

BTS

DES SYSTEMES

ELECTRONIQUES

Dossier Support

Système d'analyse de la teneur en eau du manteau neigeux français



1 INTRODUCTION

L'eau est l'objet d'enjeux multiples, tant pour la production énergétique, pour l'alimentation en eau potable des villes que pour les activités économiques et les loisirs.

Grâce à sa souplesse de fonctionnement, sa rapidité d'utilisation et son prix de revient très compétitif, l'hydroélectricité est un élément indispensable à l'économie globale du système électrique. Elle permet de répondre instantanément aux fluctuations de la demande d'électricité.

La connaissance de l'équivalent en eau du manteau neigeux est donc un élément important d'amélioration de la gestion de la ressource en eau. Elle permet en particulier d'évaluer et de prévoir les apports de remplissage des grands réservoirs saisonniers.

A cet effet, EDF, en collaboration avec le CNRS et Météo France, vient de mettre au point une nouvelle génération de capteurs permettant la surveillance automatique de l'état des stocks neigeux par mesure de la teneur en eau du manteau : le Nivomètre à Rayonnement Cosmique (ou NRC).

(Rayon cosmique : Flux de particules à haute énergie d'origine solaire ou galactique)



2 LE RESEAU DE MESURE INSTALLE EN FRANCE

Aujourd'hui, les NRC sont déployés sur une couverture complète des zones à enjeux sur lesquels EDF exploite des ouvrages : 15 dans les Alpes, 15 dans les Pyrénées, 5 dans le Massif Central et 2 dans les Vosges et le Jura.

Afin d'optimiser la gestion et la sécurité de ses ouvrages de production d'électricité, EDF a mis en place et exploite, depuis plus de 40 ans, un système intégré de surveillance et de prévision hydrométéorologique :

- prévisions hydrométéorologiques régionales et locales,
- prévisions des risques de vent, d'orages, de précipitations extrêmes et de neige collante,
- prévision et suivi de débit de quelques heures à quelques jours, des petits bassins versants de montagne aux grands systèmes fluviaux (Rhône, Loire...),
- prévision et suivi d'apports de remplissage des réservoirs,
- surveillance et prévision de la température de l'eau pour la gestion thermique des cours d'eau.

Ce système de surveillance et prévision est gérée par la Division technique générale (DTG) d'EDF. A partir des prévisions qu'elle établit, EDF-DTG a aussi un rôle d'alerte auprès des exploitants, pour leur permettre d'anticiper la gestion d'épisodes météorologiques difficiles.

Dans le cadre de l'exploitation de ses installations hydrauliques et dans un souci d'optimisation de son parc de production (l'énergie électrique ne se stockant pas), la gestion de la ressource "EAU" est indispensable à EDF.



Nous savons maintenant que l'épaisseur de la couche de neige sur l'ensemble montagneux français ne préoccupe pas seulement les skieurs.

3 LE NIVOMETRE A RAYONNEMENT COSMIQUE

Le NRC assure un suivi (heure par heure), en temps réel de l'évolution du manteau neigeux. La fréquence d'acquisition des données peut bien sûr être adaptée en fonction des objectifs recherchés. Il présente une incertitude de mesure sur la valeur en eau inférieure à 5%.

Le mode de transmission des données depuis le NRC est adapté aux conditions du site et à son accessibilité : réseau téléphonique commuté, transmission GSM ou par satellite.

Son coût de maintenance est limité (une seule visite par an) et son architecture, (mécanique comme électronique) est simple. Ce système de mesure est sans incidence sur l'environnement local. La photographie ci-dessous représente un technicien EDF lors de l'opération de maintenance annuelle sur un NRC.



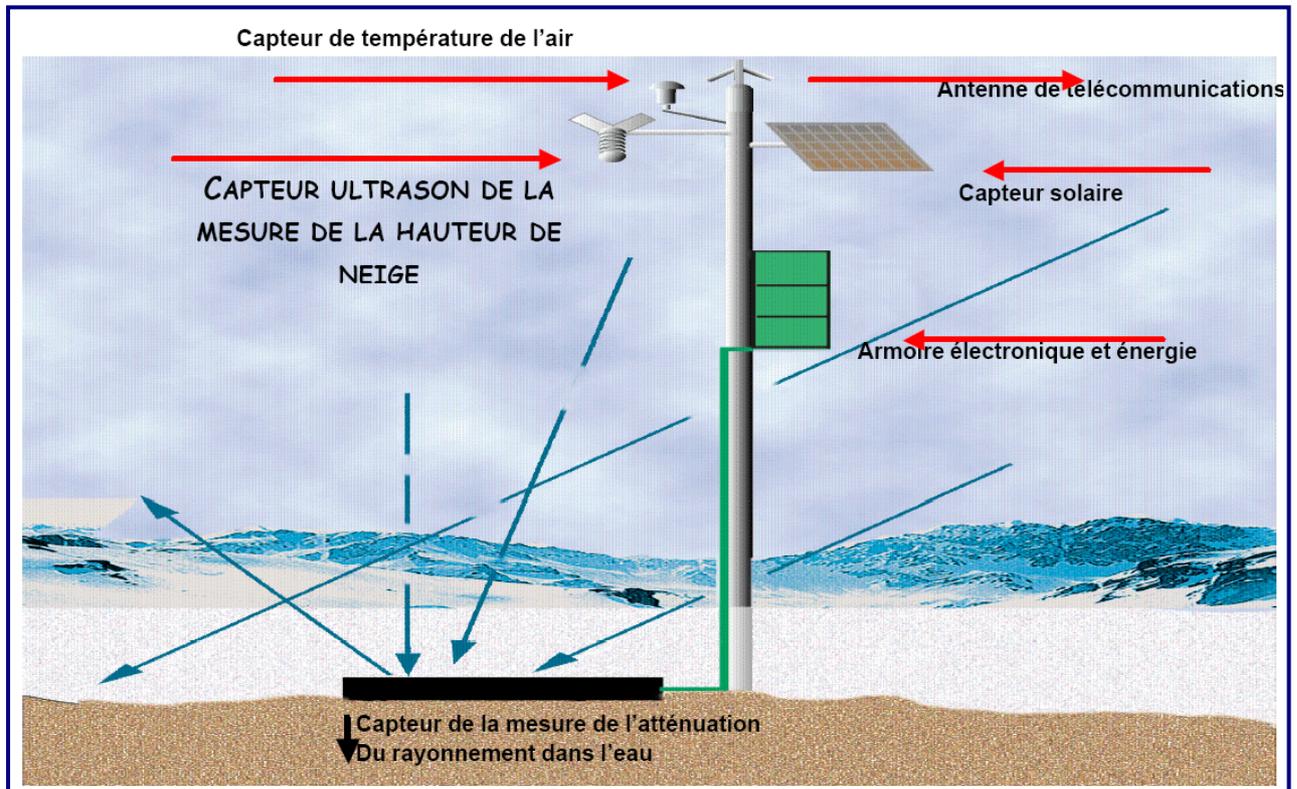
Le NRC fonctionne grâce à un capteur sensible aux rayonnements naturels émis par le soleil. Les particules arrivant sur terre interagissent avec les molécules d'eau contenues dans la neige et une partie d'entre elles sont absorbées. Un capteur de type Geiger-Muller, installé sur le sol, détecte les particules restantes. Le rapport entre le nombre de particules initiales et le nombre de particules détectées permet de calculer la quantité d'eau traversée par le rayonnement et donc la quantité d'eau présente dans le manteau neigeux.

Le rayonnement cosmique est lié à l'activité solaire (cycle de 11 années) ; il varie avec la latitude du lieu d'installation du NRC et dérive dans le temps. Afin d'éviter que ces variations naturelles soient interprétées comme des évolutions du manteau neigeux, un capteur de référence à ultrasons, maintenu hors neige, est exploité en parallèle et permet d'effectuer régulièrement et automatiquement des étalonnages ou des recalages du système.

Un logiciel supervise le réseau de capteurs et calcule la valeur en eau du manteau neigeux.

4 LES DIFFERENTS ELEMENTS CONSTITUANT UN NRC

Le graphique ci-dessous, extrait d'un document technique publié par EDF permet de visualiser les différentes composante d'un NRC.



La fréquence d'acquisition des "données-neige" depuis les nivomètres à rayonnement cosmique peut être adaptée en fonction des objectifs fixés par EDF (calcul journalier ou horaire par exemple).

Le NRC est un système de mesure en continu susceptible d'être implanté dans des zones montagneuses éloignées de toute source d'énergie. Il est constitué d'un capteur de rayonnement posé au sol, d'un capteur de hauteur de neige à ultrasons, d'une centrale d'acquisition recueillant en continu les données brutes, d'un système de transmission GSM ou satellite, de panneaux solaires et de batteries pour une alimentation autonome de l'appareillage.

Comme nous le verrons au cours du chapitre 6.1, la présence d'un capteur de température de l'air est indispensable à la mesure de la hauteur de neige par ultrason.

Les différents composants sont installés au sommet d'un mat de hauteur variable (4 ou 6 mètres) afin d'être maintenus hors neige.

5 ARTICLE SUR LE NRC EXTRAIT DU JOURNAL "LE MONDE"

L'article de journal ci-dessous résume très bien le fonctionnement et le rôle important joué par les quarante nivomètres à rayonnement cosmique installés sur les différents sommets montagneux français.

Le Monde

Grâce aux neutrinos du soleil, EDF analyse le manteau neigeux Orlu (Ariège) de notre envoyée spéciale

Sur le versant pyrénéen enneigé, un mât de six mètres, bardé de capteurs ultrasons et thermiques, transperce la neige. Son nom : NRC, nivomètre à rayonnement cosmique. Depuis octobre 2003, ce drôle d'appareil, planté à 2500 mètres d'altitude, surplombe la centrale hydroélectrique d'Orlu (Ariège) et joue un rôle central dans la gestion de l'électricité. Il permet à EDF d'estimer au plus juste le remplissage des retenues d'eau et donc d'évaluer ses réserves hydroélectriques.

Le principe du nivomètre est simple : "Il calcule la teneur en eau du manteau neigeux pour prévoir quelles quantités d'eau rejoindront les barrages au moment de la fonte des neiges", explique Guy Torrent, assistant technique à la direction technique générale d'EDF. Auparavant, la teneur en eau était calculée grâce à un émetteur de rayons gamma. Mais la radioactivité du césium 137 produisant ces derniers dépassait à peine celle de l'émission naturelle, ce qui fragilisait la mesure.

Ce sont désormais les neutrinos, les particules émises par le soleil, qui permettent de calculer cette teneur en eau. Une partie de ces rayons sont absorbés par les molécules d'eau. Un capteur de type Geiger-Muller d'un demi-mètre carré de surface enregistre le rayonnement cosmique non absorbé et détermine ainsi la quantité d'eau traversée par les rayons du soleil. La neige d'Orlu contient actuellement "410 litres d'eau par mètre cube", indique Guy Torrent. Le nivomètre fournit également des indications sur la densité et la hauteur de neige et permet de prévoir la fonte. "Lorsque la densité mesurée atteint 0,55, on sait que le processus est irréversible et que la neige va fondre", explique-t-il.

