PARTIE enseignement spécifique (1,5 h) ..... 8 points

Systèmes d'Information et Numérique

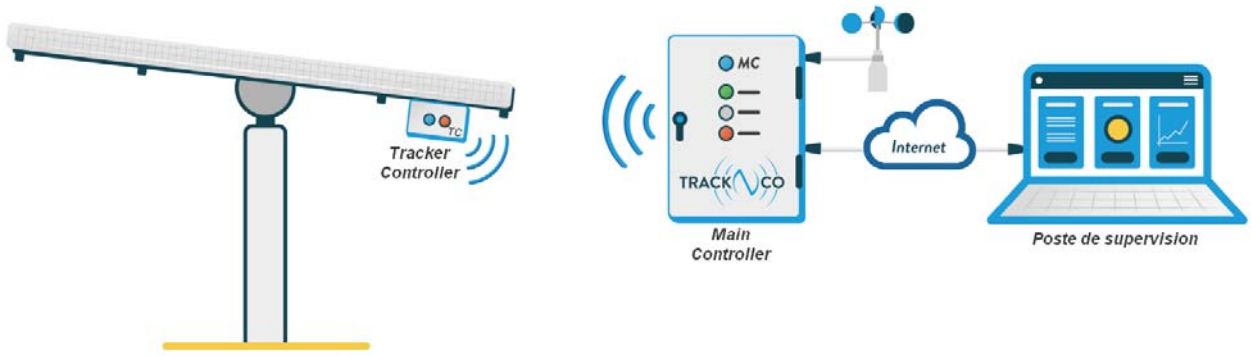
Système de contrôle des trackers solaires



- **Présentation de l'étude et questionnement**..... pages 21 à 27
- **Documents techniques DTS1 à DTS7** ..... pages 28 à 32
- **Documents réponses DRS1 à DRS2** ..... pages 33 à 34

Mise en situation

La société Track\Co située à Aubagne a développé une solution innovante assurant le contrôle automatique et la surveillance en temps réel des trackers mono axe présents sur une centrale photovoltaïque.



Chaque « Tracker Controller » mesure l'inclinaison des panneaux photovoltaïques et pilote automatiquement le moteur d'orientation du tracker jusqu'à sa position optimale.

Le « Main Controller » récupère les informations issues de chaque « Tracker Controller » (il peut en gérer jusqu'à 400). Il permet également de les piloter en mode manuel pour des besoins de maintenance ou de les forcer à se placer en position de sécurité en cas de grand vent.

L'exploitant peut superviser l'installation à distance en se connectant au « Main Controller » par une liaison Internet.

Le document technique DTS1 montre le schéma synoptique du système.

Travail demandé

Partie A : comment acquérir l'inclinaison des panneaux ?

Chaque Tracker Controller étant fixé sous un panneau solaire, la mesure de l'inclinaison est effectuée directement par un inclinomètre implanté dans le Tracker Controller.

Question A.1
DTS2

Identifier sur le diagramme de définition de blocs du Tracker Controller (DTS2) les blocs de la chaîne d'information qui répondent aux fonctions : Acquérir – Traiter – Communiquer.

Question A.2
DTS2

Indiquer la nature de l'information présente aux points ❶ ❷ ❸ et ❹ de le diagramme de définition de blocs du Tracker Controller (DTS2).

Exemple de mots utilisables : grandeur physique, tension analogique, signal logique, information numérique filaire, information numérique sans fil.

L'inclinomètre est connecté au microcontrôleur par un bus I2C dont la description est donnée dans le document technique DTS3.

Question A.3
DRS1
DTS3

Mesurer la période et **calculer** la fréquence de l'horloge (SCL) du bus I2C sur l'oscillogramme (DRS1).

En **déduire** la vitesse et le mode de transmission du bus I2C.

Question A.4
DRS1
DTS3

Repérer la condition de départ (START) et le premier acquittement (ACK) en les entourant sur l'oscillogramme (DRS1).

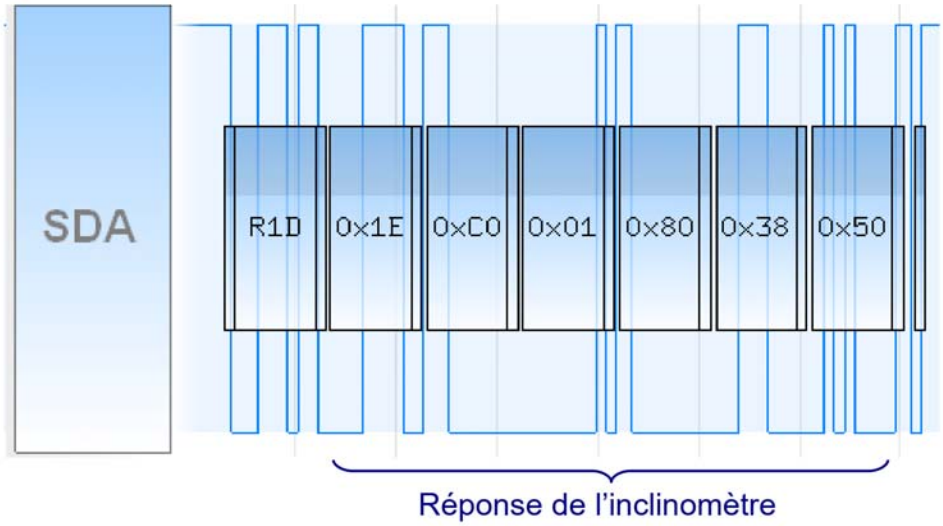
L'adresse de l'inclinomètre peut être configurée soit à 1C, soit à 1D (en hexadécimal).

