

# Station NIVOSE

(Extraits du sujet de l'agrégation interne de génie électrique session 2002)

## **1 FONCTION FP1 "MESURE DE LA HAUTEUR DE NEIGE"**

Météo France dispose dans les Pyrénées, les Alpes et la Corse, d'un réseau automatique de mesures de la neige installé le plus souvent à haute altitude. Il est constitué de vingt stations automatiques, appelées "Nivose", qui fonctionnent de manière autonome à l'aide de batteries rechargées par des panneaux solaires et dont les informations sont transmises grâce au relais du satellite Météosat. Les stations "Nivose" sont équipées de capteurs spécifiques notamment celui qui sert à la mesure par ultrasons de la hauteur de neige.

### **1.1 ETUDE DU CONCEPT DE MESURE DE LA HAUTEUR DE NEIGE**

Une impulsion d'une durée d'environ 5 ms est envoyée par l'émetteur d'ultrasons. La neige renvoie un écho. La durée qui sépare l'émission de la réception est fonction de la distance parcourue par le son. La hauteur du pylône ( $h_0$ ) est 5 mètres.

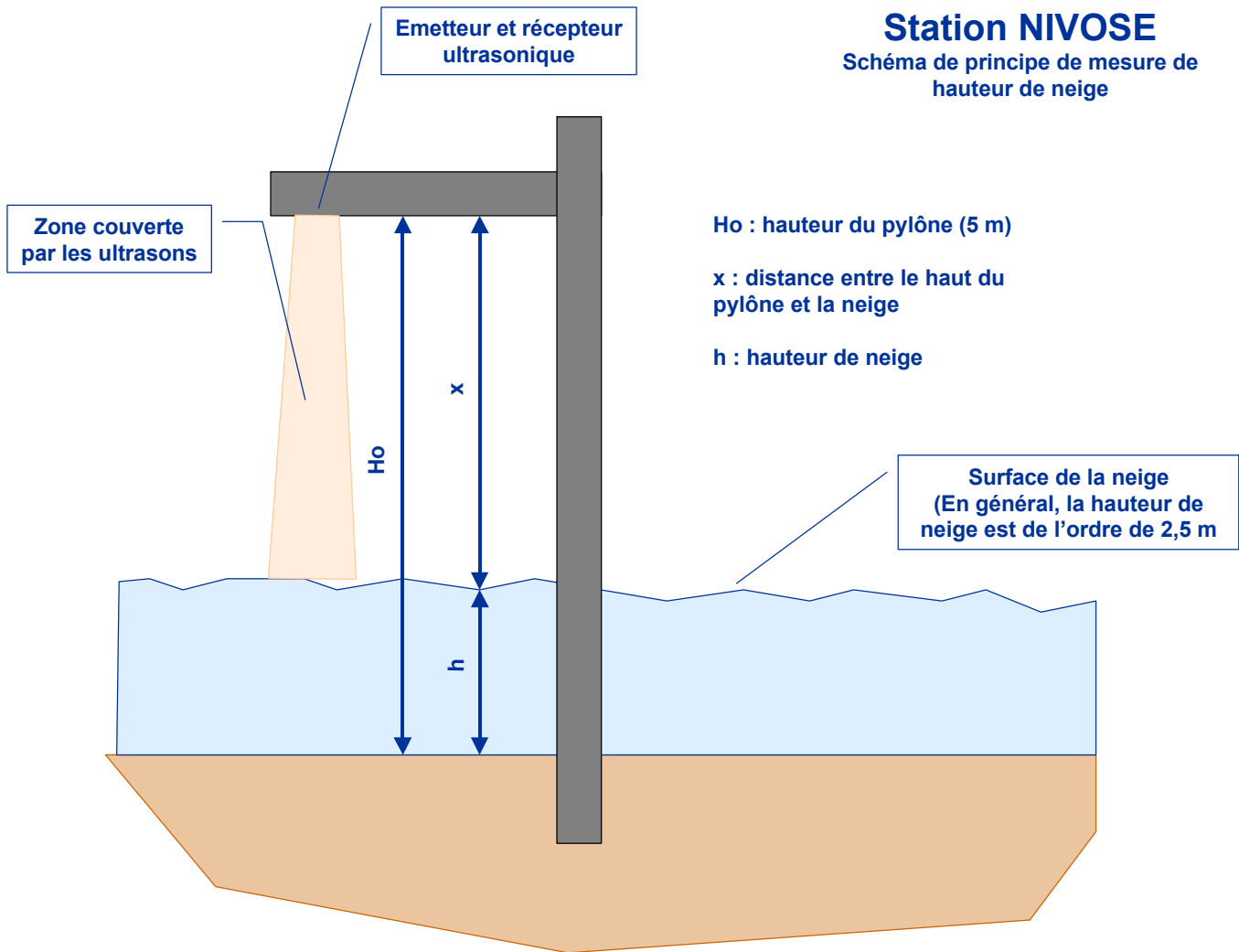


Figure 1 : schéma de principe de mesure de la hauteur de neige

Au cours de cette première partie, la vitesse du son ( $V_0$ ) est supposée constante à 332m/s. Une horloge de période  $T_h$  et de fréquence  $F_h$  actionne un compteur.