AUTOMATIQUES ET AUTONOMES

Après deux prototypes installés en 1997, quarante de ces nivomètres nouvelle génération ont été mis en place dans les massifs montagneux français. Complètement automatiques et autonomes grâce à des capteurs solaires, ils permettent de recueillir des données, précises à 95 %, dans des lieux difficiles d'accès. Enregistrées en continu, elles sont transmises par satellite ou par relais téléphonique vers le centre de prévisions de Toulouse.

Couplées avec les mesures de débit des rivières et les données des pluviomètres, elles permettent de prévoir, au plus juste, la quantité d'eau qui va se déverser dans les retenues avant d'alimenter les centrales hydroélectriques. Et par ricochet, d'estimer les capacités de production de ces mêmes centrales.

Une évaluation vitale, puisque, une fois produite, l'électricité ne peut pas être stockée. Si elles ne constituent que 15 % de la production annuelle française, les centrales hydroélectriques présentent l'avantage de pouvoir être mises en service automatiquement très rapidement en cinq minutes. Un atout pour ajuster la production en temps réel.

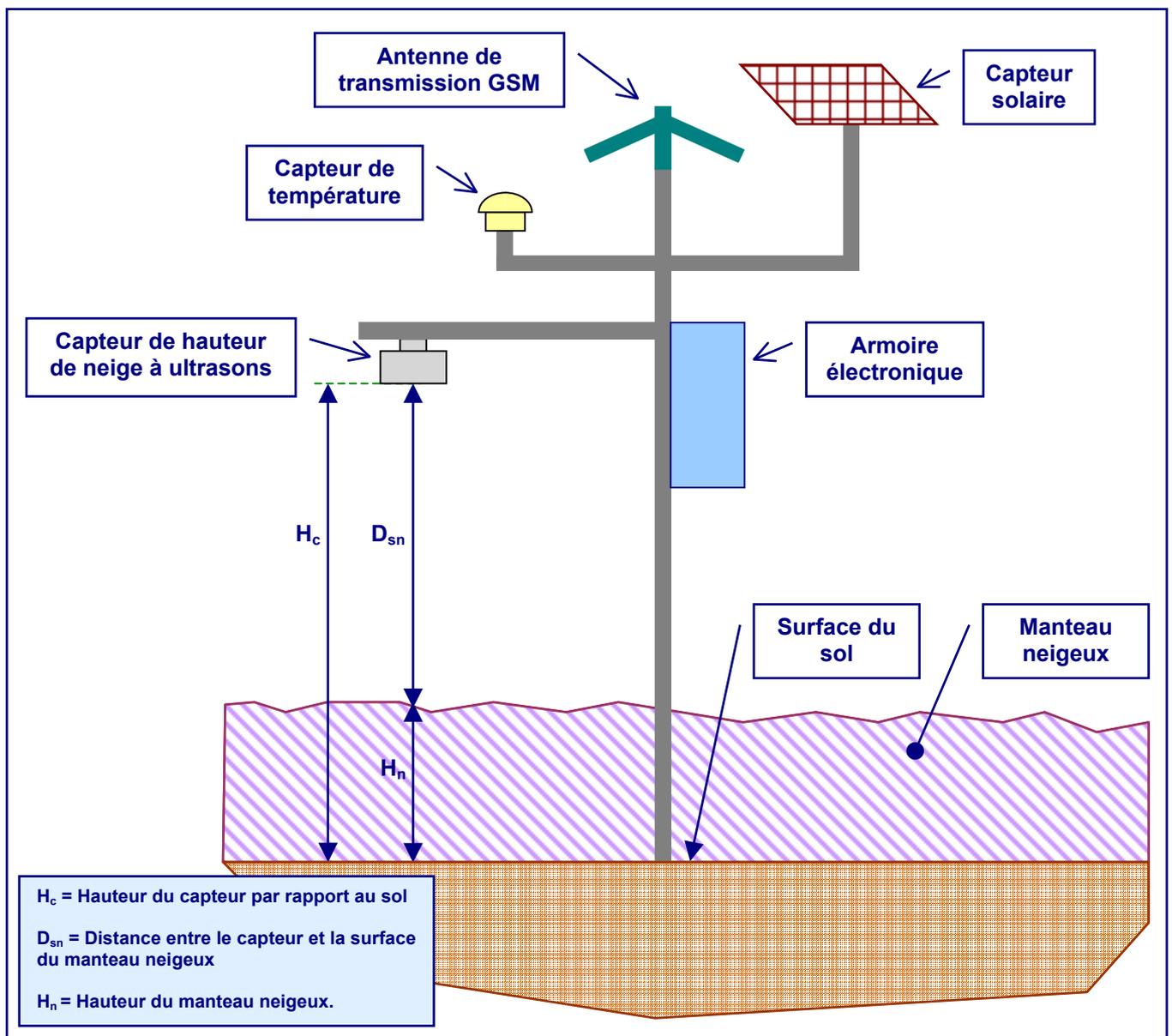
Article écrit par Marion Guyonvarch et paru dans "LE MONDE" le 24 février 2004

6 LA MESURE DE LA HAUTEUR DE NEIGE PAR ULTRASONS

Dans le cadre de cette préparation au BTS des Systèmes Electroniques, nous étudierons seulement le principe de la mesure de la hauteur du manteau neigeux par ultrasons.

Dans le graphique ci-dessous, sont seulement représentés, les objets techniques relatifs à l'acquisition et à la transmission par le réseau GSM de la hauteur du manteau neigeux.

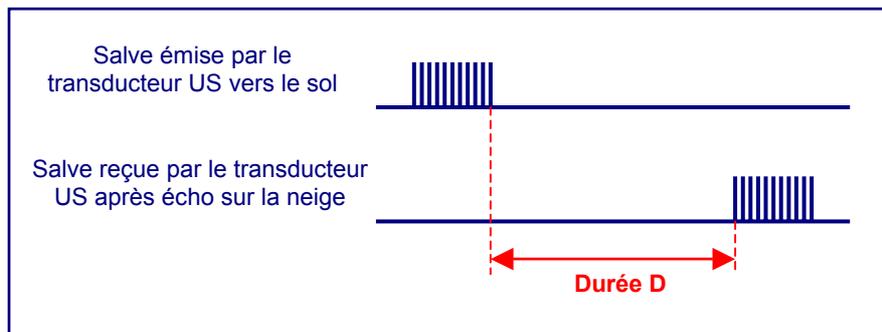
Toute l'électronique étant alimentée par panneau solaire, la consommation de chacun des composants constituant les différents éléments répertoriés ci-dessous, a été primordiale lors de la conception du système par les ingénieurs R&D.



6.1 PRINCIPE DE MESURE DE L'ÉPAISSEUR DE NEIGE PAR ULTRASONS

Dans un premier temps, nous allons étudier le principe de mesure de l'épaisseur du manteau neigeux par ultrasons en évitant de rentrer dans les détails techniques concernant les fonctions électroniques intégrées au capteur de hauteur de hauteur de neige.

Une salve ultrasons de 26 kHz est émise par le capteur de hauteur de neige. La neige renvoie un écho. La durée qui sépare l'émission de la réception de la salve est fonction de la distance ($2 \times D_{sn}$) parcourue par le son.



Lors de l'installation de tous les éléments constituant le nivomètre à rayonnement cosmique sur le mât, le technicien EDF procède aux différents essais et enregistre la hauteur H_c (en millimètres) du capteur de hauteur de neige par rapport au sol dans un ordinateur situé dans l'armoire électronique.

Lorsqu'une salve US est émise par le capteur de hauteur de neige, ce dernier calcule automatiquement la distance aller/retour ($2 \times D_{sn}$) parcourue par l'onde et restitue une différence de potentiel continue proportionnelle à D_{sn} .

En posant :

- V_s = Vitesse du son
- D = Durée écoulée entre l'émission et la réception de la salve par le transducteur US
- D_{sn} = Distance entre le capteur et la surface du manteau neigeux

On peut écrire :

$$V_s = \frac{2 \times D_{sn}}{D} \Rightarrow D_{sn} = \frac{V_s \times D}{2}$$

Or, la vitesse du son n'est pas constante. Elle varie en fonction de la température de l'air. La vitesse V_s du son en fonction de la température s'exprime ainsi :

$$V_s = V_0 \cdot \sqrt{\frac{T}{273}}$$

avec :

- V_0 = Vitesse du son à 0°C (soit 331 m/s)
- T = Température de l'air en degrés kelvin

Par conséquent, la distance D_{sn} entre le capteur et la surface du manteau neigeux peut s'exprimer ainsi :

$$D_{sn} = \frac{V_0 \cdot D}{2} \sqrt{\frac{T}{273}}$$

La plage de température de fonctionnement du nivomètre à rayonnement cosmique est de -40°C à $+80^{\circ}\text{C}$. Cependant, il est certain qu'il n'y aura plus de neige lorsque la température de l'air atteindra $+40^{\circ}\text{C}$ en journée.

Comme nous l'avons indiqué plus haut, le capteur de hauteur de neige restitue la valeur de la distance D_{sn} entre le capteur et la surface du manteau neigeux sous la forme d'une différence de potentiel continue. Cette ddp que l'on appellera V_{sn} évolue selon la loi suivante :

$$V_{sn} = \frac{1}{2} D_{sn}$$

avec : V_{sn} en millivolts et D_{sn} en millimètres.

Ainsi, pour connaître l'épaisseur réelle du manteau neigeux, il reste à l'ordinateur implanté dans l'armoire électronique fixée sur le mât du NRC, à effectuer l'opération ci-dessous :

$$H_n = H_c - D_{sn} = H_c - 2 \cdot V_{sn}$$

avec : H_n , H_c en millimètres et V_{sn} en millivolts.

6.2 LE CAPTEUR DE HAUTEUR DE NEIGE FABRIQUE PAR CIMEL

En 2002, le service développement d'EDF a contacté l'entreprise CIMEL située à Paris pour concevoir un capteur de neige à ultrasons conforme au cahier des charges imposé par les caractéristiques du nivomètre à rayonnement cosmique.

En juillet 2003, la première série de cinquante capteurs de hauteur de neige à ultrasons sortait des chaînes de production.

La photographie ci-dessous représente le capteur de neige développé par CIMEL et implanté dans tous les NRC depuis l'automne 2003.



Pour des raisons que nous expliquerons par la suite, la carte électronique principale du capteur de hauteur de neige est moulée dans de la résine époxy.



