionnel à  $U_e$  :  $\alpha = k.U_e$ . Calculer  $k$ .
- 2) Pour  $U_e = 3,25V$  relever à la suite des graphes précédents le signal  $U_2$ . Echelle : 5 V  $\leftrightarrow$  1 cm



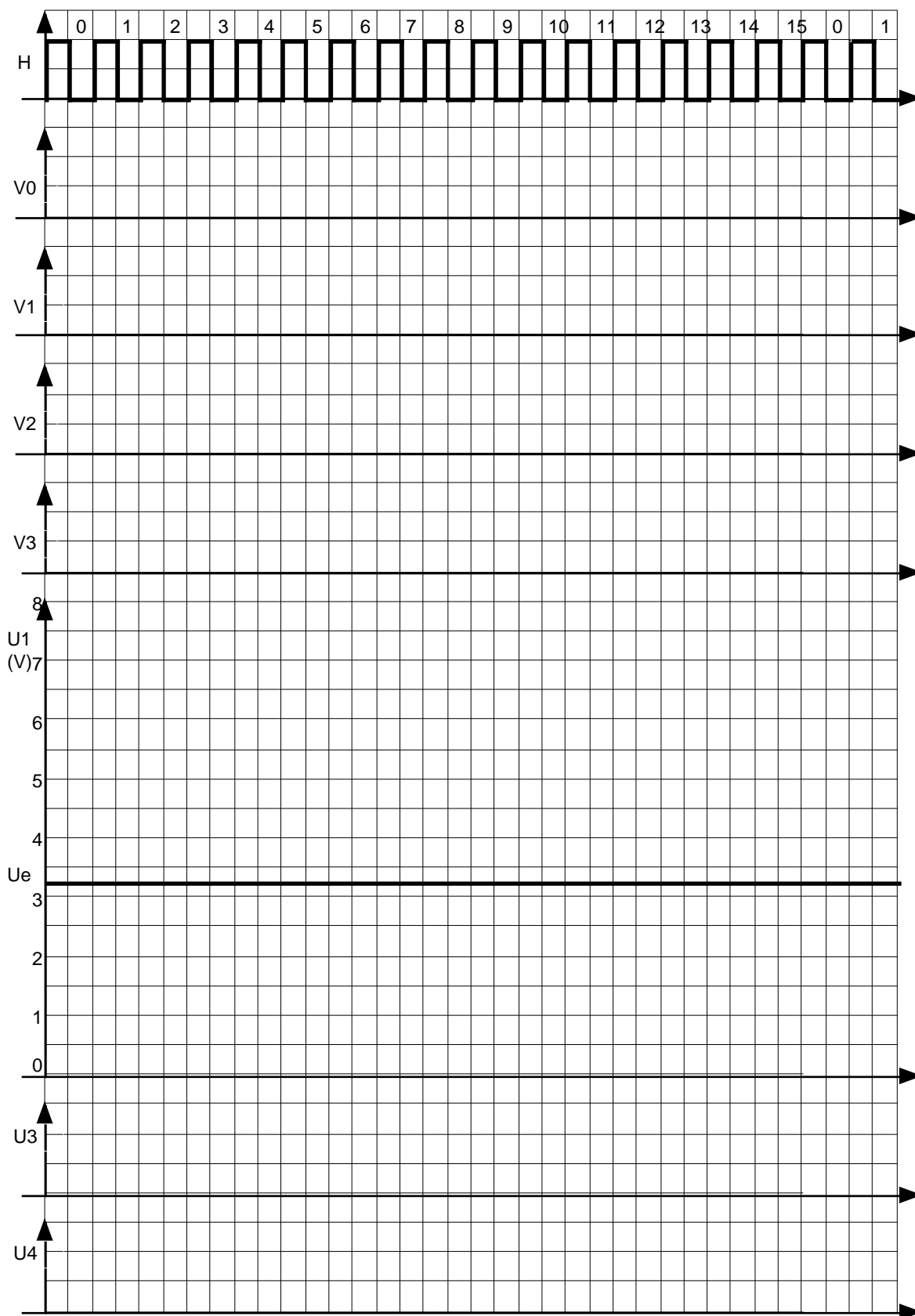
**2ème partie : CAN "à rampe numérique"**



$Q_3Q_2Q_1Q_0$  : valeur binaire du résultat

- 1°) Soit  $U_e = 3,25V$ . Relever à la suite des graphes précédents le signal  $U_3$ . Echelle : 5 V  $\leftrightarrow$  1 cm. Quel est le rôle de la diode D ? Des résistances  $r$  ?
- 2°) Mesurer le retard de  $U_4$  par rapport à  $U_3$ . Quel est le rôle de ce retard (circuit RC) ?
- 3°) *Données techniques* : A.Op.: tension de saturation :  $\pm 11$  V ; diode D : tension en direct :  $V_D = 0,7$  V ; circuits logiques CMOS alimentés sous 5V  $\Rightarrow$  seuil de basculement  $V_b = 2,5V$ .
- a) Rappeler l'expression de  $U_4(t)$ , sachant que  $U_3(t)$  est un échelon de tension d'amplitude 5 V.
- b) Relever l'instant où les bascules D (déclenchées sur un front montant) enregistrent l'état du bus
- 4°) Quelle est la durée maximale d'une conversion ?
- 5°) Quelle est la valeur binaire  $Q_3Q_2Q_1Q_0$  du résultat ? Quelle est sa valeur décimale  $N$  ?
- 6°) Donner l'allure de la caractéristique de transfert  $N(U_e)$ . Préciser la relation  $N = f(U_e)$ .
- 7°) Proposer une modification du montage pour que le système fonctionne avec  $-5 \leq U_e \leq +5V$ .