**Travail demandé**

**Q A1) Donner la relation qui lie la hauteur de neige ( $h$ ), la hauteur du pylône ( $h_0$ ), la vitesse du son ( $V_0$ ), le nombre ( $N$ ) d'impulsions du compteur et la période de l'horloge ( $T_h$ ).**

$$h = h_0 - x = h_0 - \frac{V_0 \cdot t}{2} = h_0 - \frac{V_0 \cdot N \cdot T_h}{2}$$

$$h = h_0 - \frac{V_0 \cdot N \cdot T_h}{2}$$

Le dispositif choisi donne directement un nombre  $N_1$  qui correspond à la hauteur de neige en cm. Pour cela, le compteur fonctionne en décompteur. Avant la mesure, celui-ci est positionné à une valeur  $N_0$ .  $N_1$  est le nombre présent sur le compteur en fin de mesure.

 **Travail demandé**

**Q A2) Donner la relation qui lie N1 à la hauteur de neige h, la période Th, et V0.**

$$h = h_0 - \frac{V_0 \cdot N \cdot T_h}{2} \text{ avec } h_0 = \frac{V_0 \cdot N \cdot T_h}{2}$$

$$h = \frac{V_0 \cdot T_h}{2} (N_0 - N) = \frac{V_0 \cdot T_h}{2} \cdot N_1$$

**Q A3) Calculer la période Th sachant que le nombre N1 doit représenter la hauteur de neige en centimètres. Donner la valeur numérique de Th pour une vitesse du son de 332 m/s.**

$$\frac{V_0 \cdot T_h}{2} = 1 \text{ donc } T_h = \frac{2}{V_0}$$

Th=2/V0 soit encore Th=2/33200=60,2.10<sup>-6</sup> soit 60.2 μs

La période de Fh sera de 16,6 kHz.

**Q A4) Donner le nombre de bits du compteur.**

La valeur maximale de la mesure est de 500 cm soit \$1F4. Il faudra neuf bits pour coder ce nombre.

**Q A5) En déduire l'erreur de quantification. Celle-ci est-elle compatible avec les contraintes du cahier des charges ?**

L'erreur de quantification est de 1/500 soit 0,2%.

Le cahier des charges précise que la mesure est à +/-2 cm soit 2/500 ou encore +/-0,4%. Le dispositif de mesure est compatible.