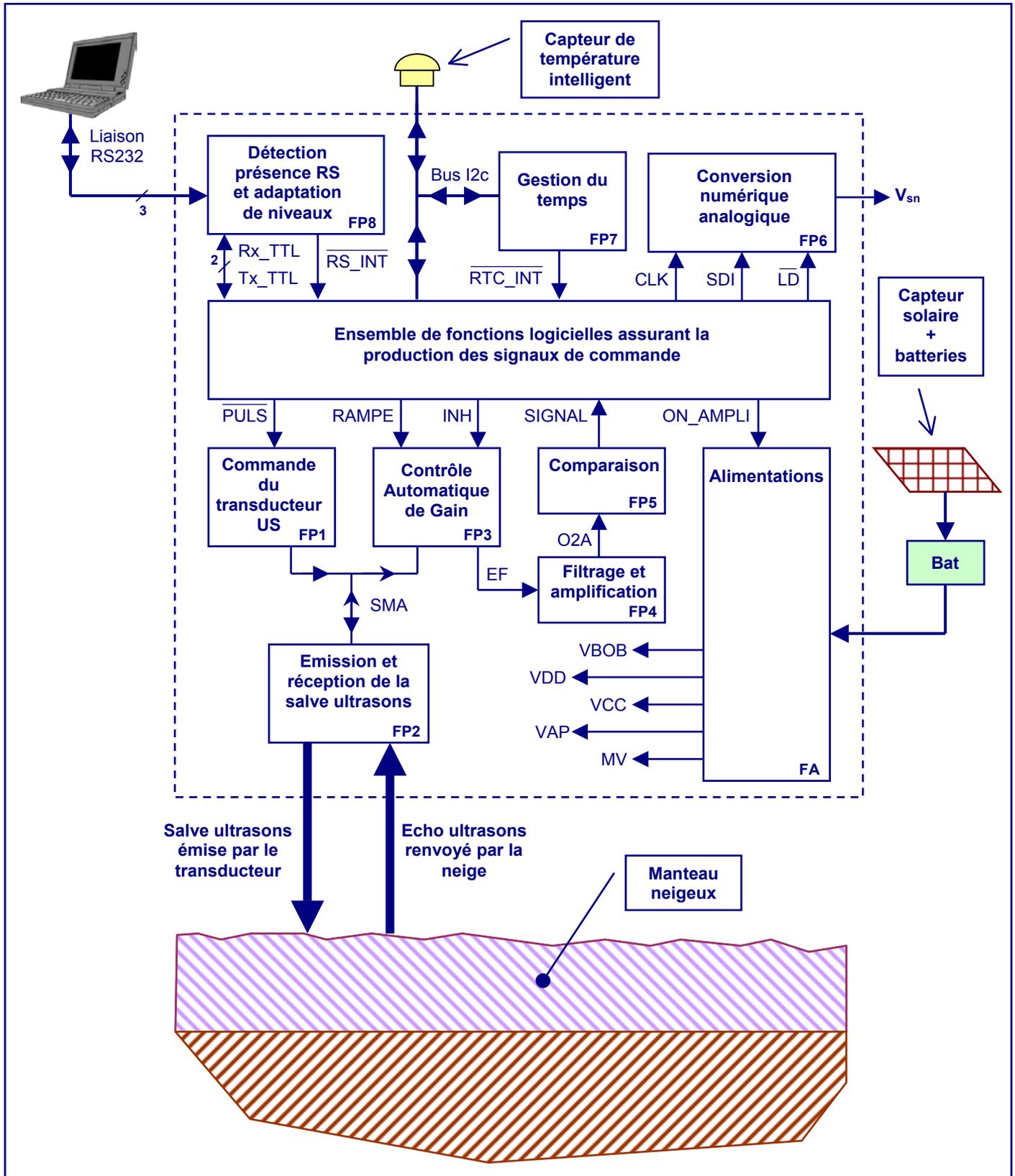
Les caractéristiques ci-dessous sont extraites de la fiche technique (établie par CIMEL) du capteur de hauteur de neige à ultrasons.

Caractéristiques

- Module ultrasons avec capteur de température intégré
- Plage de mesure : de 1,4 mètre à 7,8 mètres
- Temps de la mesure paramétrable par logiciel à l'installation
- Précision : < à 1 centimètre
- Résolution : 7 millimètres
- Algorithmes de traitements :
 - Salves multiples pour élimination des vagues
 - Filtrage numérique pour éliminer les corps étrangers flottants
 - Correction automatique de la variation de la vitesse du son dans l'air par une sonde de température incorporée au module
- Température de fonctionnement: -40°C à +80°C
- Alimentation : 10,3 Volts à 18 Volts
- Consommations : 12mA pendant la mesure (1mA en veille)
- Longueur de câble maximale : 150 mètres.
- Ce capteur est utilisable sur les boîtiers d'acquisition ENERCO série 400. Ce boîtier fournit l'alimentation et bénéficie de toutes les options de transmission des unités d'acquisition ENERCO.
- Poids : 1,6 kg
- Dimensions : Largeur 20 cm, Hauteur 25 cm

6.3 REPRESENTATION FONCTIONNELLE DU CAPTEUR DE HAUTEUR DE NEIGE CIMEL

Le schéma fonctionnel ci-dessous représente l'intégralité des fonctions principales constituant le capteur de hauteur de neige développé par CIMEL.



6.4 FONCTION D'USAGE DU CAPTEUR DE HAUTEUR DE NEIGE A ULTRASONS

Le capteur de hauteur de neige calcule la durée écoulée entre l'émission d'une salve ultrasons de 26kHz et la réception de l'écho renvoyé par la neige.

L'acquisition permanente de la température de l'air permet au capteur de hauteur de neige de corriger la vitesse du son.

La distance parcourue par l'onde ultrasons est restituée en sortie du capteur de hauteur de neige, sous la forme d'une différence de potentiel analogique continue.

Pour des raisons d'économie d'énergie, une horloge temps réel permet "d'endormir" quasiment toute l'électronique constituant le capteur de hauteur de neige entre deux mesures.

6.5 CONTRAINTES DES MILIEUX ASSOCIES

6.5.1 CONDITIONS DE TEMPERATURE

Le capteur de hauteur de neige étant monté en haut du pylône, cela oblige l'électronique à fonctionner dans une gamme étendue de température (-40°C à +80°C).

Par conséquent, les composants électroniques devront être choisis dans la gamme "industrielle endurcie".

6.5.2 CONTRAINTES MATERIELLES ET ECONOMIQUES

En prévision d'installations futures sur des sites autres que ceux gérés par EDF, le capteur de hauteur de neige doit être compatible avec toutes les stations météorologiques Cimel de la gamme ENERCO 400. Ceci impose une possibilité de gestion complète du capteur par liaison série RS232. De plus, les résultats de toutes les mesures doivent être restitués au format numérique sur cette même ligne RS232.

Pour assurer la compatibilité du capteur de hauteur de neige avec tous les concentrateurs déjà installés par EDF en haute montagne, les résultats des mesures devront être disponibles sous forme d'une tension analogique. Dans le cas de l'utilisation du capteur de hauteur de neige dans les NRC, seule cette tension analogique sera utilisée par EDF pour transmettre la hauteur de neige aux différents concentrateurs ou modules de transmission par le réseau GSM.

Les techniciens d'EDF utiliseront la liaison RS232 seulement au cours de l'installation, de la configuration et de l'étalonnage du capteur de hauteur de neige. Pour ce faire, ils utiliseront un ordinateur portable de type PC équipé d'une application Windows spécifique développée par un ingénieur de CIMEL.

Le capteur de température de l'air devra être choisi dans la gamme des "capteurs intelligents" compatibles I2c ou SPI. Ceci, pour des raisons économiques dans un premier temps ; l'utilisation d'un tel capteur nécessite seulement l'écriture de quelques lignes de codes supplémentaires et évite la polarisation d'une sonde de type PT100 par deux générateurs de courant constant. Le prix de revient d'un capteur numérique est environ cinq fois inférieur à celui d'une sonde PT100 traditionnelle. Enfin, ce type de capteur est déjà étalonné à la fabrication et la température est restituée sous forme numérique. Il en découle donc une meilleure immunité au bruit.

Pour ce système, les ingénieurs de CIMEL ont choisi un capteur de température de l'air compatible I2c. Ceci, tout simplement par habitude. En effet, de nombreuses structures électroniques développées par CIMEL contiennent des composants compatibles I2c.

Le transducteur ultrasons utilisé pour la mesure de la hauteur de neige devra assurer les fonctions d'émission et de réception de la salve.

6.5.3 ETANCHEITE

Le boîtier est protégé contre les effets d'immersion temporaires. L'indice de protection est IP53. Les câbles de liaison sortent du coffret par des connecteurs étanches.

6.5.4 CONDENSATION

Comme nous l'avons vu plus haut, la carte électronique principale du capteur de hauteur de neige est moulée dans de la résine époxy. La raison pour laquelle cette solution s'est imposée vient du fait que, lors des premiers essais, les ingénieurs R&D ont constaté qu'après une nuit très froide, le boîtier était envahi par la condensation dès les premiers rayons du soleil. Cette condensation provoquait des dysfonctionnements notables au niveau des horloges à quartz.

6.5.5 CONSOMMATION

La consommation sous 12 volts est de l'ordre de 12mA pendant la mesure en mode autonome et doit être très faible en veille (ici, elle est de l'ordre de 1mA). Ceci tout simplement parce que toute l'électronique constituant le nivomètre est alimentée par panneau solaire.

6.5.6 PROTECTION CONTRE LA Foudre

L'interface liaison série RS232 est protégée contre les phénomènes météorologiques (foudre). L'électronique située en aval du transducteur ultrasons et celle située en amont de la sortie analogique sont, elles aussi protégées contre les surtensions. Ces protections doivent intervenir le plus près possible des connecteurs. Ainsi, l'écoulement des charges à la terre peut s'effectuer sans risque de destruction des composants électroniques.

6.6 DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU CAPTEUR DE HAUTEUR DE NEIGE

- Fonction principale FP1 : "Commande du transducteur US"

Cette fonction, réalisée principalement autour d'un circuit RLC, permet de générer une impulsion positive comprise entre 100 Volts et 600 Volts à chaque front montant du signal logique /PULS. Cette impulsion permet au transducteur ultrasons de déclencher le tir d'une salve de fréquence 26 KHz en direction de la neige.

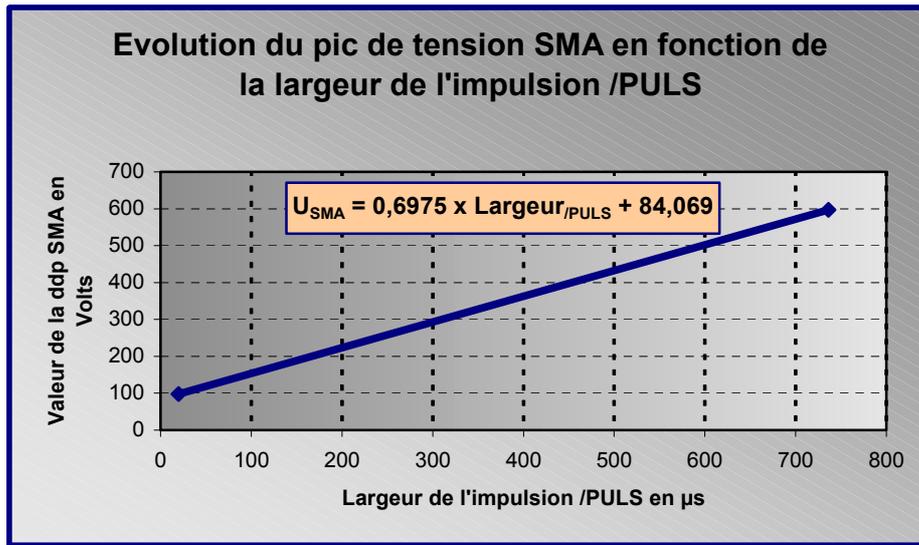
Entrée :

/PULS est un signal numérique à l'état logique haut au repos. Au moment de la commande de déclenchement du tir ultrasons par la fonction principale Fp1, le signal /PULS passe momentanément à l'état logique bas.

