

B. ETUDE DE L'INSTRUMENTATION

Plus de 400 capteurs ont été déployés depuis le début de la construction et près de 180 sont encore utilisés en phase d'exploitation.

B.1

Voici une liste de capteurs se trouvant actuellement dans l'ouvrage :

Type de capteur	Type de mesure	But de la mesure
Capteurs de température	Température	Mesurer la température des tôles en acier pour déterminer son impact sur le tablier.
Anémomètres	Vitesse et direction du vent	Mesurer la vitesse et la direction du vent pour déterminer son impact sur pylônes, haubans, tablier et piles
Inclinomètres	Rotations	Mesurer les rotations de la structure
Extensomètres	Déformations	Mesurer la déformation du béton des piles
Accéléromètres	Vibrations	Mesurer l'amplitude et la fréquence des oscillations et vibrations (effets du vent)
Hygromètres	Humidité de l'air	Renseigner sur la possibilité de phénomènes climatiques (nuages, précipitations, brouillard etc.)
Capteurs de déplacement	Déplacement	Surveiller les déplacements des joints de chaussée

Figure 4 : instrumentation en phase d'exploitation

Question B.1.1 En utilisant l'annexe N°1 page 4, **compléter** le tableau donnant le nombre de capteurs par type de mesure

Sur le schéma du viaduc, les capteurs seront positionnés en respectant la règle suivante :

- (type, nombre)
- An pour les anémomètres 2D/3D
 - C pour les capteurs de déplacement
 - T pour les capteurs de T°

Nombre de capteurs positionnés à cet endroit

Sur le document réponse, (C,2) indique que deux capteurs de déplacement sont localisés près de l'endroit pointé par la flèche (voir document réponse).

Question B.1.2 **Compléter** le schéma du viaduc en y positionnant les capteurs suivant :

- capteurs de déplacement
- capteur de température sur le tablier et dans les piles
- anémomètres sur les pylônes

B.2 Mesure de la température

La mesure de la température se fait par l'intermédiaire de 69 capteurs avec une précision inférieure à 0.2°C.

La sonde utilisée est de type PT100 : elle est composée d'un fil de platine dont la résistance vaut 100Ω à 0°C et 138.5Ω à 100°C .

L'annexe N°2 Pt100 selon DIN EN 60751 donne la valeur de la résistance de la sonde en fonction de la température. Par exemple, à -59°C la résistance vaut 76.73Ω et à $+59^\circ\text{C}$ $R=122.86\Omega$.

Soit R_θ la résistance correspondant à la température θ .

Question B.2.1 Tracer la courbe donnant R_θ en fonction de la température θ . $R_\theta = f(\theta)$ (cinq points suffisent)

Question B.2.2 Proposer l'équation liant R_θ et θ .

La précision (ou tolérance) de la mesure ne dépend pas uniquement de la sonde. Deux autres types d'erreurs interviennent : celle liée à l'électronique et celle liée à l'affichage (ou à la précision de sauvegarde du résultat).

La précision de l'ensemble de la mesure est donnée par :

$$\left(\sqrt{\text{erreur_sonde}^2 + \text{erreur_électronique}^2 + \text{erreur_sauvegarde}^2} \right)$$

Et la tolérance (ou erreur sonde) de la sonde PT 100 de classe A est : $\pm (0.15 + 0.002 \cdot T^\circ)$

Question B.2.3 Soient $\text{erreur_électronique} = \pm 0.2^\circ\text{C}$ et $\text{erreur_sauvegarde} = \pm 0.001^\circ\text{C}$, calculer la précision totale pour une sonde PT100 à 30°C

B.3 Etude de l'extensomètre

Les extensomètres permettent la mesure des déformations du béton. Ils sont coulés dans le béton.