## 1.2 ORGANISATION FONCTIONNELLE DE LA FONCTION "MESURE DE LA HAUTEUR DE NEIGE"

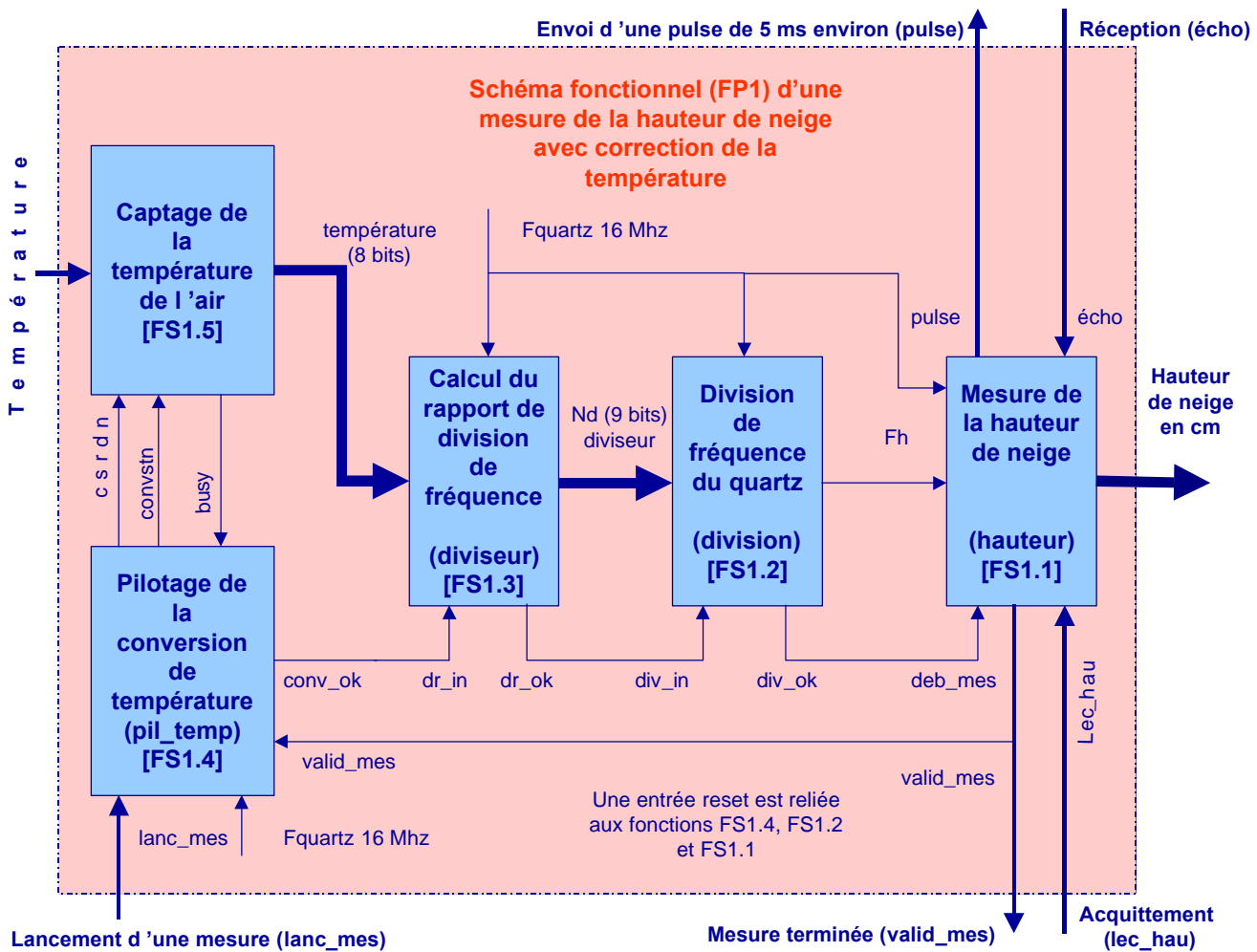


Figure 2: Schéma fonctionnel de la fonction principale FP1 "mesure d'une hauteur de neige"

### 1.3 FONCTION FS1.1 "MESURE DE LA HAUTEUR DE NEIGE"

#### 1.3.1 ANALYSE DE LA FONCTION FS1.1 : MESURE DE LA HAUTEUR DE LA NEIGE

La structure logicielle qui réalise cette fonction est implantée dans un CPLD. Cette structure conçue en VHDL est donnée dans le dossier technique.

#### Travail demandé

**Q A6) Lister les entrées et les sorties de cette fonction. Préciser leur type.**

La structure de cette fonction présente deux process : un pour la génération de l'impulsion (nommé pulse), l'autre pour la mesure de la hauteur de neige.

**Q A7) Représenter le mode de fonctionnement du process MAE\_pulse\_machine à l'aide d'un diagramme mettant en œuvre des machines à états ou un Grafcet.**

**Q A8) Représenter le mode fonctionnement du process MAE\_hauteur\_neige\_machine à l'aide d'un diagramme mettant en œuvre des machines à états ou un Grafcet**

**Travaux pratiques**

L'objectif est d'être capable de prendre en main les outils de développement d'un composant CPLD et d'établir un diagramme qui représente la description du fonctionnement d'un processus à partir des machines à états et de traduire ce fonctionnement en code VHDL, puis d'en vérifier le bon fonctionnement et respect du cahier des charges à l'aide d'un simulateur adapté.

**TP A1) Saisir le fonctionnement du process à l'aide d'une machine à états**

**TP A2) Traduire le code VHDL à l'aide du logiciel**

**TP A3) Analyser les fichiers reports**

**TP A4) Compiler ce code pour un composant Cypress de la famille 37032. Expliciter le fonctionnement de la structure. Déterminer la durée pendant laquelle "pulse" est au niveau haut. Donner la hauteur de neige. La fréquence de l'horloge étant de 16 kHz, vérifier que la valeur de la vitesse du son est correcte ?**

**1.3.2 INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE**

La vitesse du son n'est pas constante. Elle varie en fonction de la température de l'air. On considère que la vitesse du son est

$$V_s = V_0 \cdot \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

avec

$V_0$  vitesse du son à 0°C

$T_0$  température en K (273 K à 0°C).

T température en K du milieu

$V_s$  Vitesse du son dans l'air

La plage de température de fonctionnement de la station est de -40°C à +60°C. On considère qu'il n'y aura plus de neige au-delà de +40°C.

**Travail demandé**

**Q A9) Calculer l'erreur maximale due à la température, erreur commise sans correction de température sur la hauteur de neige**

$h = Th \cdot Vs / 2 \cdot N1$  avec  $N1$  nombre issu du compteur fonctionnant en décompteur.

$$\frac{dh}{h} = \frac{dVs}{Vs} + \frac{dN_1}{N_1} + \frac{dTh}{Th}$$

L'erreur sur  $dh/h$  provient essentiellement de  $dN1/N1$  et  $dVs/Vs$ . On considère que l'erreur sur la période  $TH$  est très faible, compte tenu de la précision des quartz.

Calcul approché

En conséquence, l'erreur produite  $dh/h = dVs/Vs + dN1/N1$ .