La durée de cette impulsion est proportionnelle à la tension de commande du transducteur ultrasons, souhaitée par l'installateur du nivomètre. Le tir ultrasons est déclenché au front montant du signal /PULS.

Lors de l'installation, le technicien peut choisir une valeur de tension de commande du transducteur ultrasons comprise entre 100 Volts et 600 Volts. Le choix est effectué sur le terrain en fonction de la hauteur du capteur sur le mât et de l'altitude d'installation du nivomètre.

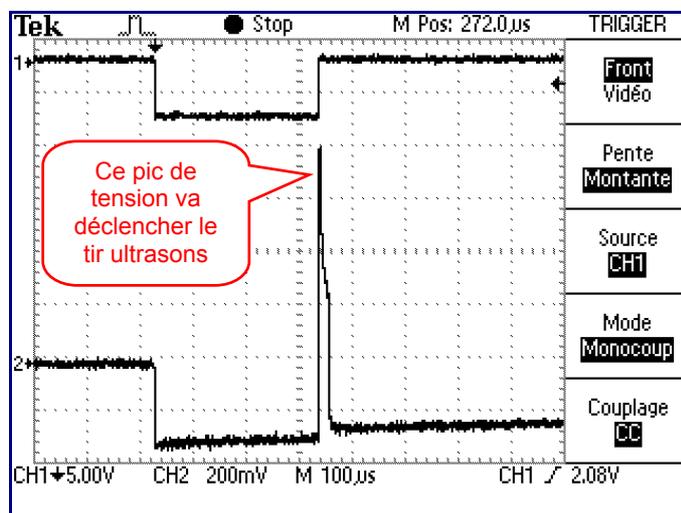
Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la ddp SMA en fonction de la durée de l'impulsion /PULS.



Sortie :

Au moment précis de la commande de déclenchement du tir ultrasons par le signal /PULS, SMA est un pic de tension positif compris entre 100 Volts et 600 Volts. Il permet de commander le déclenchement du tir ultrasons par le transducteur. On rappelle que le pic de tension SMA est généré au front montant du signal d'entrée /PULS.

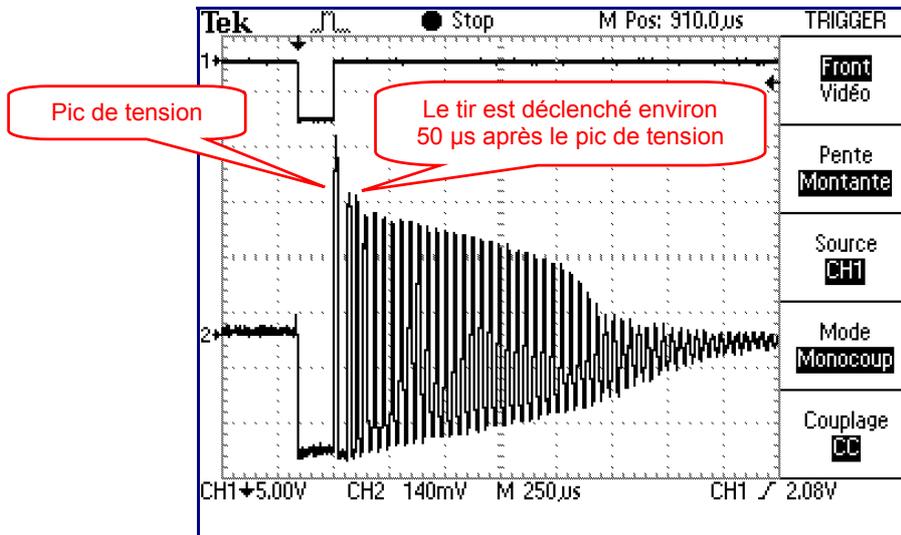
La copie d'écran ci-dessous montre respectivement les signaux /PULS et SMA. Pour des raisons évidentes, le signal SMA a été mesuré après écrêtage par les deux diodes schottky montées en tête-bêche et repérées D13 et D14 sur le schéma structurel.



- Fonction principale FP2 : "Emission et réception de la salve ultrasons"

Cette fonction est matérialisée par un transducteur ultrasons fabriqué par MASSA (<http://www.massa.com/>) selon un cahier des charges bien précis fixé par les ingénieurs de recherche et développement de CIMEL.

Au front montant du signal /PULS, le transducteur ultrasons déclenche le tir d'une salve ultrasons de 26 KHz, environ 50 µs après le pic de tension décrit précédemment.



Comme la dénomination de la fonction principale Fp2 l'indique (Emission et réception de la salve ultrasons), le même transducteur ultrasons est utilisé en émission et en réception. En émission, on excite le transducteur sur sa résonance série. On reçoit l'écho de la salve ultrasons sur sa résonance parallèle.

- Fonction principale FP3 : "Contrôle automatique de gain"

Cette fonction est réalisée autour d'une structure analogique relativement complexe à base de montages à amplificateurs intégrés linéaires.

C'est une structure à gain variable en fonction du temps, déclenchée dès le début du tir ultrasons, par le microcontrôleur PIC assurant la production de tous les signaux de commande.

Plus la hauteur de la neige est faible, et plus la distance parcourue par le signal émis par le transducteur est importante. L'amplitude du signal décroît en fonction du temps. D'où la nécessité d'introduire un contrôle automatique de gain asservi sur le temps dans la structure.

Le principe de fonctionnement de cet asservissement est relativement astucieux :

- Dès le déclenchement du tir ultrasons par le front montant du signal /PULS, la fonction principale Fp3 génère une rampe négative (signal repéré RAMP0 sur le schéma structurel) sur une durée maximale de 48 ms environ.
- Cette rampe permet d'asservir la structure de contrôle automatique de gain sur le temps. En effet, elle permet à l'amplification de la structure située en aval du générateur de rampe d'évoluer progressivement.

Dès la réception de l'écho par le transducteur ultrason, le signal RAMPE repasse à l'état de repos ; la génération de la rampe est stoppée. Ceci entraîne donc l'arrêt instantané de l'asservissement.

Entrées :

RAMPE est un signal numérique à l'état logique bas au repos. Au moment de la commande de déclenchement du tir ultrasons par le microcontrôleur PIC, le signal RAMPE passe à l'état logique haut jusqu'à réception de l'écho par le transducteur ultrasons.

INH permet d'inhiber le fonctionnement de la structure réalisant la fonction "Contrôle automatique de gain" avant le déclenchement du tir afin d'éviter d'injecter la salve ultrasons émise à l'entrée de la fonction. INH est un signal numérique à l'état logique bas au repos. Environ 4 ms avant le front descendant du signal /PULS, le signal INH passe à l'état logique haut. Il repasse à l'état de repos environ 6 ms après le déclenchement du tir ultrasons au front montant du signal /PULS.. Par conséquent, le temps de latence d'environ 6 ms après le déclenchement du tir permet, de s'assurer de l'émission complète de la salve par le transducteur ultrasons. Lors du déblocage de l'écoute au front descendant de INH, il apparaît un régime transitoire dont l'écoute sera bloquée de manière logicielle. On s'assure ainsi que l'asservissement fonctionne en régime établi au moment du retour de l'écho.

SMA représente l'écho de la salve ultrasons sur la neige. On rappelle que, plus la hauteur de la neige est faible, et plus le signal revient affaibli.

Sortie :

EF est un signal image de l'écho, d'amplitude rendue quasi-constante par la structure à contrôle automatique de gain.

- Fonction principale FP4 : "Filtrage et amplification"

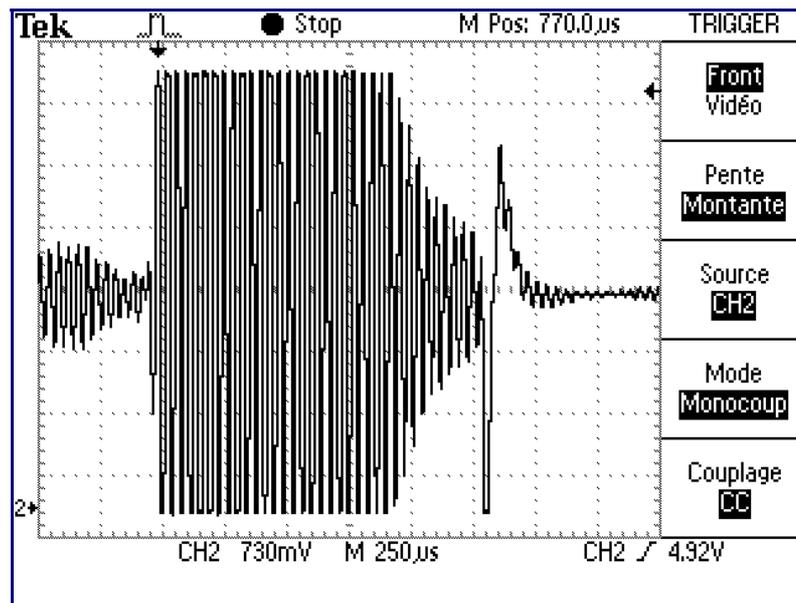
Cette fonction, réalisée autour de deux structures de filtres passe-bande à amplificateurs intégrés linéaires, permet d'amplifier seulement les harmoniques générées par le transducteur ultrasons.

Entrée :

EF est un signal image de l'écho, d'amplitude rendue quasi-constante par la structure à contrôle automatique de gain.

Sortie :

O2A est un signal image de l'écho, amplifié et filtré par deux filtres passe-bande. Sur la copie d'écran ci-après, on constate sans ambiguïté, que grâce à la structure de contrôle automatique de gain, l'amplitude de l'écho reste quasi constante. L'amplitude maximale du signal O2A sur la partie intéressante est proche de 5 Volts.



- Fonction principale FP5 : "Comparaison"

Cette fonction permet de d'indiquer au microcontrôleur, l'instant précis de réception de l'écho ultrasons.

Elle est matérialisée par une structure réalisée autour de deux comparateurs à sorties de type "collecteur ouvert". L'emploi de deux comparateurs permet d'obtenir une structure à double seuil déclenchable sur un front montant comme sur un front descendant. Et donc, par conséquent, d'améliorer la précision de la mesure du temps écoulé entre l'émission de la salve et la réception de l'écho.

Ce montage apporte une très grande précision sur la mesure du temps écoulé (inférieure à 10 μ s).