Question A.5
DRS1
DTS3

Déterminer à l'aide de l'oscillogramme (DRS1), l'adresse de l'inclinomètre, en binaire, puis la **convertir** en hexadécimal.

Partie B : comment déterminer l'angle d'inclinaison des panneaux ?

La trame reçue par le microprocesseur lors d'une interrogation de l'inclinomètre est donnée ci-dessous (la notation 0x signifie que les données sont codées en hexadécimal) :



Question B.1 DTS4	À l'aide de la documentation de l'inclinomètre (DTS4), **désigner** et **donner** les valeurs des octets porteurs de l'information d'accélération mesurée sur l'axe X.
Question B.2 DTS4	**Indiquer** la valeur en binaire des 14 bits porteurs de l'information d'accélération mesurée sur l'axe X.
Question B.3 DTS4	En tenant compte de la précision de mesure du capteur, **montrer** que l'accélération mesurée sur l'axe X est proche de 0,49 g.
Question B.4 DTS4	En **déduire** l'angle d'inclinaison sur l'axe X.

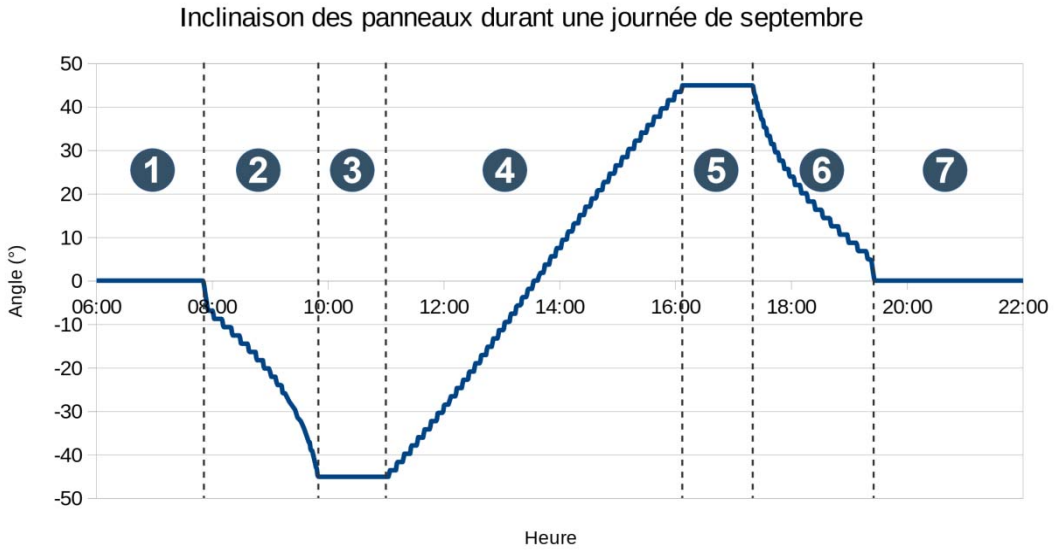
Partie C : comment piloter l'inclinaison des panneaux ?

Chaque « Tracker Controller » se base sur la date, l'heure et les coordonnées géographiques de l'installation pour calculer l'inclinaison des panneaux à l'aide d'un algorithme astronomique.

Lorsque le soleil est bas sur l'horizon (le matin et en fin de journée), l'angle des panneaux est ajusté pour ne pas faire d'ombre à la rangée voisine. Ce moment s'appelle le « backtracking », il dépend de la taille des panneaux et de leur espacement.

Le soir, les panneaux se placent en position nocturne.

Les inclinaisons extrêmes sont imposées par les contraintes mécaniques du système de tracker.



Question C.1 — **Indiquer** à quelles étapes (backtracking, inclinaison extrême, position nocturne, suivi) correspondent les moments repérés ❶❷❸❹❺❻❼ sur la courbe précédente.

Question C.2 (DTS1, DTS2) — À l'aide de l'IBD du système de contrôle des trackers (DTS1) et de l'IBD du Tracker Controller (DTS2), **indiquer** l'origine de l'énergie permettant d'alimenter le motoréducteur. En **déduire** la précaution à prendre pour placer les panneaux en position nocturne.