L'erreur produite par la température sur  $h$  est  $dVs/Vs$ .

$$Vs = V_0 \cdot (T/T_0)^{1/2}. \text{ Donc } dVs = V_0 \cdot (T_0)^{-1/2} \cdot dT$$

$$dVs/Vs = dT/2 \cdot T$$

L'application numérique pour  $dT$  de  $40^\circ\text{C}$  donne  $dVs/Vs = dT/2 \cdot T$  soit 7,3%

Un calcul plus fin donne  $dVs/Vs = 8,2\%$ .

**Q A10) Comparer cette erreur aux données du cahier des charges et à la résolution du compteur et conclure.**

L'erreur de quantification est de 0,4%. L'erreur due à l'écart de la vitesse du son est de l'ordre de 8%. Cette erreur est inacceptable. Il faut mesurer la température et faire une correction de la hauteur de neige en fonction de la température mesurée.

### 1.3.3 PRINCIPE DE LA CORRECTION EN TEMPÉRATURE

Il est nécessaire de faire une correction de la hauteur de neige en fonction de la vitesse du son. Pour cela, on mesure la température de l'air à l'aide d'une sonde au platine, puis on convertit la différence de potentiel image de la température de l'air en un nombre caractéristique de la température. Ce nombre sert à établir une correction de la hauteur de neige en fonction de la température.

**Q A11) Afin de rester dans le concept établi précédemment, lecture directe d'un nombre caractéristique de la hauteur de neige, expliquer comment tenir compte de la variation de la vitesse du son en fonction de la température.**

Il faut que  $Vs \cdot Th/2 = 1$  pour avoir une lecture directe. On mesure la température de l'air et on en déduit  $Th$  de sorte que  $Vs \cdot Th/2 = 1$ .

**Q A12) Déterminer l'erreur relative sur la température afin que l'erreur (sur la hauteur de neige) introduite après la correction de température ne soit pas supérieure à 0,1%.**

$$dVs/Vs = dT/2T < 0,001$$

$$dT/T < 0.001 \cdot 2 \text{ soit } dT/T < 0,2 \%$$

La température est mesurée sur la plage prévue dans le cahier des charges.

**Q A13) En déduire la résolution du convertisseur numérique analogique associé à la mesure de température, puis donner le nombre de bits de celui-ci.**

$$dT < 0.002 \cdot T \text{ soit } 0.55^\circ\text{C}.$$

La plage de fonctionnement de la station est de  $-40^\circ\text{C}$  à  $+60^\circ\text{C}$ . soit  $100^\circ\text{C}$

Il y aura au minimum  $100/0,55=181$  valeurs. On prendra alors un convertisseur huit bits qui donne 256 valeurs. La résolution sera  $0,4^{\circ}\text{C}$ .

**Q A14) Donner la relation entre  $N_T$  nombre représentant la température et la température ( $q$ ) en sachant que l'on prend un convertisseur non signé.**

Un convertisseur huit bits suffit. La plage de température varie de  $-40^{\circ}\text{C}$  à  $+60^{\circ}\text{C}$ .

Pour  $-40^{\circ}\text{C}$ , le nombre  $N_T$  vaut zéro. La résolution est de  $0,4^{\circ}\text{C}$ , donc le coefficient de la relation est  $1/0.4$  soit 2.5.

$$N_T=100+2.5*q$$

On connaît maintenant la température de l'air avec une résolution convenable. Le nombre caractéristique de la température pointe une adresse d'une mémoire. Le contenu de cette adresse ( $M$ ) participe à la détermination du rapport de division de la fréquence du quartz afin d'obtenir la fréquence corrigée de la fonction FS1.1 "mesure de la hauteur de neige". La fréquence du quartz ( $F_q$ ) est de 16 Mhz. Le rapport de division est donné par la relation  $R = R_0 + M$  avec  $R_0$  constant.  $M$  est un mot de huit bits. Le signal  $F_h$  doit avoir un rapport cyclique de 0,5, c'est-à-dire que  $F_h = F_q/2.R$

**Q A15) Donner l'expression du rapport de division  $R$  en fonction de la température de l'air.**

$V_s \cdot T_h/2=1$  mais aussi  $F_h=V_s/2$  avec  $F_h=F_q/2.R$

$R=F_q/2.F_h=2.F_q/V_s$  avec  $V_s=V_0.(T/T_0)^{1/2}$

$R=(F_q.T_0^{1/2}/V_0).T^{-1/2}$

$R=7963.(T)^{-1/2}$  La vitesse du son est en cm/s donc  $V_0=33200$  m/s.