Entrée :

O2A est un signal image de l'écho, amplifié et filtré par deux filtres passe-bande.

Sortie :

SIGNAL est un signal numérique à l'état logique haut au repos. Il passe à l'état logique bas dès la réception de l'écho ultrasons. C'est ce front descendant qui indique au microcontrôleur, l'instant précis de retour de l'écho.

La copie d'écran ci-dessous montre respectivement les signaux /PULS, O2A et SIGNAL, capturé à l'aide d'un oscilloscope numérique déclenché en mode monocoup.

Nous détaillerons et expliquerons la forme des signaux ci-dessous dans le cadre des séances de travaux pratiques relatives à l'étude du capteur de hauteur de neige.

Le relevé expérimental fourni ci-après correspond à une durée aller/retour de la salve ultrasons de 14,57 ms ; soit une distance capteur/neige de 2510 mm, mesurée à la température de 22,85°C.

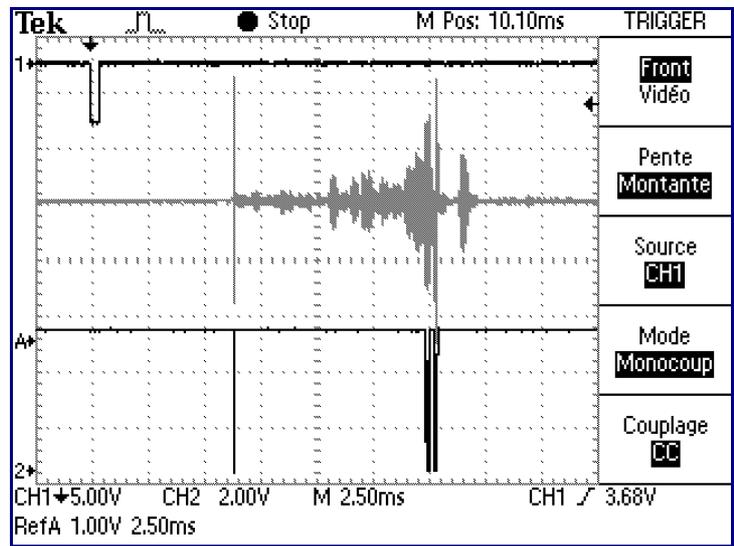
Ceci est très facile à démontrer en utilisant les expressions littérales fournies au paragraphe 6.1.

Calcul de la distance D_{sn} entre le capteur et la surface du manteau neigeux à partir de l'expression fournie au paragraphe 6.1 :

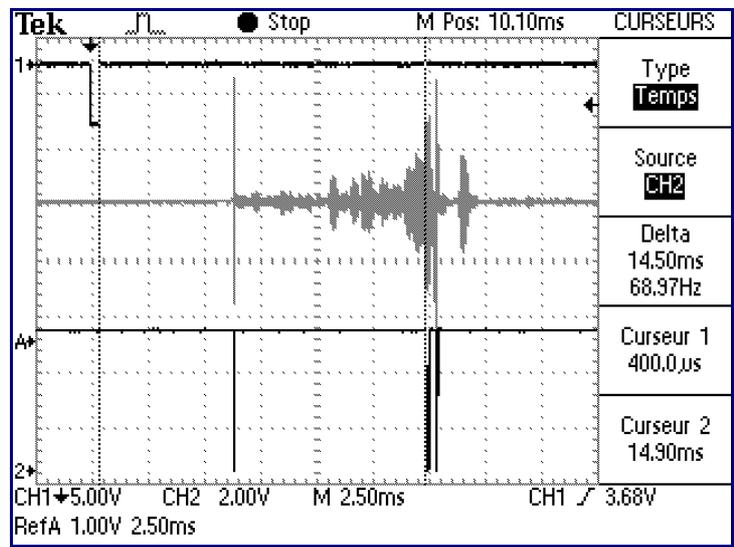
$$D_{sn} = \frac{V_0 \cdot D}{2} \sqrt{\frac{T}{273}} = \frac{331 \times 14,57 \cdot 10^{-3}}{2} \sqrt{\frac{295,85}{273}} = 2,51 \text{ mètres}$$

avec :

- D = Durée écoulée entre l'émission et la réception de la salve par le transducteur US
- V_0 = Vitesse du son à 0°C (soit 331 m/s)
- T = Température de l'air en degrés kelvin



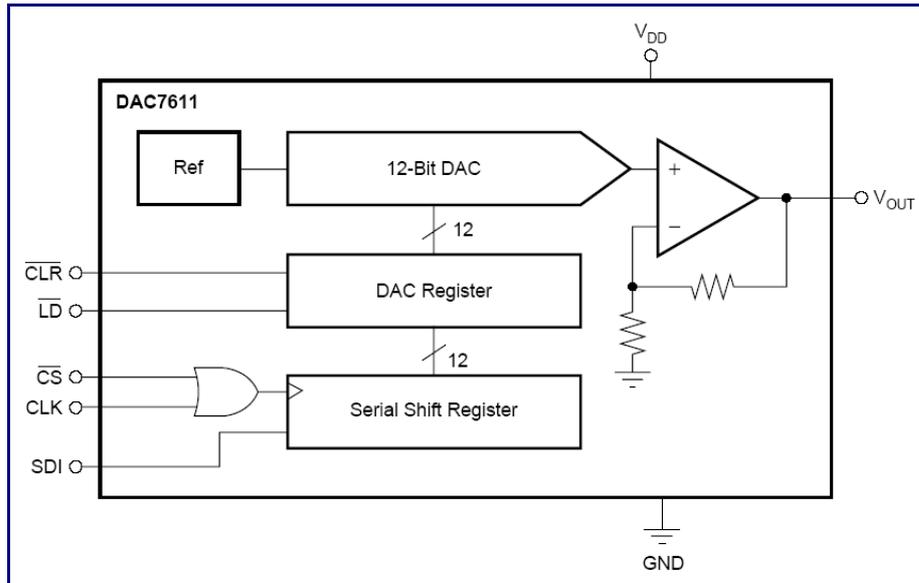
Comme nous le constatons ci-dessous, à l'aide des curseurs, la durée aller/retour de l'onde, indiquée précédemment est proche de 14,5 ms.



- Fonction principale FP6 : "Conversion Numérique Analogique"

Cette fonction permet de convertir les données relative à la distance capteur-surface du manteau neigeux, générées par le microcontrôleur, sous forme d'une trame série de 12 bits en une différence de potentiel continue.

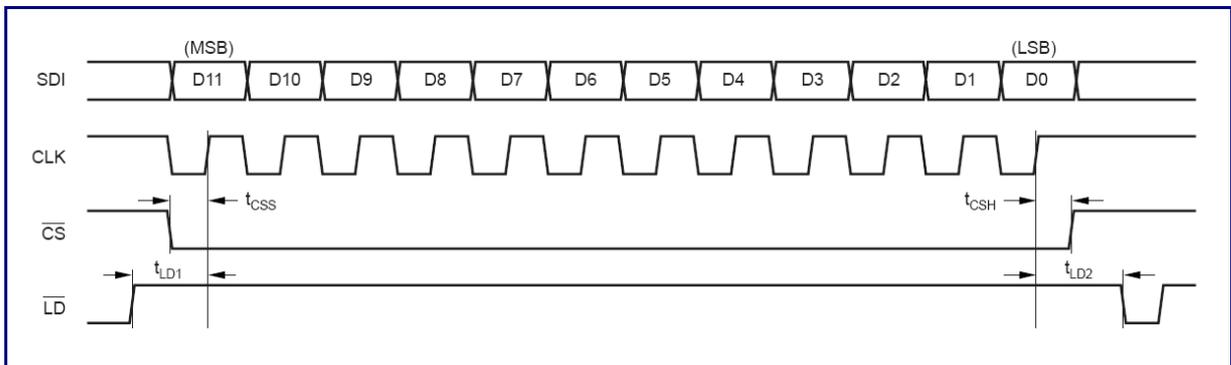
Elle est matérialisée par un convertisseur Numérique Analogique à entrée série sur 12 bits, de référence DAC7611. La figure ci-dessous représente la structure interne de ce composant fabriqué par Burr-Brown.



Le tableau suivant, extrait de la documentation constructeur du DAC7611, fournit la description détaillée de ses broches.

PIN DESCRIPTION		
PIN	LABEL	DESCRIPTION
1	V _{DD}	Power Supply
2	CS	Chip Select (active LOW).
3	CLK	Synchronous Clock for the Serial Data Input.
4	SDI	Serial Data Input. Data is clocked into the internal serial register on the rising edge of CLK.
5	LD	Loads the Internal DAC Register. NOTE: The DAC register is a transparent latch and is transparent when LD is LOW (regardless of the state of CS or CLK).
6	CLR	Asynchronous Input to Clear the DAC Register. When CLR is strobed LOW, the DAC register is set to 000 _H and the output voltage to 0V.
7	GND	Ground
8	V _{OUT}	Voltage Output. Fixed output voltage range of approximately 0V to 4.095V (1mV/LSB). The internal reference maintains this output range over time, temperature, and power supply variations (within the values defined in the specifications section).

Ce CNA fonctionne selon le diagramme temporel représenté ci-dessous. Dans le cas du capteur de hauteur de neige, l'entrée /CS du DAC7611 est constamment à l'état logique bas par tirage au 0 Volt.



On donne ci-dessous la table de fonctionnement du DAC7611.

LOGIC TRUTH TABLE

$\overline{CS}^{(1)}$	CLK ⁽¹⁾	\overline{CLR}	\overline{LD}	SERIAL SHIFT REGISTER	DAC REGISTER
H	X	H	H	No Change	No Change
L	L	H	H	No Change	No Change
L	H	H	H	No Change	No Change
L	↑	H	H	Advanced One Bit	No Change
↑	L	H	H	Advanced One Bit	No Change
H ⁽²⁾	X	H	↓	No Change	Changes to Value of Serial Shift Register
H ⁽²⁾	X	H	L ⁽³⁾	No Change	Transparent
H	X	L	X	No Change	Loaded with 000 _H
H	X	↑	H	No Change	Latched with 000 _H

↑ Positive Logic Transition; ↓ Negative Logic Transition; X = Don't Care.

NOTES: (1) \overline{CS} and CLK are interchangeable. (2) A HIGH value is suggested in order to avoid to "false clock" from advancing the shift register and changing the DAC voltage. (3) If data is clocked into the serial register while \overline{LD} is LOW, the DAC output voltage will change, reflecting the current value of the serial shift register.

La sortie du convertisseur Numérique analogique (sortie repérée V_{sn} sur le schéma structurel) reste stable une fois l'acquisition terminée et le capteur de hauteur de neige à nouveau "endormi" jusqu'à la prochaine mesure.

Outre le fait que la tension V_{sn} (restée stable entre deux mesures) soit utilisée par EDF pour étalonner et "recaler" le NRC, elle permet aussi de transmettre l'information "Hauteur de neige" au centre de prévisions météorologique situé à Toulouse. Dans la plupart des cas, cette transmission est effectuée par le réseau GSM.