L'algorithme de positionnement des panneaux (DRS2) utilise la fonction `Inclinaison(p1,p2,p3,p4,p5)` pour calculer l'inclinaison optimale des panneaux à l'aide des paramètres `p1` à `p5` (date, heure, coordonnées géographiques, taille des panneaux et espacement entre les rangées de panneaux).

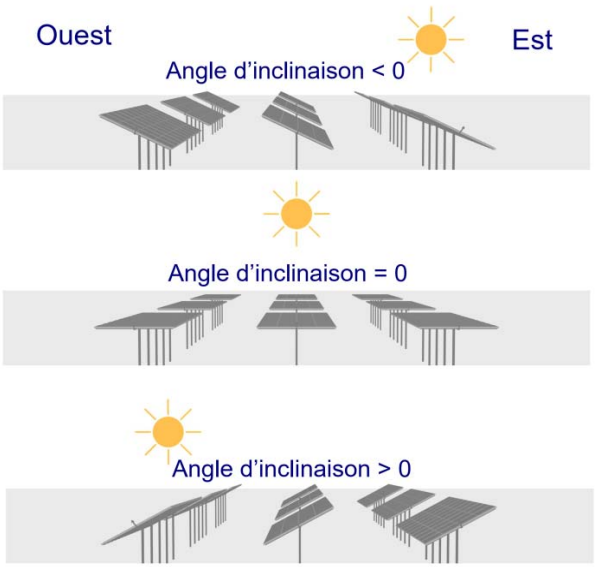
La fonction `MesureInclinaison()` renvoie l'inclinaison mesurée des panneaux.

Les variables `Consigne` et `Mesure` peuvent évoluer de -60,0° à +60,0° avec une précision de 0,1°

Question C.3
DRS2

Choisir le type des variables `Consigne` et `Mesure` parmi BOOLÉEN, OCTET, ENTIER, FLOTTANT et **compléter** la ligne correspondante de l'algorithme de positionnement des panneaux sur le document réponses DRS2.

L'angle d'inclinaison est négatif lorsque les panneaux sont orientés vers l'Est, nul lorsque les panneaux sont à l'horizontal et positif lorsque les panneaux sont orientés vers l'Ouest.



La fonction `Moteur(Est)` active la rotation des panneaux dans le sens horaire alors que la fonction `Moteur(Ouest)` active la rotation des panneaux dans le sens anti-horaire.

La fonction `Moteur(Arrêt)` stoppe la rotation du moteur.



Moteur(Ouest)



Moteur(Est)

Le moteur se met en rotation lorsque la différence entre l'inclinaison optimale des panneaux et l'inclinaison mesurée est supérieure à 0,5°