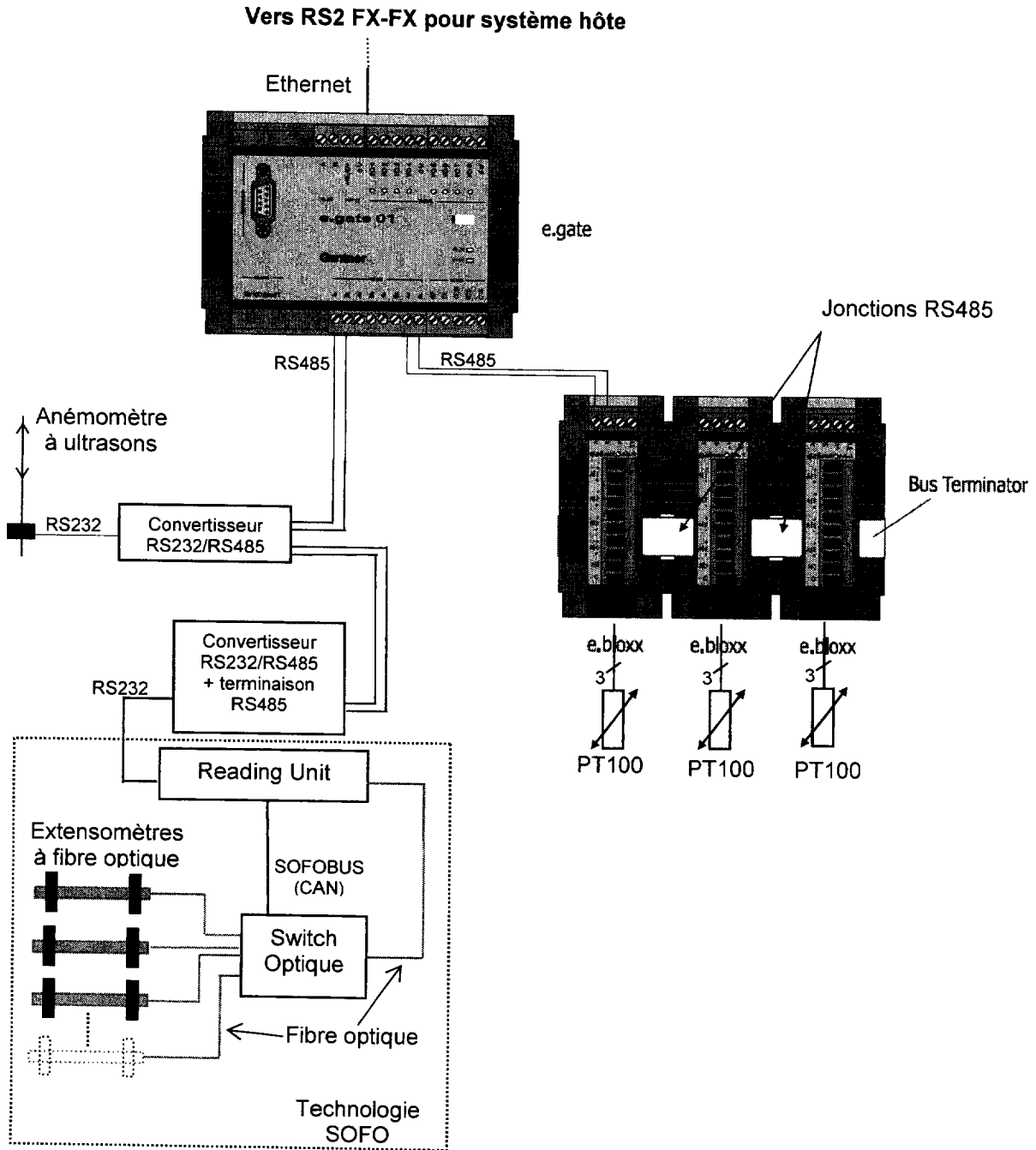
Question B.3.1 Plusieurs technologies sont mises en œuvre dans ce système. A l'aide de l'annexe 3, relier par des flèches le repère de chaque bulle avec le (ou les) domaine(s) technologique(s) correspondant(s).

C. INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

Comme mentionné précédemment, divers capteurs disposés tout au long de l'ouvrage sont à l'origine de la chaîne d'acquisition.

On s'intéressera plus particulièrement ici aux équipements SOFO, à l'interfaçage de l'anémomètre à ultrasons et aux composants d'interconnexions amenant les grandeurs physiques mesurées aux réseaux Ethernet FX via les switches RS2 FX-FX.

Une partie de la chaîne d'acquisition peut-être représentée ainsi :



C.1 Equipements SOFO

Le SOFO bus est en fait un bus CAN dont une documentation est fournie en annexe 4. La face arrière d'un switch optique se présente de la façon suivante :



DC
Power
Supply

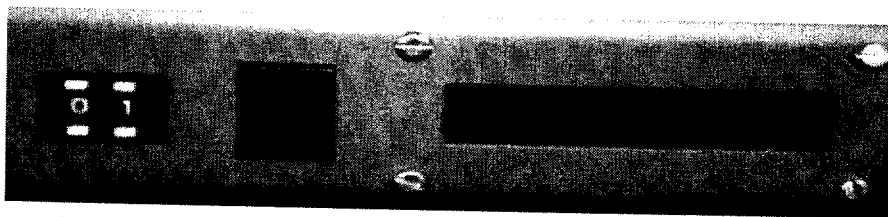
RS232
Port

SOFObus
in

SOFObus
Out
or Terminator

Question C.1.1 Préciser le composant électronique contenu par le « Terminator ».

La face avant d'un switch optique se présente de la façon suivante :



Address
selector

Manual
switch

Display

Question C.1.2 Donner le champ d'une trame CAN dans lequel il serait judicieux de coder la valeur des roues codeuses « Address selector ».

Le SOFO BUS repose sur un bus CAN à base de fils de cuivre. Il aurait pu reposer sur un support fibre optique pour transporter l'information binaire.

Question C.1.3 Exprimer, selon la terminologie CAN, les états correspondants à une présence ou à une absence de lumière dans la fibre.

Soit un SOFO BEE, dont la fiche de présentation est donnée en annexe 5, équipé de l'option *logger* 4 MB (*Data logger capacity*).

Question C.1.4 Calculer, en heures, la durée d'enregistrement minimale *tlog* de l'appareil s'il effectue une mesure toutes les dix minutes sur un ensemble de 10 capteurs.

C.2 Concentration des données d'acquisition

Les **e.gate** sont des concentrateurs de données. Ils jouent également le rôle de passerelle de communication entre des **e.bloxx** et un réseau hôte. Ce dernier peut-être soit Ethernet, comme c'est le cas sur le Viaduc de Millau, soit un réseau PROFIBUS.

Les **e.bloxx** sont des conditionneurs d'entrées/sorties logiques et analogiques. Ils délivrent les résultats de leurs acquisitions aux **e.gate**. On dénombre 80 **e.bloxx** sur l'ensemble de l'ouvrage qui reçoivent directement les capteurs PT100.

Question C.2.1 A partir de l'illustration d'un réseau PROFIBUS fournie en annexe 6, **citer** ce qu'apporte PROFIBUS par rapport à Ethernet concernant la politique d'accès au support par les maîtres.

Question C.2.2 **Désigner**, au sein des spécifications d'un **e.gate** fournies en annexe 7, ce qui permet d'affirmer que ce système intègre au moins une partie du protocole ICMP.

La communication entre un **e.gate** et un **e.bloxx** se fait selon le protocole **MODBUS** sur un support **RS485**. Le format de transmission est **8, E, 1**, soit 8 bits de données, un bit de parité paire et un bit de STOP.

Un document fourni en annexe 8 donne quelques détails de ce protocole.

CT correspond au temps de transmission d'un caractère.
Le champ d'adresse est codé sur un octet, le **CRC** est codé sur deux octets.