Document réponse



## Commentaires

### 1ère partie : CNA "à résistances pondérées"

$$U_1 = - \left( \frac{8R'}{R}V_3 + \frac{4R'}{R}V_2 + \frac{2R'}{R}V_1 + \frac{R'}{R}V_0 \right) - \frac{R_2}{R_1}$$

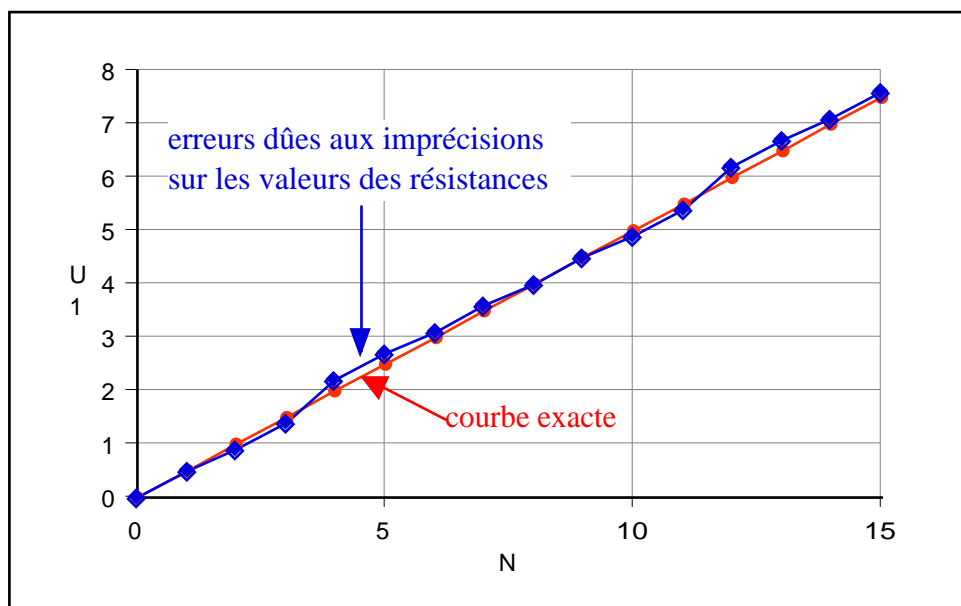
$$\Rightarrow U_1 = \frac{R_2}{R_1} \frac{R'}{R} (8V_3 + 4V_2 + 2V_1 + V_0) = K \cdot N \quad \text{avec } N = 8b_3 + 4b_2 + 2b_1 + b_0$$

$$K = V_{ref} \frac{R_2}{R_1} \frac{R'}{R} \quad \text{avec } K = \frac{U_{1\max}}{N_{\max}} = \frac{7,5}{15} = 0,5 \text{ V} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 1$$