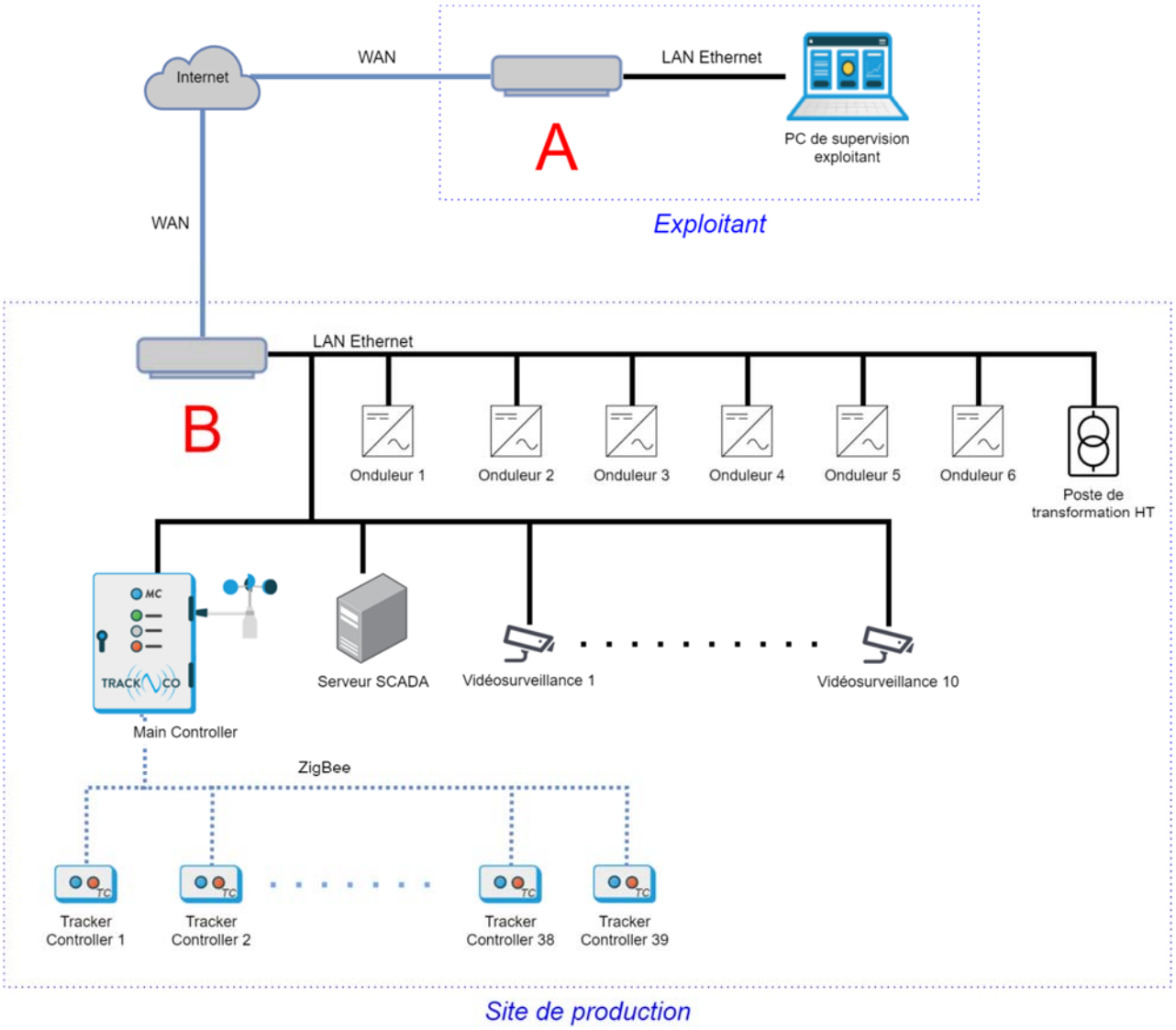
Question C.4
DRS2

Compléter l'algorithme de positionnement des panneaux sur le document réponses DRS2.

Question C.5
DRS2

Compléter le tableau de comportement du moteur sur le document réponses DRS2.

Partie D : comment les informations du site de production sont-elles accessibles par le PC de supervision de l'exploitant ?



Question D.1 | **Nommer** les équipements **A** et **B** du synoptique réseau ci-dessus. **Indiquer** leur fonction.

La communication entre le « Main Controller » et les « Tracker Controller » utilise la technologie sans fil ZigBee.

Question D.2 | En vous basant sur les documents techniques DTS5 et DTS6, **justifier** pourquoi le constructeur s'est orienté vers une communication ZigBee plutôt que Bluetooth ou Wi-Fi.

DTS5
DTS6

La trame MODBUS TCP-IP suivante a été émise par le serveur SCADA sur le réseau local. Les données sont codées en hexadécimal.

```
AA AA AA AA AA AA AA AB  00 30 DF 23 E3 BB 00 80
F1 03 8B A7 08 00 45 00  00 34 13 88 00 00 64 06
31 96 C0 A8 C8 14 C0 A8  C8 64 13 88 01 F7 00 27
C9 1A 00 00 00 00 50 02  08 00 48 F7 00 00 5A 6C
00 00 00 06 FF 03 15 01  00 01 E5 20 70 4E
```

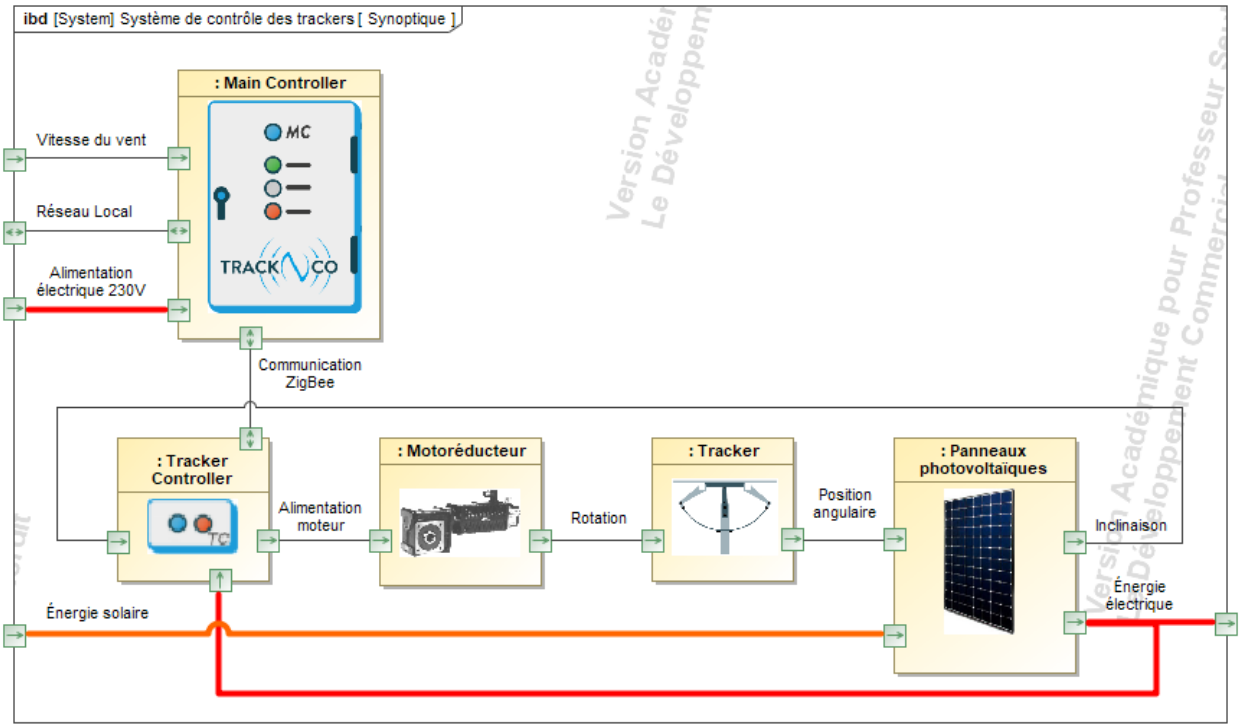
Question D.3 (DTS7) | En vous aidant du document technique DTS7, **relever** l'adresse IP du destinataire du message. **Exprimer** cette adresse en hexadécimal et en notation décimale pointée.