Question C.2.3 La table 5.1 de la documentation évoque un temps T_{2min} . **Entourer**, sur le document réponse, la proposition correspondante à la bonne signification de ce paramètre.

On fixe une vitesse de transmission de **57600 bps**. Cela donne un **CT** de **191 μ s**.
On considère $T_1=1.5CT$, $T_2=2CT$, $T_3=3CT$.

Question C.2.4 Soit un télégramme de requête de 8 octets, suivi d'un télégramme de réponse de 9 octets. **Calculer** le temps **Tit** entre le début d'une requête et le début d'une éventuelle requête suivante.

Soit la lecture par un **e.gate** de deux variables réelles de type *float* d'un **e.bloxx** à partir de la **variable 2** du paragraphe 5.4 « Register Contents » de l'annexe 8.

On considère que les variables ont chacune une valeur réelle courante dont le codage (du MSB au LSB) résultant est :

- **42 49 3C D3** pour la première variable ;
- **C6 22 02 68** pour la deuxième variable ;

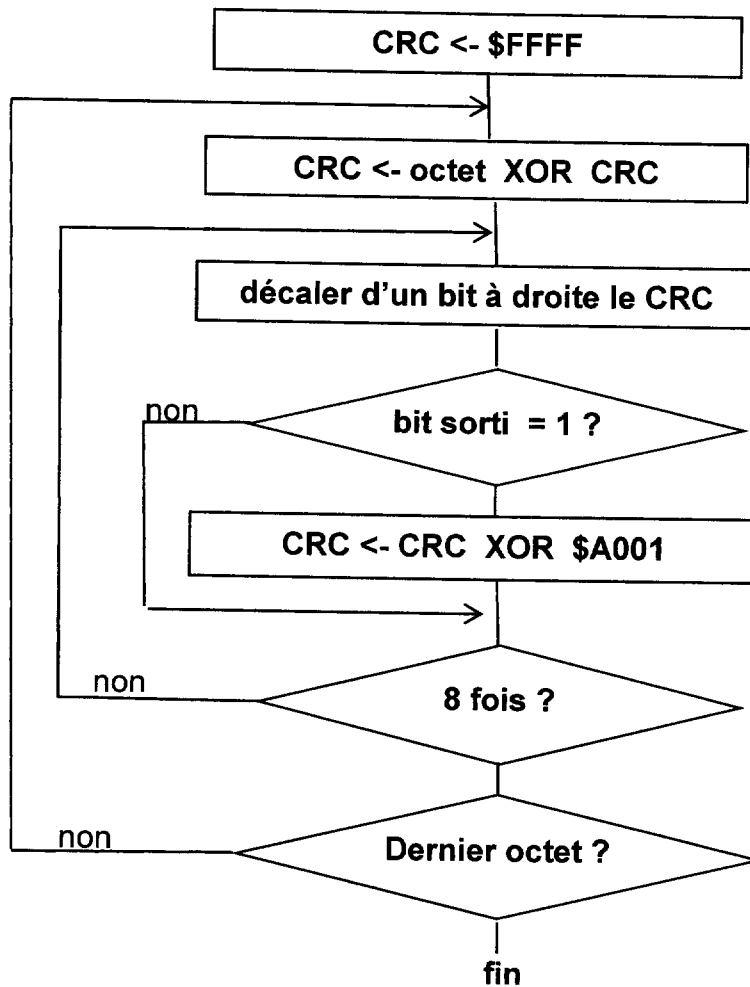
L'adresse de l'esclave interrogé est **0xA4**.

Question C.2.5 **Donner**, sur le document réponses, la valeur des champs demandés et compléter le contenu des télégrammes occasionnés par cette lecture.

Afin d'obtenir les quatre octets d'un réel à déposer dans le télégramme, on peut supposer que l'e.bloxx intègre l'extrait de code C du document réponses permettant d'obtenir dans le tableau T la valeur de chaque octet d'un *float*.