Nous étudierons la procédure de commande (écrite en langage C) du DAC7611 au cours d'une séance de travaux pratiques consacrée aux microcontrôleurs PIC.

Entrées :

CLK est le signal d'horloge de synchronisation du convertisseur Numérique Analogique.

SDI est l'entrée série des données numériques à convertir. Le niveau logique présent sur SDI est transféré dans le registre à décalage interne au CNA à chaque front montant du signal d'horloge CLK.

/LD est l'entrée de chargement du CNA. Elle est au niveau logique haut au repos. Les douze bits contenus dans le registre à décalage interne au CNA sont convertis et transférés en sortie du CNA lorsque /LD passe à l'état logique bas.

Sortie :

V_{sn} est une différence de potentiel analogique image de la donnée numérique de 12 bits injectée sur l'entrée SDI. Le signal V_{sn} reste stable entre deux tirs.

- Fonction principale FP7 : "Gestion du temps"

Cette fonction est matérialisée par une horloge temps réel raccordée au microcontrôleur via un bus I2c.

Lorsque le capteur de hauteur de neige fonctionne en mode autonome, la fonction Fp7 permet de "réveiller" le capteur et de déclencher le tir ultrasons aux instants programmés par le technicien installateur.

La plupart des fonctions électroniques du capteur de hauteur de neige sont automatiquement repositionnées en mode "sommeil" par la fonction Fp7 dès la mesure terminée.

Seules les fonctions Fp6 "Conversion numérique analogique" et obligatoirement Fp7 "Gestion du temps" restent alimentées en permanence.

La consommation du capteur de hauteur de neige en mode "sommeil" est évaluée approximativement à 1mA.

Comme pour le capteur de température, les ingénieurs de CIMEL ont choisi une horloge RTC compatible I2c. Ceci, tout simplement par habitude. En effet, de nombreuses structures électroniques développées par CIMEL contiennent des composants compatibles I2c.

Entrée :

Bus I2c permet d'assurer le transfert d'informations entre le microcontrôleur PIC assurant la production des signaux de commande et la fonction Fp7 selon le protocole I2c.

Sorties :

Bus I2c permet d'assurer le transfert d'informations entre le microcontrôleur PIC assurant la fonction FP1 et la fonction Fp8 selon le protocole I2c.

/RTC_INT est un signal logique, actif à l'état logique bas, permettant d'ordonner le déclenchement du tir ultrasons au microcontrôleur PIC.

- **Fonction principale FP8 : "détection présence RS et adaptation de niveaux"**

Cette fonction permet de convertir les niveaux des signaux présent sur la liaison RS232 du PC en niveaux logiques compatibles TTL. Elle est bidirectionnelle et, elle permet donc convertir les niveaux des signaux générés par le microcontrôleur en niveaux de tensions compatibles avec la liaison série RS232 du PC.

Le fait de souhaiter rendre le capteur de hauteur de neige compatible avec toute une gamme de stations météorologiques CIMEL a imposé la possibilité de gestion complète du capteur par liaison série RS232.

Les techniciens d'EDF utilisent la liaison RS232 seulement au cours de l'installation, de la configuration et de l'étalonnage du capteur de hauteur de neige. Pour ce faire, ils utilisent un ordinateur de type PC équipé d'une application Windows spécifique développée par un ingénieur de CIMEL.

Le raccordement du capteur de hauteur de neige à un ordinateur de type PC est détecté automatiquement dès le branchement de la fiche RS232 sur ce dernier.

Au cours des différentes séances de travaux pratiques consacrées à l'installation et à la mise en service du capteur de hauteur de neige, nous utiliserons l'application Windows spécifique développée pour ce capteur. A cet effet, une notice complète et détaillée de ce logiciel vous sera fournie.

Entrées :

Liaison RS232 correspond tout simplement à la liaison RS232 entre l'ordinateur et le capteur de hauteur de neige.

Tx_TTL correspond aux données séries de niveau TTL, générées par le microcontrôleur PIC selon le protocole RS232.

Sorties :

Rx_TTL correspond aux données séries de niveau TTL, reçues par le microcontrôleur PIC selon le protocole RS232.

/RS_INT est un signal logique, actif à l'état logique bas, permettant de signifier au microcontrôleur PIC assurant la fonction Fp1, que le capteur de hauteur de neige est raccordé à un PC.

- **Fonction annexe FA : "Alimentations"**

Comme son nom l'indique, cette fonction permet de générer les différentes tensions d'alimentations nécessaires au bon fonctionnement du capteur de hauteur de neige.

Entrée :

BAT correspond tout simplement à l'entrée d'alimentation du capteur de hauteur de neige.

ON_AMPLI est un signal logique, actif à l'état logique haut, qui permet de valider l'alimentation de toutes les structures analogiques utilisées dans le capteur de hauteur de neige.

Sorties :

VBOB est une différence de potentiel continue de 9,63 Volts environ. Elle permet d'alimenter la fonction principale Fp1 "Commande du transducteur US".

VDD est une différence de potentiel continue de 5 Volts. Elle permet d'alimenter le microcontrôleur PIC, et les fonctions principales Fp6 "Conversion Numérique Analogique", Fp7 "Gestion du temps" et Fp8 "Détection présence RS et adaptation des niveaux".

VCC est une différence de potentiel continue de 5 Volts. Elle permet d'alimenter partiellement la fonction principale Fp3 "Contrôle automatique de gain".

VAP est une différence de potentiel continue de 5 Volts. Elle permet d'alimenter tous les amplificateurs opérationnels et comparateurs utilisés dans les fonctions principales Fp3 "Contrôle automatique de gain", Fp4 "Filtrage et amplification" et Fp5 "Comparaison".

MV (pour Masse Virtuelle) est une différence de potentiel continue de 2,5 Volts. Tous les amplificateurs opérationnels étant alimentés en mono tension. Elle est utilisée pour centrer les différents signaux analogiques sur une dynamique de 5 Volts.

6.7 ENSEMBLE DE FONCTIONS LOGICELLES ASSURANT LA PRODUCTION DES SIGNAUX DE COMMANDE

Ce bloc fonctionnel est matérialisé par un microcontrôleur PIC16F876 associé à un circuit d'horloge à quartz oscillant à la fréquence de 4 MHz.

Le microcontrôleur PIC gère et contrôle pratiquement toutes les fonctions principales réalisant la fonction d'usage du capteur de hauteur de neige.

Avant toute présentation algorithmique du programme implanté dans le microcontrôleur PIC, il est nécessaire de décrire la méthode d'acquisition de la hauteur du manteau neigeux choisie par les ingénieurs R&D de CIMEL.

6.7.1 METHODE D'ACQUISITION DE LA HAUTEUR DU MANTEAU NEIGEUX

Afin d'obtenir la hauteur de neige avec le maximum de précision, chaque mesure est effectuée par salve de 32 tirs ultrasons.

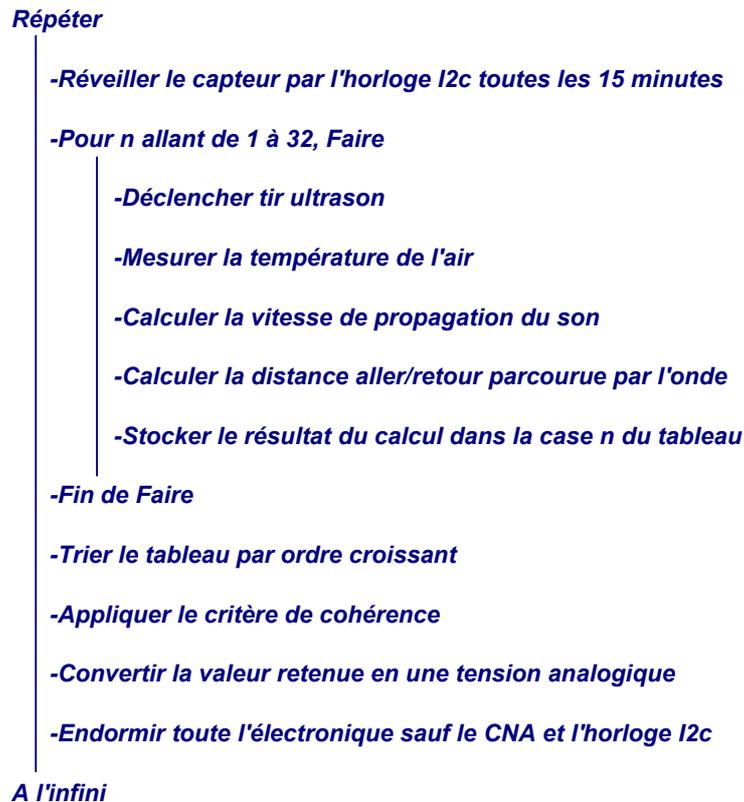
Les résultats de ces 32 tirs sont ensuite rangés par ordre croissant dans un tableau de 32 cases dans la mémoire vive du microcontrôleur PIC.

Puis, le tableau est balayé à partir de la première case jusqu'à ce que trois valeurs consécutives correspondent à un "critère de cohérence" fixé par l'agent EDF au moment de l'installation et de la configuration du système.

En fait, sera retenue la distance aller/retour parcourue par l'onde US la plus courte parmi trois valeurs consécutives dans une plage de tolérance de +/-50 μ s. On choisit la valeur la plus courte car après de multiples essais sur le terrain, les ingénieurs ont constaté qu'elle s'avérait être la plus précise.

Après ces quelques lignes descriptives de la méthode de mesure de la hauteur de neige choisie par les ingénieurs, il est maintenant possible de présenter l'algorithme simplifié du programme implanté dans le microcontrôleur PIC.

Algorithme simplifié du programme implanté dans le microcontrôleur PIC :



6.7.2 PROCEDURE DE PARAMETRAGE DU CAPTEUR PAR LES AGENTS EDF

Décrivons maintenant la procédure de paramétrage utilisée par les agents EDF lors de l'installation et de la mise en service du capteur de hauteur de neige.

La copie d'écran ci-dessous est extraite du logiciel utilisé par les agents EDF lors de l'installation et de la configuration du capteur de hauteur de neige par le biais de la liaison série RS232 d'un ordinateur portable de type PC.

Description partielle de la fenêtre "Paramètres de tir" représentée à la page précédente :

-Dt : Ce paramètre permet d'apporter une correction sur la température de l'air mesurée par le capteur I2c. Cette possibilité de réglage, demandée par EDF aux ingénieurs de CIMEL lors de l'élaboration du cahier des charges n'est pratiquement pas utilisée par les agents installateurs. Ceci vient tout simplement du fait de l'importante précision du capteur de température numérique choisie par l'ingénieur R&D concepteur du capteur de hauteur de neige.

-Ne : Ce paramètre correspond au nombre de résultats de tirs parmi les 32 à prendre en compte pour l'application du "critère de cohérence". Dans la pratique, les techniciens installateurs d'EDF choisissent $N_e = 3$ car, après de nombreux essais sur le terrain, cette valeur s'est avérée apporter un résultat suffisamment précis.