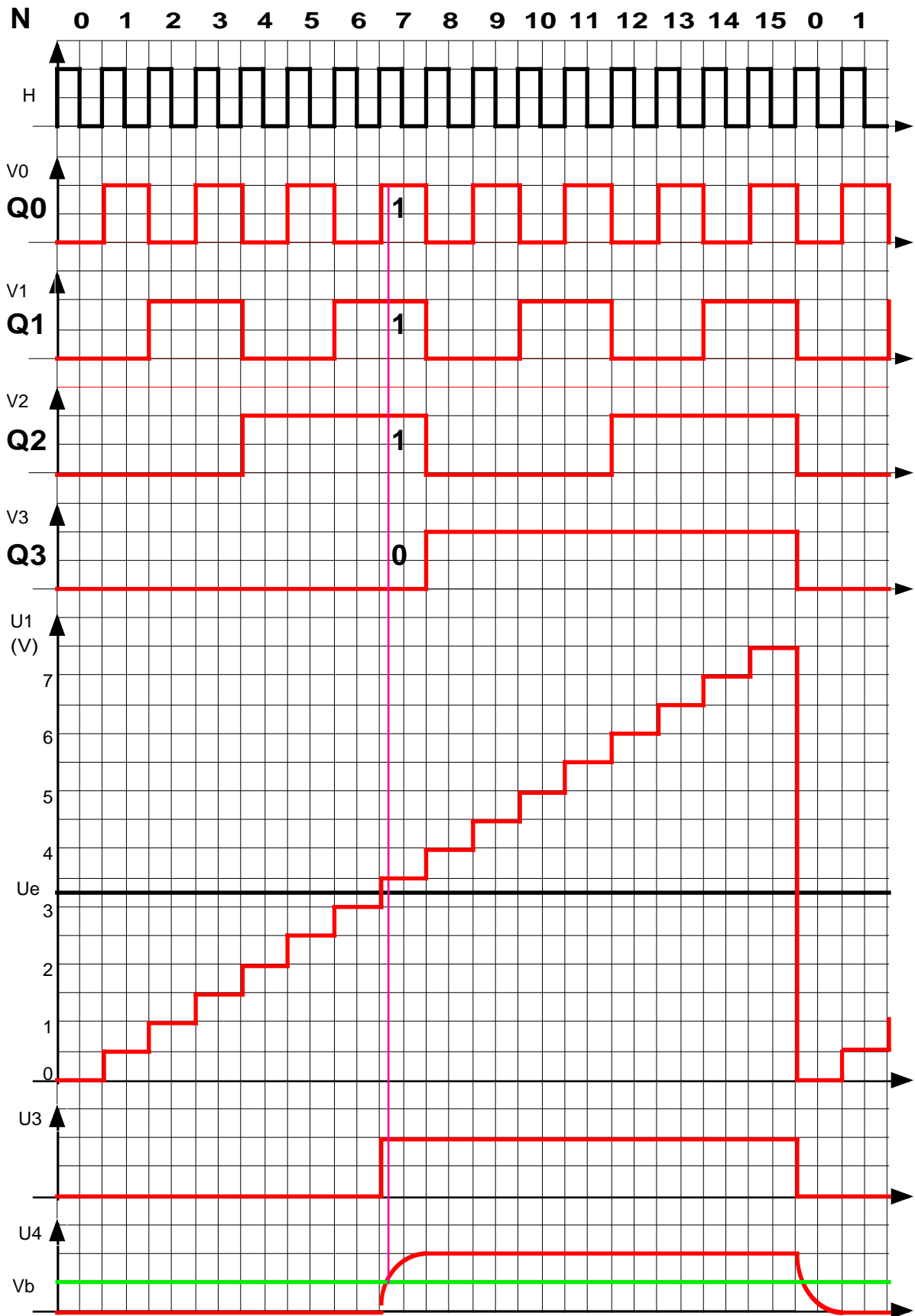
Résolution :  $\Delta U_1 = 0,5 \text{ V}$

Le tracé de la fonction  $U_1 = f(N)$ , avec des résistances de valeur exacte puis avec des résistances de valeur erronée, met en évidence l'importance d'une bonne précision sur ces valeurs :

| b3 | b2 | b1 | b0 | N  | exact | N  | erreur |
|----|----|----|----|----|-------|----|--------|
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0,0   | 0  | 0      |
| 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0,5   | 1  | 0,5    |
| 0  | 0  | 1  | 0  | 2  | 1,0   | 2  | 0,9    |
| 0  | 0  | 1  | 1  | 3  | 1,5   | 3  | 1,4    |
| 0  | 1  | 0  | 0  | 4  | 2,0   | 4  | 2,2    |
| 0  | 1  | 0  | 1  | 5  | 2,5   | 5  | 2,7    |
| 0  | 1  | 1  | 0  | 6  | 3,0   | 6  | 3,1    |
| 0  | 1  | 1  | 1  | 7  | 3,5   | 7  | 3,6    |
| 1  | 0  | 0  | 0  | 8  | 4,0   | 8  | 4      |
| 1  | 0  | 0  | 1  | 9  | 4,5   | 9  | 4,5    |
| 1  | 0  | 1  | 0  | 10 | 5,0   | 10 | 4,9    |
| 1  | 0  | 1  | 1  | 11 | 5,5   | 11 | 5,4    |
| 1  | 1  | 0  | 0  | 12 | 6,0   | 12 | 6,2    |
| 1  | 1  | 0  | 1  | 13 | 6,5   | 13 | 6,7    |
| 1  | 1  | 1  | 0  | 14 | 7,0   | 14 | 7,1    |
| 1  | 1  | 1  | 1  | 15 | 7,5   | 15 | 7,6    |



2ème partie : CAN "à rampe numérique"



A l'instant où la rampe  $U_1$  devient supérieure à la tension d'entrée  $U_e$ , l'AOP bascule, ce qui provoque l'apparition d'un front montant sur  $U_3$ . Après un court délais imposé par le circuit RC pour éviter un aléa logique, ce front est communiqué par la tension  $U_4$  aux entrées d'horloge des bascules D. Celles-ci mémorisent donc l'état  $Q_3Q_2Q_1Q_0$  de la sortie du compteur qui correspond à la valeur qu'a prise la rampe  $U_1$  à cet instant. (ici,  $N = 0111$ )

NB1 : la sortie  $U_2$  de l'AOP vaut environ  $\pm 11$  V. Cette tension est redressée puis divisée par 2 pour imposer à  $U_3$  des niveaux logiques égaux à 0 ou 5 V.

NB2 : le retard  $\theta$  apporté par le circuit RC vaut environ  $\tau \cdot \ln 2$ , car :  $V_b \approx 2,5 = 5 \left( 1 - e^{-\frac{\theta}{\tau}} \right)$