$$R=7963/\sqrt{T}$$

**Q A16) Donner la plage de variation du rapport de division.**

$$243^{\circ}\text{C} < T < 333^{\circ}\text{C}$$

$$511 < R_0 + M < 436$$

**Q A17) Sachant que  $M$  est un mot d'un octet, choisir  $R_0$ . Donner alors le nombre de bits de  $R$ .**

$M < 255$  d'où  $R_0 > 256$

$M > 0$  d'où  $R_0 < 436$

$$256 < R_0 < 436$$

Le concepteur a choisi Ro de 384 ou encore \$180

**Q A18) Calculer les dix premiers octets de la mémoire de correction.**

Température en °C	Adresse	Contenu mémoire
-40,0	\$00	\$08A
-39,6	\$01	\$089
-39,2	\$02	\$089
-38,8	\$03	\$088
-38,4	\$04	\$088
-38,0	\$05	\$087
-37,6	\$06	\$087
-37,2	\$07	\$086
-36,8	\$08	\$086
-36,4	\$09	\$086
-36,0	\$0A	\$085
-35,6	\$0B	\$085
-35,2	\$0C	\$084
-34,8	\$0D	\$084
-34,4	\$0E	\$083
-34,0	\$0F	\$083
-33,6	\$10	\$082
-33,2	\$11	\$082
-32,8	\$12	\$082

## **1.4 FONCTION FS 1.5 "CAPTAGE DE LA TEMPÉRATURE DE L'AIR"**

La température est captée à partir d'une sonde au platine type Pt100. Celle-ci répond à la norme DIN43760 rappelée dans les documents annexes. La sonde de température est traversée par un courant constant indépendant de la température de l'air. La résistance de la sonde est notée  $R_t$ . Un composant résistif  $R_a$  d'une valeur proche de la résistance de la sonde est traversé par un courant de la même valeur que celui qui traverse  $R_t$ . La différence de potentiel entre les éléments résistifs est amplifiée. La différence de potentiel en sortie de l'amplificateur est convertie en un nombre. Celui-ci sera l'image de la température de l'air.

### **1.4.1 CONVERSION ANALOGIQUE NUMÉRIQUE**

La conversion numérique analogique est réalisée par un circuit intégré AD7819. Le nombre N, image de la température répond à la relation  $N=100+2.5.\theta$  avec  $\theta$  température en °C.

Vous disposez des différentes "références de tension" fournies dans le dossier documentation.

#### **Travail demandé**

**Q A19) Proposer un schéma structurel complet permettant de réaliser la conversion numérique analogique.**

La différence de potentiel de référence est réalisée à l'aide du circuit intégré linéaire LM136-2.5. La valeur nominale de cette référence est de 2,5V. Le boîtier sera du type SO référencé M08A.