-Em : C'est la largeur de cohérence. Les techniciens installateurs d'EDF choisissent très souvent $E_m = 100 \mu s$. Comme pour N_e , cette valeur a été retenue après de multiples essais sur le terrain.

-Ft : C'est l'intervalle de temps entre chaque tir de la salve.

-Ts : C'est l'intervalle de temps entre chaque salve. Sur toutes les installations existantes, les agents installateurs d'EDF ont choisi d'effectuer un tir toutes les 15 minutes. Cela permet d'obtenir un graphe de l'évolution du manteau neigeux extrêmement précis en période hivernale.

Une fois tous les paramètres saisis par l'agent installateur puis la case "Validation du mode autonome" cochée, il doit cliquer sur le bouton "Send mode tir" situé en bas à droite pour programmer le capteur de hauteur de neige en mode autonome.

Ensuite, il lui suffit de débrancher le câble RS232 reliant le capteur de hauteur de neige à l'ordinateur portable pour déclencher automatiquement le fonctionnement du système en mode autonome.

6.8 SCHEMAS STRUCTURELS DU CAPTEUR DE HAUTEUR DE NEIGE

Les quatre pages suivantes représentent les schémas structurels réels et industriels du capteur de hauteur de neige.

Ils ont été dessinés par un ingénieur de recherche et développement de l'entreprise CIMEL.

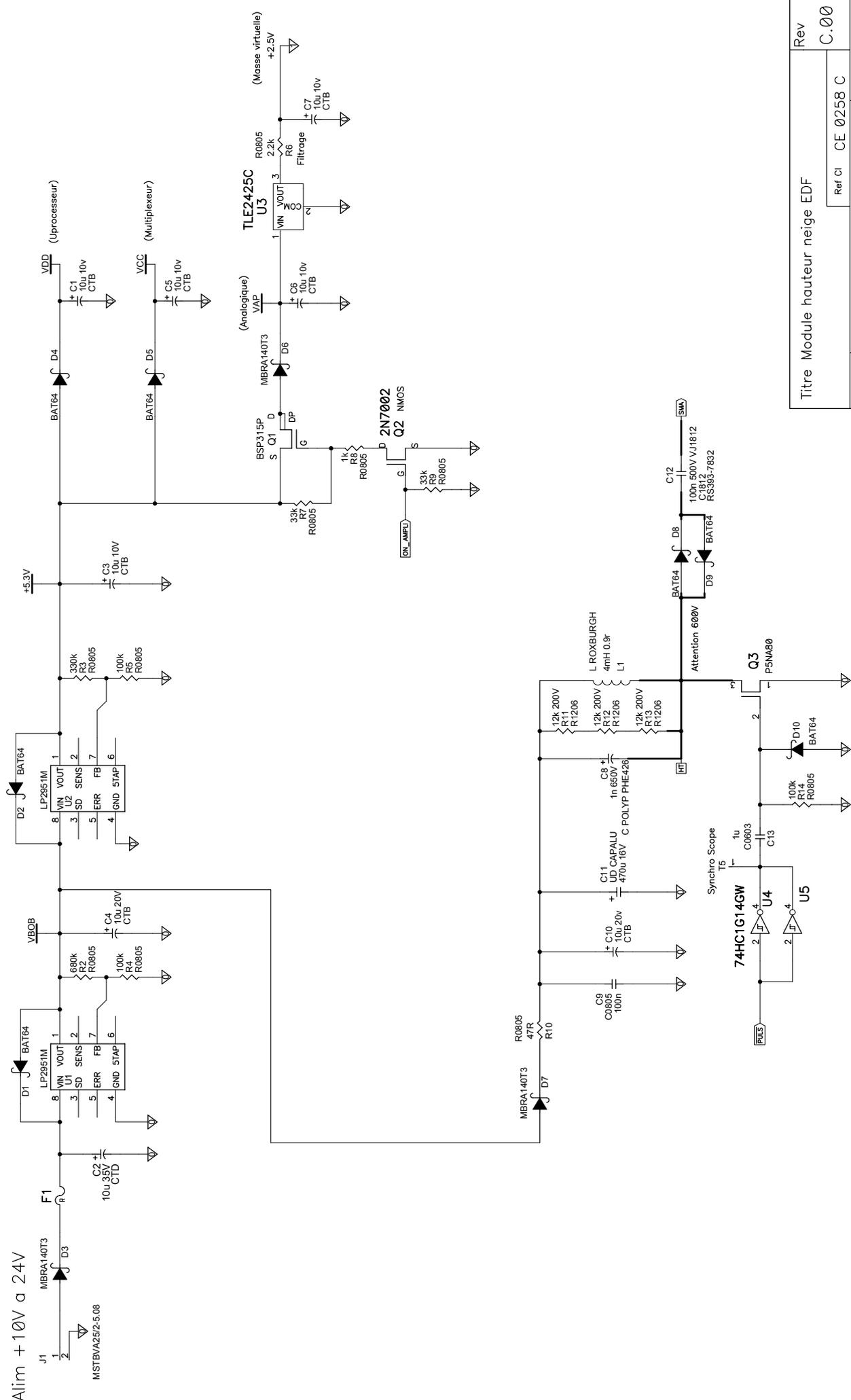
6.9 CONCLUSION

Ce dossier de présentation du système d'analyse de la teneur en eau du manteau neigeux français a été développé avec l'aide précieuse d'un ingénieur R&D de l'entreprise CIMEL.

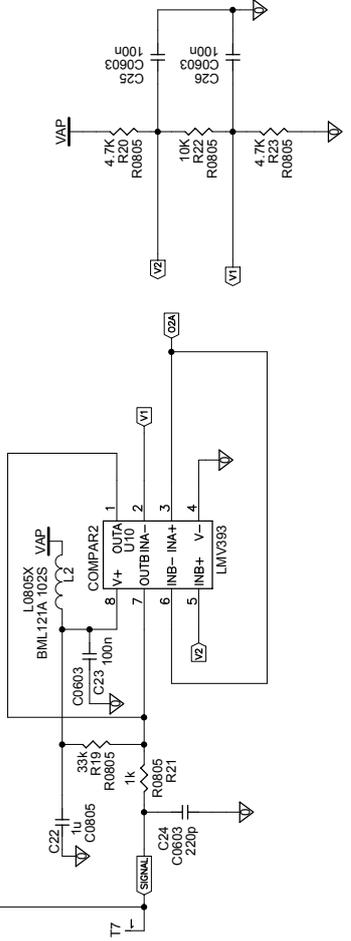
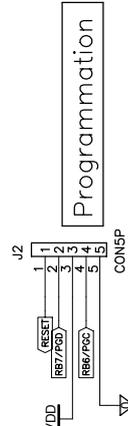
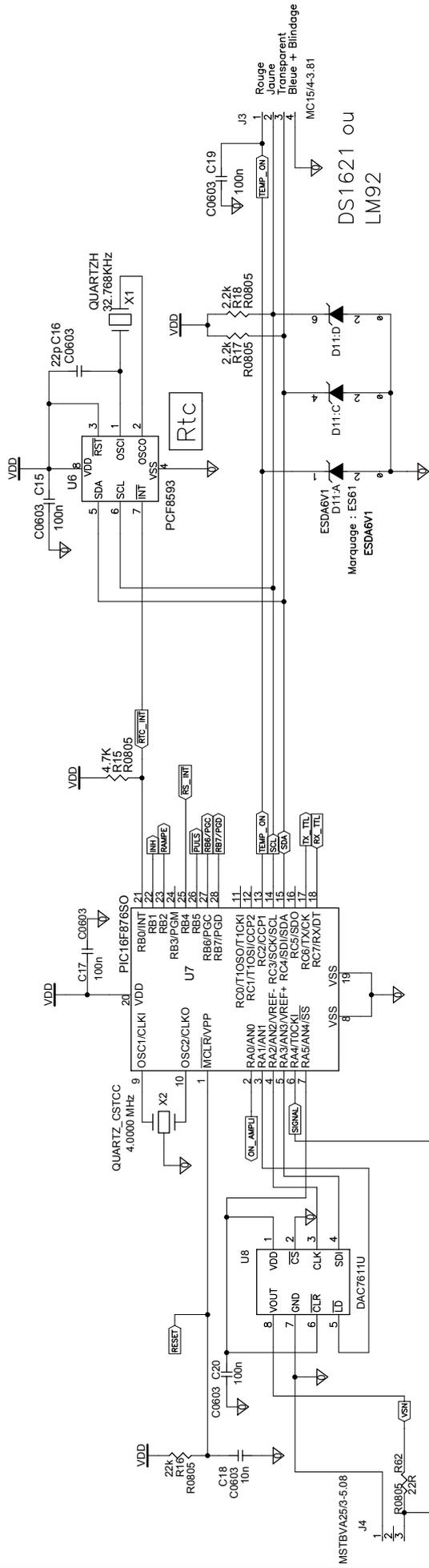
Je le remercie pour sa patience durant les très nombreuses heures passées au téléphone pour m'aider dans la compréhension du fonctionnement du capteur de hauteur de neige.

Toutes remarques susceptibles de contribuer à l'amélioration de ce document seront les bienvenues ; merci de me les adresser par mël à : eric.garnier@ac-limoges.fr