Partie E : conclusion de l'étude

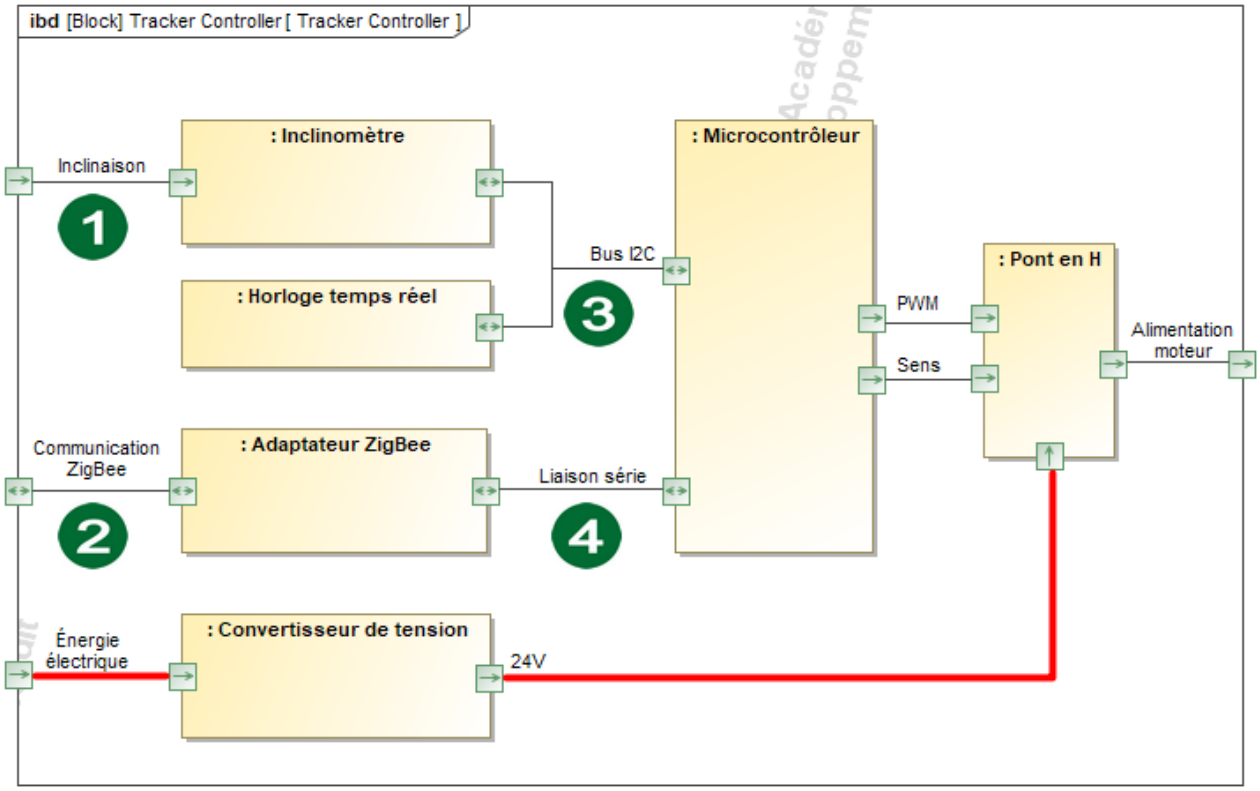
Le serveur SCADA interroge régulièrement tous les équipements du site de production (onduleurs, poste de transformation, Main Controller…) afin de centraliser toutes les données qui seront récupérées par le PC de supervision de l'exploitant.