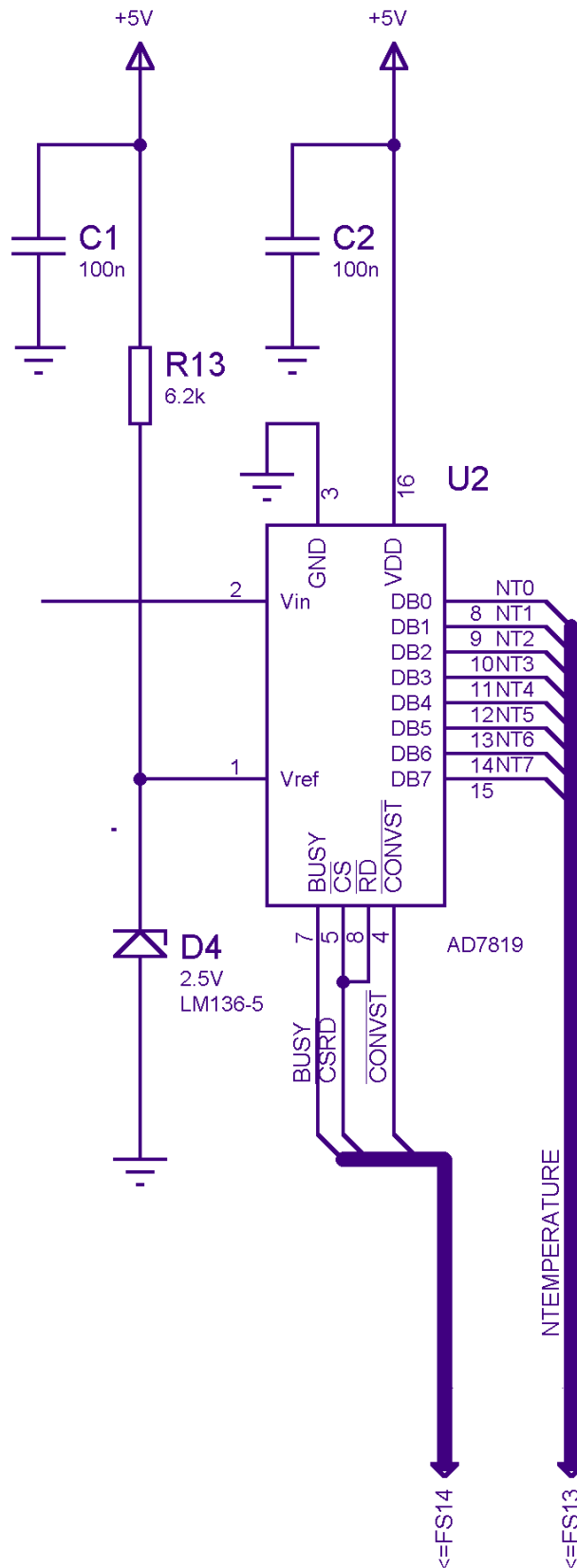


Figure 3 : Conversion analogique numérique

**Q A20) Donner la relation liant  $V_{in}$  (broche 2 du circuit AD7819) à la température.**

$$N = 100 + 2,5 \cdot q = V_{in}/V_{ref} \cdot 255$$

$$\text{Soit } V_{in} = V_{ref}/255 \cdot N = V_{ref}/255 (100 + 2,5 \cdot q)$$

$$V_{in} = 0,98 + 0,0245 \cdot q$$

$$V_{in} = 0,98 + 0,0245 \cdot q$$

**Q A21) Préciser le rôle des signaux qui pilotent le convertisseur et proposer les chronogrammes de ces signaux.**

Entrées

- CSN, actif au niveau bas, permet de sélectionner le convertisseur
- RDN, actif au niveau bas, place sur le bus du convertisseur de sorties les données à destination de la fonction FS1.3 la valeur de nombre N.
- CONVSTN, actif au niveau bas, lance la conversion.

Sortie

- BUSY, actif au niveau haut. Reste au niveau pendant la conversion, passe au niveau bas lorsque la conversion est terminée.
- D7..D0, bus de données, Nombre caractéristique de la température.

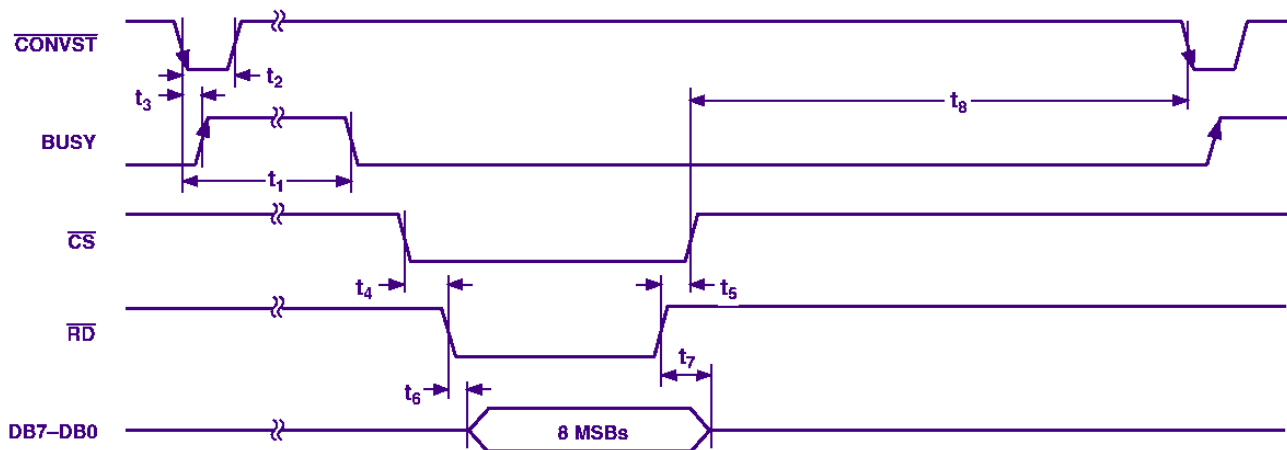


Figure 4 : Chronogrammes des signaux du convertisseur

### 1.4.2 SYNTHÈSE DE LA STRUCTURE.

**Q A22) Donner la relation littérale liant N nombre image de la température à la température  $q$  exprimée en °C.**

$$N = V_{out}/V_{ref} \cdot 255 = G \cdot V_d/V_{ref} \cdot 255$$

$$N(q) = G \cdot I_o \cdot (R_s - R_a) / V_{ref} \cdot 255$$

$$N(q) = G \cdot I_o \cdot 255 / V_{ref} \cdot (R_o - R_a + a \cdot R_o \cdot q)$$

$$N(q) = G \cdot I_o \cdot 255 / V_{ref} \cdot (R_o - R_a + a \cdot R_o \cdot q)$$

RV1 permet de régler l'origine, RV2 l'amplification. Ces réglages sont effectués en bout de chaîne de fabrication.

L'application numérique donne

$N(q) = 6.35(15,71 + 0.39275 \cdot q) = 100 + 2,5 \cdot q$  c'est bien ce que nous voulions.

$$N(q) = 100 + 2,5 \cdot q \text{ avec } q \text{ exprimée en } ^\circ\text{C}.$$

## 1.5 FONCTION FS1.4 "PILOTAGE DE LA CONVERSION EN TEMPÉRATURE"

La fonction FS1.4 est implantée dans le CPLD. Le rôle de la fonction FS1.4 est de fournir les signaux qui permettent la conversion analogique numérique à partir d'un ordre émis par le signal lan\_mes qui démarre une mesure.