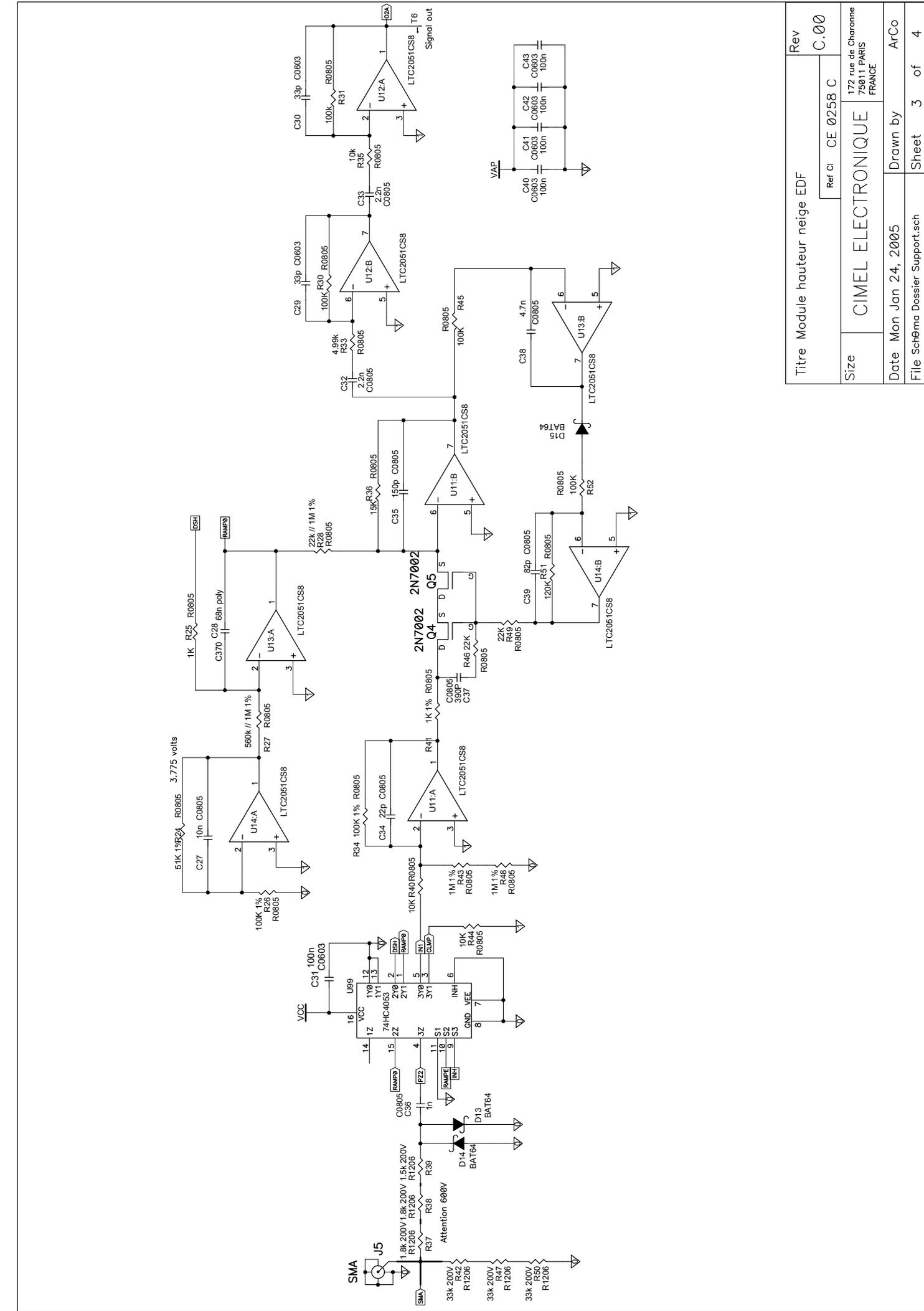
Aim +10V a 24V



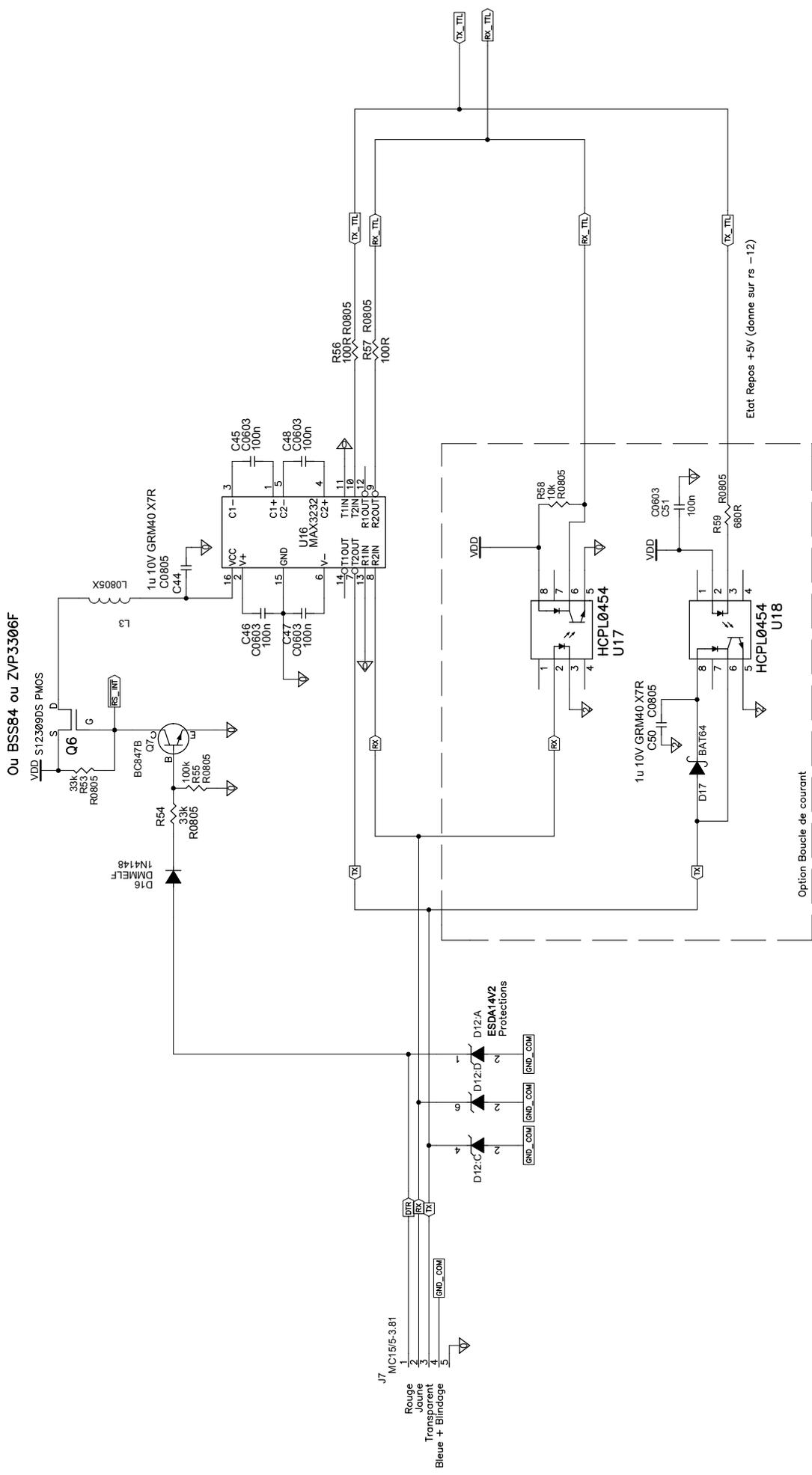
Titre Module hauteur neige EDF		Rev
Size	CIMEL ELECTRONIQUE	C.00
Date	Mon Jan 24, 2005	172 rue de Charonne 75011 PARIS FRANCE
File	Schéma Dossier_Support.sch	Drawn by ArCo
	Sheet 1	of 4



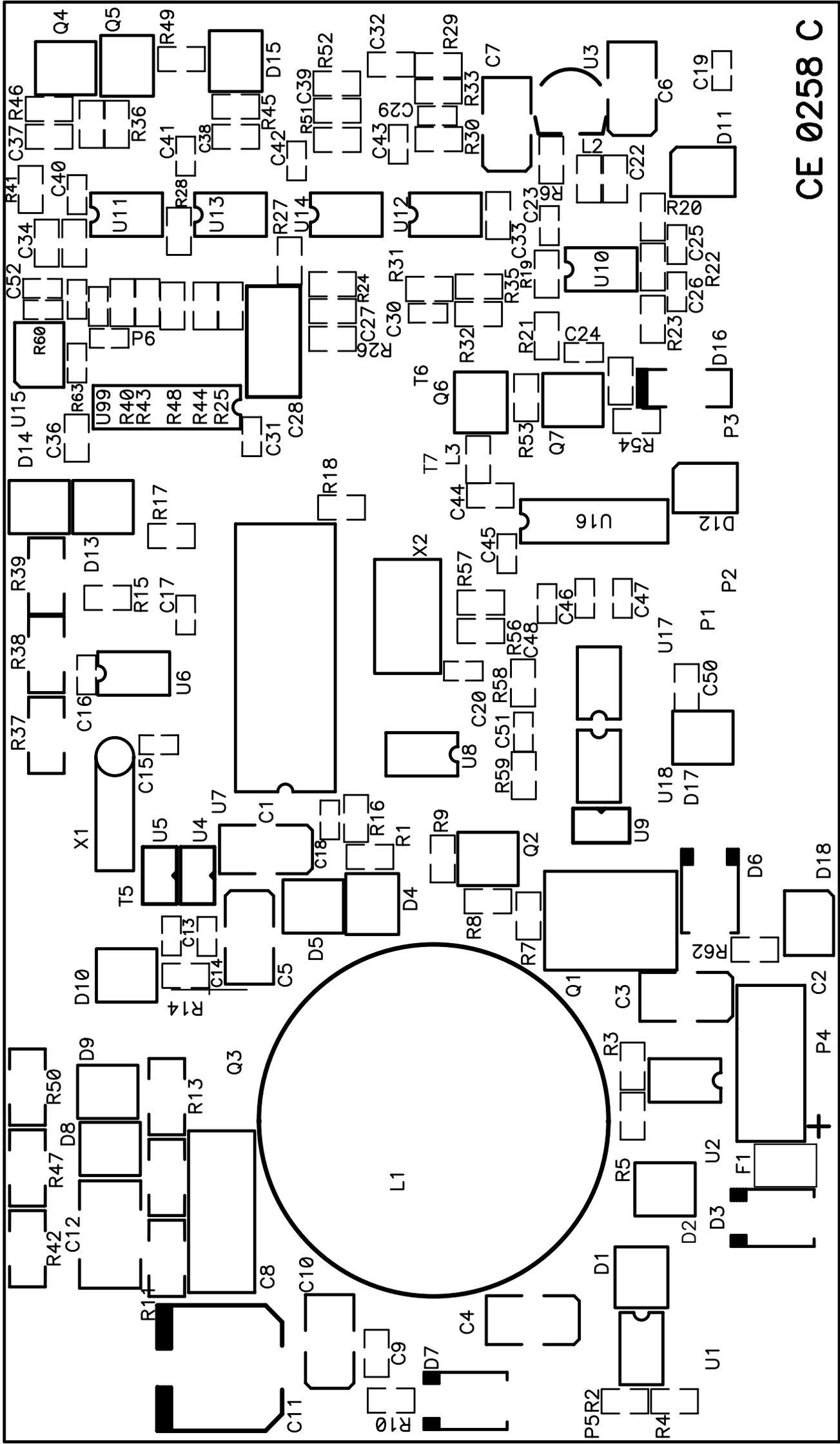
Titre Module hauteur neige EDF		Rev
Ref ci : CE 0258 C		C.00
Size	CIMEL ELECTRONIQUE	172 rue de Charonne 75011 PARIS FRANCE
Date	Mon Jan 24, 2005	Drawn by ArCo
File	Schéma Dossier Support.sch	Sheet 2 of 4



Titre Module hauteur neige EDF		Rev	C.00
Size	CIMEL ELECTRONIQUE	Ref ci	CE 0258 C
Date	Mon Jan 24, 2005	172 rue de Charonne 75011 PARIS FRANCE	
File	Schéma Dossier.Support.sch	Drawn by	ArCo
		Sheet	3 of 4



Titre Module hauteur neige EDF		Rev	C.00
Size	CIMEL ELECTRONIQUE	Ref ci	CE 0258 C
Date	Mon Jan 24, 2005	172 rue de Charonne 75011 PARIS FRANCE	
File	Schéma Dossier_Support.sch	Drawn by	ArCo
	Sheet	4	of 4



CE 0258 C