Question E.1 | **Conclure** en indiquant la succession des équipements parcourus par la « mesure d'inclinaison d'un tracker » depuis un inclinomètre jusqu'au PC de supervision de l'exploitant.

Document technique DTS1 : diagramme de définition de blocs (IBD) du système de contrôle des trackers



Document technique DTS2 : diagramme de définition de blocs (IBD) du Tracker Controller



Document technique DTS3 : le bus I2C

Le bus I2C (Inter Integrated Circuit) permet de relier facilement les différents circuits d'une carte électronique. Seuls deux fils (plus la masse) sont nécessaires pour interconnecter les circuits : **SDA** pour les données et **SCL** pour l'horloge de synchronisation.

Le bus I2C autorise l'utilisation de 4 vitesses de transmission :

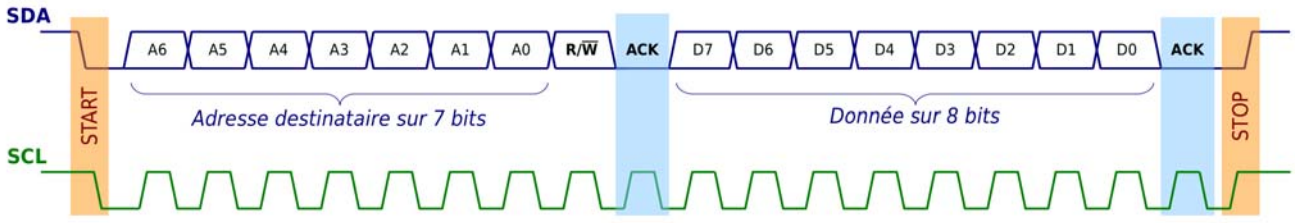
- Standard-mode : 100 kbit·s^{-1}
- Fast-mode : 400 kbit·s^{-1}
- Fast-mode Plus : 1 Mbit·s^{-1}
- High-speed mode : 3,4 Mbit·s^{-1}

Protocole :

- Chaque circuit possède une adresse prédéfinie codée sur 7 bits.
- Au repos, les signaux SDA et SCL sont maintenus à l'état haut.
- Toutes les données transmises sur le bus sont des octets, la transmission commence par le bit de poids fort.
- Le signal SCL synchronise les échanges. L'état de SDA doit être lu pendant l'état haut de SCL.

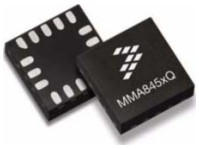
Principe de la communication :

- Le circuit maître prend le contrôle du bus en générant une condition de départ **START** : SDA passe à 0 pendant que SCL est à 1.
- Il transmet ensuite les **7 bits d'adresse** du circuit avec lequel il veut communiquer suivi du bit de direction : **R/W**=0 s'il veut écrire ou **R/W**=1 s'il veut lire.
- Chaque octet transmis est suivi d'un acquittement **ACK** : **l**e circuit destinataire positionne SDA à 0 pendant que SCL est à 1.
- Pour terminer la communication, le circuit maître génère une condition d'arrêt **STOP** : SDA passe à 1 pendant que SCL est à 1.



Document technique DTS4 : inclinomètre

Le MMA8451Q est un accéléromètre numérique 3 axes qui est utilisé pour mesurer l'inclinaison des panneaux solaires.



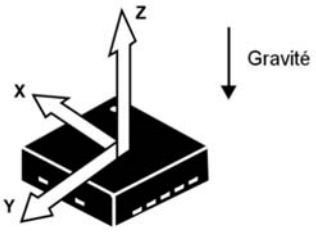
Caractéristiques :

- Résolution 14 bits
- Précision de mesure : 0,00025 g
- Communication I2C
- Adresse : 0x1C ou 0x1D selon le niveau logique de la broche SA0

<u>Remarque :</u> les documentations des accéléromètres expriment en « g » (environ 9,81 m·s^{-2}) l'accélération (comme celle causée par la gravitation terrestre).

Principe de mesure :

L'accéléromètre est sensible à la fois à l'accélération linéaire (détection des mouvements du capteur) et à la gravité terrestre (mesure de l'orientation de l'accéléromètre).



Pour calculer l'angle d'inclinaison sur un axe il faut appliquer la formule suivante :

angle = asin(accélération)

avec :

- angle en °
- accélération en g

<u>Rappel :</u> asin(accélération) correspond à l'arc sinus de l'accélération.

