Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

SYSTÈMES D'INFORMATION ET NUMÉRIQUE

Durée de l'épreuve : **4 heures**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 34 pages numérotées de 1/34 à 34/34.

Constitution du sujet :

Partie commune (durée indicative 2h30)	12 points
Partie spécifique (durée indicative 1h30)	8 points

- **La partie commune comporte 6 parties dont 2 au choix.**

À traiter obligatoirement	**À traiter au choix**
Partie commune : • partie 1 • partie 2 • partie 3 • partie 6	**Partie commune :** • soit la partie 4 • soit la partie 5 **Une seule de ces 2 parties doit être traitée**

- **La partie spécifique comporte 5 parties qui sont toutes à traiter obligatoirement.**

Tous les documents réponses sont à rendre avec la copie

PARTIE commune (2,5h) …… 12 points

CENTRALE PHOTOVOLTAIQUE DE PORETTE DE NÉRONE



- Présentation de l'étude et questionnement..... pages 2 à 11
- Documents techniques DT1 à DT3..... pages 12 à 13
- Documents réponses DR1 à DR7..... pages 14 à 19

MISE EN SITUATION

L'objectif des pouvoirs publics français et de l'Union Européenne est que les énergies renouvelables représentent 40% de l'électricité totale consommée en France à l'horizon 2030 (engagements COP21).



Dans un contexte de raréfaction des hydrocarbures, de lutte contre le changement climatique et des besoins locaux en électricité, la centrale photovoltaïque de Porette de Nérone, située en Corse, s'étale sur 7,8 ha et produit près de 5700 MW·h par an.

De plus, pour tenir les engagements de réduction des émissions de gaz à effet de serre, le développement des énergies renouvelables doit être réalisé dans des conditions de haute qualité environnementale. Ainsi, il convient de respecter la biodiversité, le patrimoine, le paysage, la qualité des sols, de l'air et de l'eau et de limiter les conflits d'usage avec les autres activités socio-économiques.

Partie 1 : pourquoi implanter la centrale à Porette de Nérone ?

L'objectif de cette partie est de valider les choix qui ont conduit à l'élaboration de cette centrale photovoltaïque sur le site de Porette de Nérone.

Question 1.1 Mise en situation DT1	À l'aide de la mise en situation et du DT1, **citer** trois éléments qui ont conduit à choisir le site de Porette de Nérone.
Question 1.2	**Justifier** l'utilisation de l'unité « tep » tonne équivalent pétrole dans les études d'installations d'énergies renouvelables. D'après les informations données dans la mise en situation, **calculer** le nombre de tep qui correspondrait à la production annuelle de la centrale sachant que 11,63 MW·h ⇔ 1 tep.

L'éthanol actuel est un biocarburant de 1ère génération avec une productivité annuelle maximale de 2,58 tep par hectare. A un horizon plus éloigné les biocarburants de 2ème génération auront des productivités pouvant atteindre jusqu'à 7,5 tep par hectare.

Question 1.3 | **Calculer** l'énergie produite si le site était exclusivement utilisé pour cultiver des biocarburants de 2ème génération. **Exprimer** le résultat en tep par an.

L'électricité produite grâce à la centrale de Porette de Nérone est injectée dans le réseau local de la ville d'Aléria. La consommation moyenne d'un habitant est de 2 300 kW·h par an.

Question 1.4 | **Déterminer** le nombre d'habitants que la centrale peut alimenter annuellement. **Comparer** ce résultat avec les 1957 habitants d'Aléria.

Un accord avec EDF garantit un prix de rachat de l'électricité de 0,15 € par kW·h durant une période minimale de 20 ans. La moyenne annuelle de production s'élève à 5 680 MW·h. Le coût de construction de la centrale est de 11,8 millions d'euros. L'exploitant doit payer à la collectivité une taxe locale de 106 500 euros par an. On cherche à vérifier que l'investissement de construction de la centrale sera bien amorti avant la fin de l'obligation de rachat de l'électricité par EDF.

Question 1.5 | Sur le document DR1 :