Entrées :

- Lanc\_mes, actif au niveau haut lors du lancement d'une mesure de hauteur de neige. Ce signal passe au niveau bas avant la fin de la mesure.
- Fq, actif au front montant est une horloge de 16 Mhz.
- Reset, actif au niveau haut, remise à zéro des bascules utilisées dans la fonction FS1.4
- Busy, actif sur le front descendant, indique que la conversion est terminée.
- Valid\_mes, actif au niveau haut indique que la mesure de la hauteur de neige est terminée.

Sorties

- Csrnd, actif au niveau bas, lors de la lecture du résultat du convertisseur analogique numérique.
- Convstn, actif au niveau bas, lance la conversion de température
- conv\_ok, actif au niveau haut, précise à la fonction FS1.3 que la conversion est terminée. Le mot disponible Nt est stable. La mesure de la température est terminée.

### 1.5.1 CHRONOGRAMMES DES SIGNAUX

#### Travail demandé

**Q A23) A partir de la documentation du convertisseur analogique numérique, rappeler les chronogrammes des signaux convstn, csrnd, busy et le mot de données.**

**Donner les durées caractéristiques du bon fonctionnement. Associer aux signaux précédents, les signaux lanc\_mes, con\_ok et valid\_mes.**

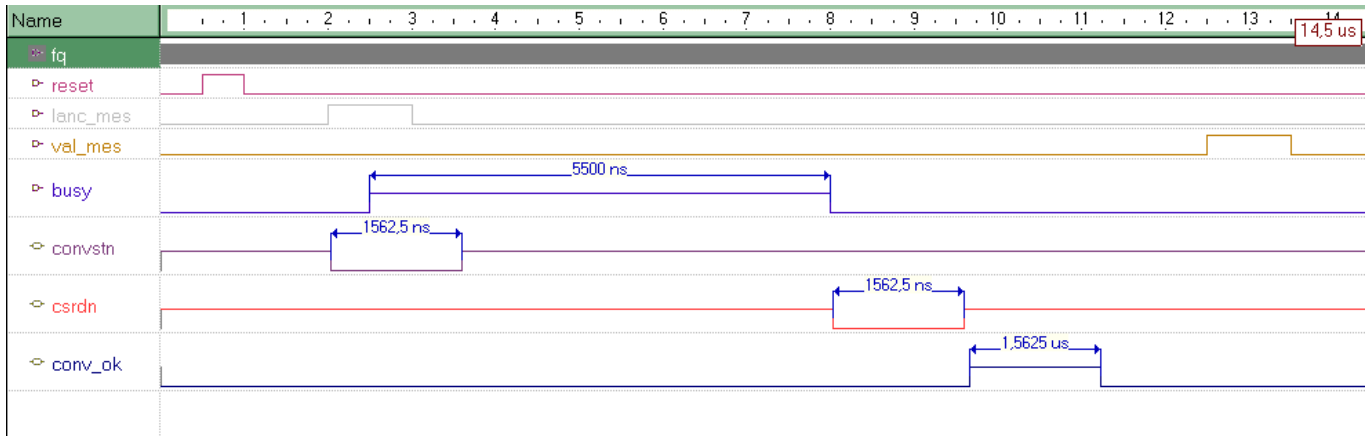


Figure 5: chronogrammes des signaux des FS1.4

### **1.5.2 SCHÉMA DESCRIPTIF DU FONCTIONNEMENT.**

#### **Travaux pratiques**

L'objectif est d'être capable d'établir un diagramme qui représente la description du fonctionnement d'un processus à partir des machines à états et de traduire ce fonctionnement en code VHDL, puis d'en vérifier le bon fonctionnement et respect du cahier des charges à l'aide d'un simulateur adapté.

**TP B1) Produire une description comportementale du fonctionnement de FS1.4, puis le saisir le fonctionnement du process à l'aide d'une machine à états**

### **1.5.3 CODAGE EN VHDL**

**TP B2) Donner la description comportementale en VHDL de la fonction F.S. 1.4 "pilotage de la conversion de température".**

**TP B3) Analyser les fichiers reports**

**TP B4) Simuler le résultat obtenu, puis valider le fonctionnement de la structure assurant le pilotage de convertisseur.**

## **2 SYNTHÈSE DE FP1**

La structure logicielle de la fonction FP1 "Mesure d'une hauteur de neige" est donnée par le texte inclus dans le dossier technique.

La fonction FS1.5 "captage de la température" met un mot de bits 8 "temperature" sur le port. Dès que ce mot est stable, conv\_ok envoie une impulsion. Au front descendant de conv\_ok, la fonction F.S. 1.3 "diviseur" va chercher dans la table, le mot Nd caractéristique du rapport de division. Au front descendant de dr\_ok, la fonction F.S.1.2 "division de fréquence, met sur Fh, un signal d'horloge adéquat Fh. Au front montant de deb\_mes, la mesure se prépare. Au front descendant de deb\_mes, une pulse de 5 ms est envoyée. La fonction F.S. 1.1 attend le retour de l'écho.