Communication I2C :

Lorsque l'inclinomètre est interrogé, il renvoie 6 octets qui correspondent à l'accélération mesurée sur les 3 axes :

Accélération sur l'axe x		Accélération sur l'axe y		Accélération sur l'axe z	
OUT_X_MSB	OUT_X_LSB	OUT_Y_MSB	OUT_Y_LSB	OUT_Z_MSB	OUT_Z_LSB

L'accélération est codée sur 14 bits, les 2 bits de poids faible fixés à 0 sont inutilisés :

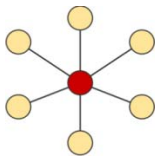
MSB								LSB							
D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	0	0

Document technique DTS5 : comparatif des technologies sans fil

	Bluetooth	Wi Fi	ZigBee
Vitesse de transfert	1-3 Mbit·s^{-1}	11-1000 Mbit·s^{-1}	20-250 kbit·s^{-1}
Consommation	72 µW	0,2 W	90 µW
Fréquence	2,4 GHz	2,4 GHz / 5 GHz	2,4 GHz
Portée	10 m	jusqu'à 300 m	300 m
Topologie	Étoile	Étoile	Étoile Réseau maillé
Standard	802.15.1 (BT1.x)	802.11a/b/g/n/ac	802.15.4

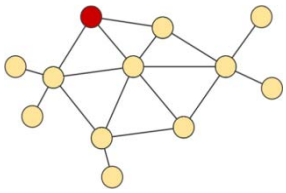
Topologie en étoile :

Les équipements sont reliés à un nœud central qui assure la communication entre les différents équipements.

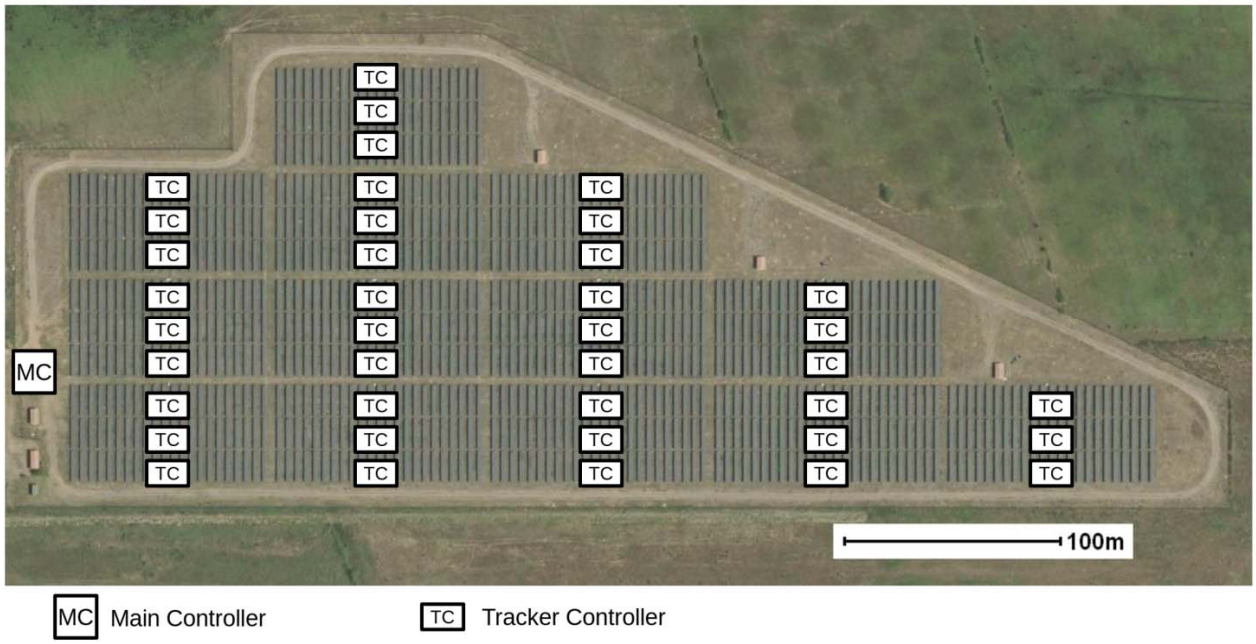


Topologie en réseau maillé :

Les équipements forment une structure en forme de filet. Chaque équipement reçoit, envoie et relaye les données. Ceci étend la portée du réseau sans avoir à ajouter de répéteur.



Document technique DTS6 : plan d'implantation des équipements



Document technique DTS7 : structure d'une trame MODBUS TCP-IP

La trame MODBUS est encapsulée dans une trame Ethernet TCP-IP :

En-tête Ethernet	En-tête IP	En-tête TCP	Trame MODBUS	Contrôle d'erreur
22 octets	20 octets	20 octets	12 octets	4 octets

En-tête Ethernet	8 octets	Préambule + SFD
	6 octets	Adresse MAC de destination
	6 octets	Adresse MAC de la source
	2 octets	Type de données

En-tête IP	1 octet	Version (4 bits) + Longueur d'entête (4 bits)
	1 octet	Type de service
	2 octets	Longueur totale
	2 octets	Identification
	2 octets	Drapeau (3 bits) + Position fragment (13 bits)
	1 octet	Durée de vie
	1 octet	Protocole
	2 octets	Somme de contrôle de l'entête IP
	4 octets	Adresse IP source
	4 octets	Adresse IP destination