Question C.2.6 Compléter cet extrait de code.

Le protocole MODBUS fait apparaître un contrôle d'intégrité des télégrammes par **CRC**, exprimé sur **16 bits** et calculé à partir de tous les octets de la trame. L'organigramme ci-dessous montre la méthode de calcul où octet désigne successivement un des octets du télégramme situé avant le CRC :



La méthode donnée dans le document réponse doit calculer et retourner le CRC à partir de l'adresse de base d'un tableau passée en paramètre. Le paramètre « *nb_octet* » indique le nombre d'octets que contient le télégramme avant le CRC.

Question C.2.7 Compléter le codage de la fonction membre « calcul_crc ».

C.3 Direction et vitesse du vent

Ces mesures sont confiées à l'anémomètre à ultrasons **USA1** de **METEK**. Cet appareil, dont une représentation est fournie en annexe 9, repose sur trois groupes émetteur-récepteur d'impulsions ultrasoniques disposés sur trois plans différents. La transmission du son repose sur un fluide, l'air dans le cas présent.

Le vent modifie les caractéristiques de ce fluide et donc influe sur le temps que mettent les ultrasons pour parvenir d'un émetteur à un récepteur.
Un traitement informatique intégré à l'appareil permet d'obtenir numériquement sur une voie série RS232 la vitesse et la direction du vent.

La partie « communication » de la documentation indique :

« Because there is no support for hardware-handshake the USA-1 uses the **XON/XOFF-protocol** (software-handshake) ».

Question C.3.1 Décrire le contrôle de flux XON/XOFF.

La documentation indique **9600, N, 8, 1** comme vitesse/format de transmission.

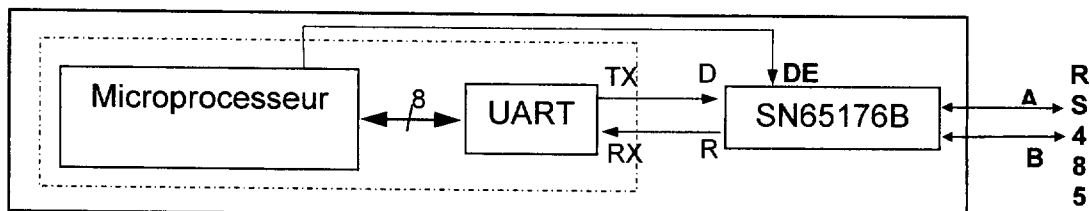
Question C.3.2 Compléter sur le document réponses l'oscillogramme de l'émission du caractère 'A' sur la ligne RS232 TX. Indiquer les niveaux électriques et la valeur de T.

L'USA1 peut-être livrée avec une connectivité **RS422**. Mais un e.gate possède des ports **RS485**. Il faut donc utiliser la version RS232 de l'USA1 et avoir recours à un adaptateur RS232 <-> RS485.

On rappelle que :

- la RS422 repose sur une transmission différentielle unidirectionnelle sur deux fils, 4 fils sont nécessaires pour une transmission bidirectionnelle *full duplex*.
- la RS485 repose sur une transmission différentielle bidirectionnelle sur deux fils.

La documentation d'un driver de lignes RS485, le **SN65176B**, est fournie en annexe 10. Ce composant s'intègre dans un appareil à connectivité RS485 selon le synoptique suivant :



Question C.3.3 Indiquer le rôle de DE.

Question C.3.4 Préciser si cette architecture électronique permet d'obtenir une liaison RS485 *half duplex* ou *full duplex*. Justifier la réponse.

L'USA1 est livré avec l'utilitaire de configuration « **Tcopy** » pouvant être exécuté sous UNIX qui possède une option « *!o<fichier>* » permettant de rediriger dans un fichier tous les caractères normalement destinés à la console.

Question C.3.5 Citer le mécanisme d'un shell permettant d'obtenir le même résultat puis **donner** la commande correspondante.