**2.1.1 SCHEMA FONCTIONNEL**

Q A24) Compléter sur le document réponse le schéma fonctionnel (2° degré) qui fait apparaître les fonctions secondaires mises en œuvre dans la fonction principale "Mesure d'une hauteur de neige". Les entrées et sorties seront correctement définies. Les noms des fonctions seront explicites.

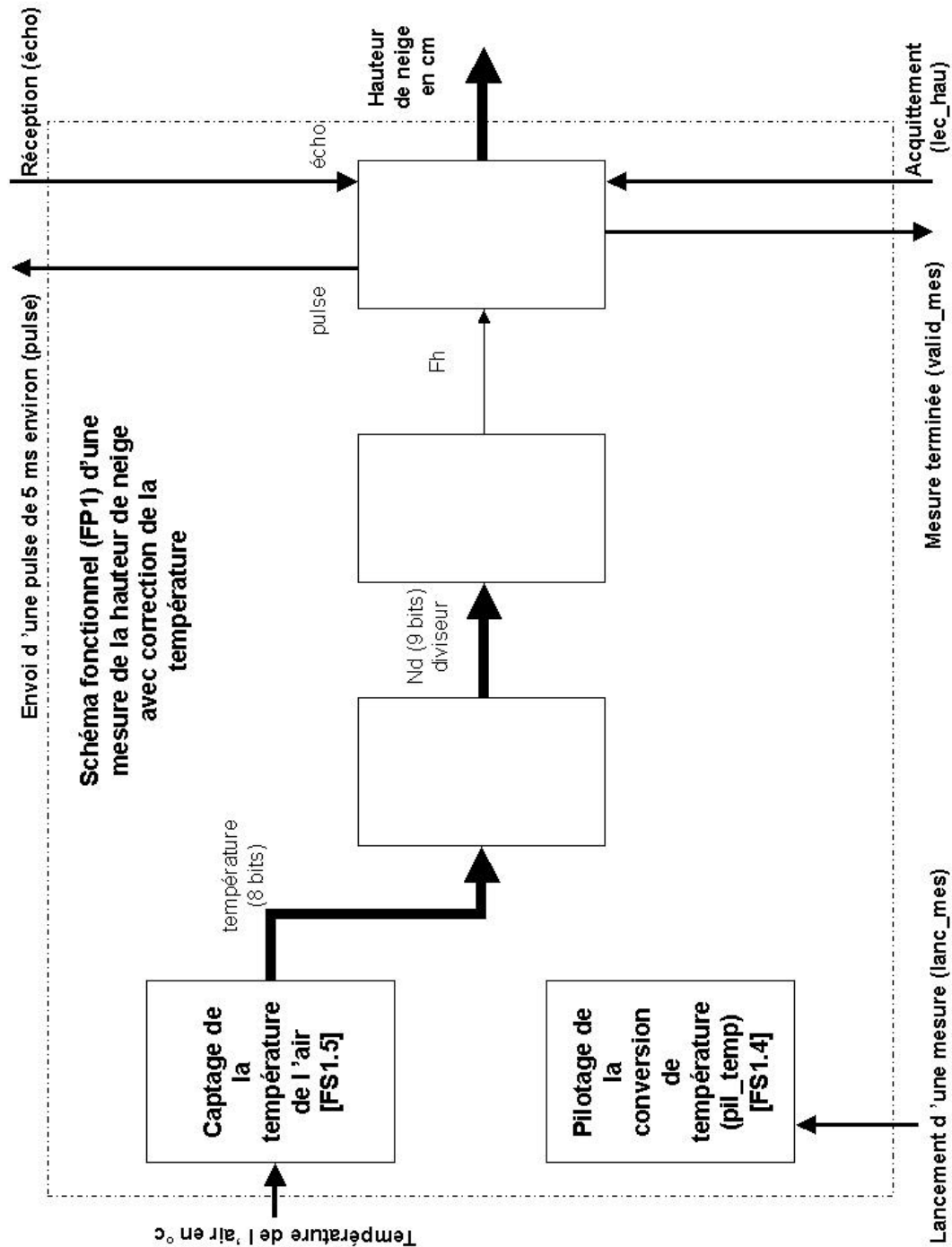


Figure 6 : Schéma fonctionnel de FP1 à compléter

## **2.2 CODAGE DE LA STRUCTURE COMPLÈTE DE LA FONCTION FP4**

### **Travaux pratiques**

L'objectif est d'être capable d'assembler plusieurs fichiers afin de produire la structure complète en VHDL de la fonction FP4.

**TP C1) Compiler les différents fichiers et alimenter les bibliothèques de composants.**

**TP C2) Compiler le fichier associé à FP4.**

**TP C3) Analyser les fichiers reports.**

**TP C4) Simuler le résultat obtenu, puis valider le fonctionnement complet de la structure.**