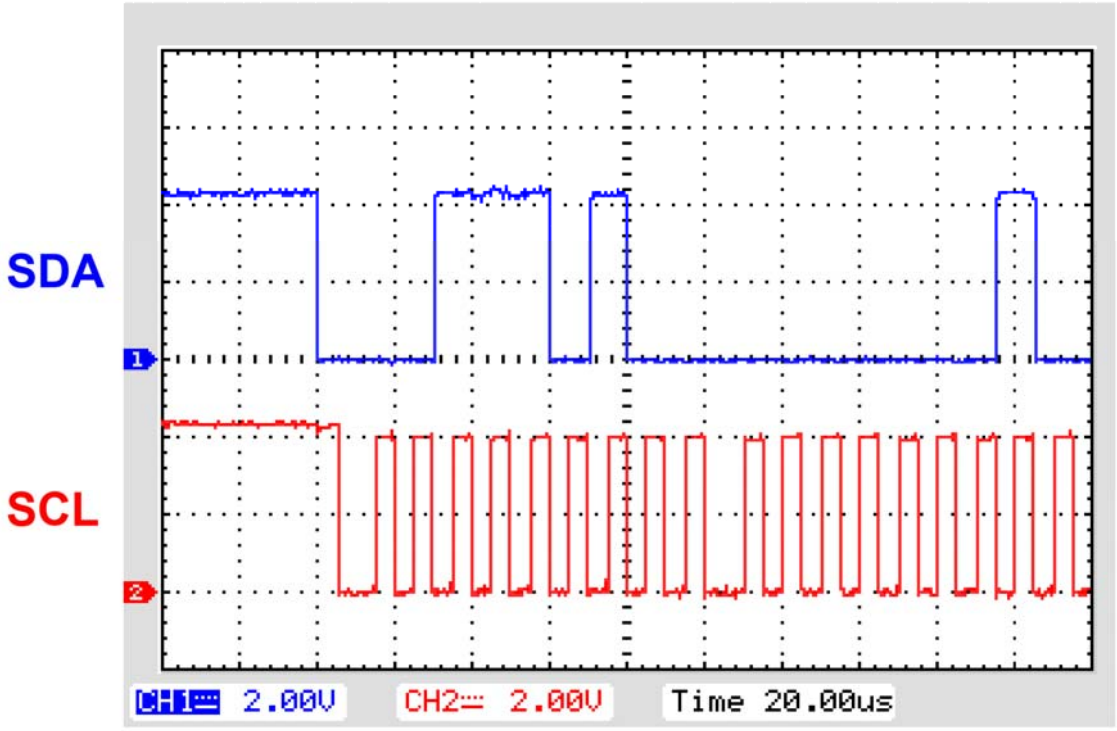
En-tête TCP	2 octets	Port Source
	2 octets	Port Destination
	4 octets	Numéro de séquence
	4 octets	Numéro d'acquittement
	2 octets	HLEN (4 bits) + réservé (6 bits) + codes (6 bits)
	2 octets	Fenêtre
	2 octets	Somme de contrôle de l'entête TCP
	2 octets	Pointeur de données d'urgence

Trame MODBUS	7 octets	En-tête MODBUS
	1 octet	Code Fonction
	4 octets	Données

Contrôle d'erreur	4 octets	CRC32

Document réponses DRS1 :

Oscillogramme de la communication I2C entre le microcontrôleur et l'inclinomètre



base de temps : 20µs par carreau

Question A.3 :

fréquence d'horloge :	
vitesse et mode de transmission :	

Question A.4 : sur l'oscillogramme.

Question A.5 :

en binaire :	
en hexadécimal :	

Document réponses DRS2 :

Algorithme de positionnement des panneaux :

Questions C.3 et C.4 :

```
VARIABLES                                              Question C.3 ↓
  ConsigneInclinaison et MesureInclinaison de type [          ]

DÉBUT
  Consigne ← Inclinaison(p1,p2,p3,p4,p5)
  Mesure ← MesureInclnaison()
  TANT QUE (Consigne - Mesure) > 0.5 FAIRE
    Moteur(Ouest)
    Mesure ← MesureInclnaison()
  FIN TANT QUE                          ↓ Question C.4
  TANT QUE [                                        ] FAIRE
    Moteur(Est)
    Mesure ← MesureInclnaison()
  FIN TANT QUE
  Moteur(Arrêt)
FIN
```

Comportement du moteur :

Question C.5 :

Consigne	+26°	+26°	+26°	+24°
Mesure	+24,7°	+25,5°	+25,8°	+25,8°
Consigne - Mesure				
Moteur(Ouest) ou Moteur(Est) ou Moteur(Arrêt)				