DR1

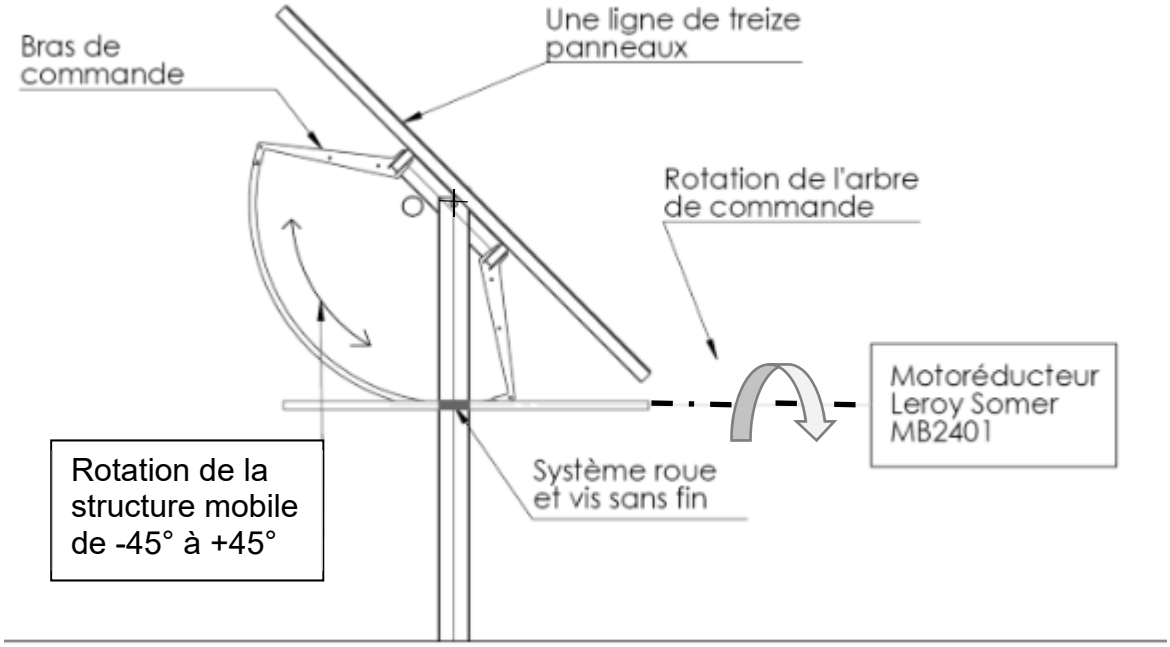
- **reporter** le coût total de l'investissement ;
- **calculer**, sur un an et sur 20 ans, les dépenses et les recettes.

Question 1.6 | **Calculer** le gain sur 20 ans et **conclure** sur la rentabilité de la centrale.

Partie 2 : comment optimiser la position des panneaux photovoltaïques ?

Le système de tracking de la centrale de Porette de Nérone est constitué d'une structure fixe liée au sol et d'une structure mobile en liaison pivot avec la structure fixe.

L'utilisation de trackers dans une centrale photovoltaïque permet un gain de production d'énergie d'environ 15 %.



Le système de tracking permet d'orienter tous les panneaux photovoltaïques de manière à les positionner le plus longtemps possible perpendiculairement aux rayons du soleil. La problématique est de trouver la meilleure orientation tout au long de la journée.
Le mouvement est assuré par un motoréducteur Leroy Somer, qui entraîne en rotation l'arbre de commande, et par un système roue et vis sans fin qui provoque la rotation de la structure mobile.

Question 2.1 DR2	Le document DR2 représente l'implantation de deux lignes successives de panneaux solaires. **Tracer** le rayon du soleil passant par le point A à 9 heures du matin.
Question 2.2 DR2	**Représenter** la zone d'ombre produite sur le panneau 2 à 9 heures. **Conclure** sur l'impact de cette zone d'ombre en donnant le pourcentage de la surface éclairée par rapport à la surface totale.
Question 2.3 DR2	Sur le schéma du DR2 représentant le panneau 2 incliné à 45°, **déterminer** l'heure à laquelle l'ombrage disparait de sa surface.

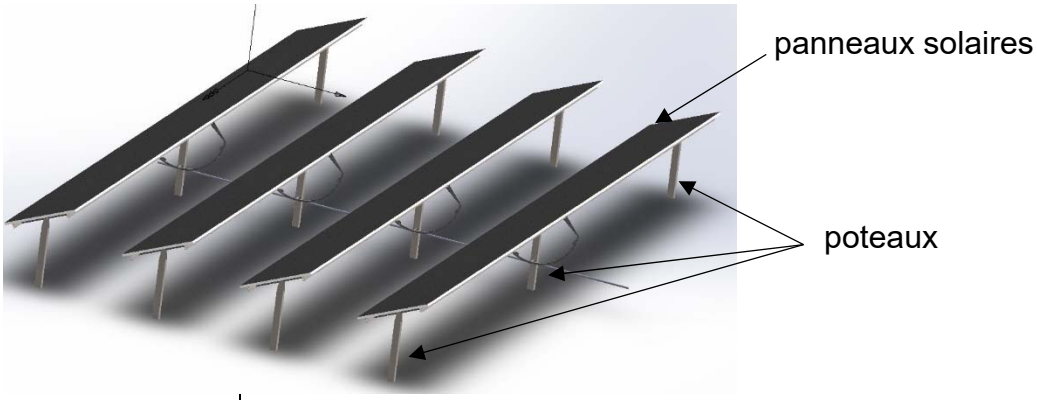
Sur le DR3, plusieurs inclinaisons des panneaux solaires sont proposées en pointillés (de -45° à -10°).

Question 2.4 DR3	**Déterminer,** en traçant le rayon du soleil, l'inclinaison des panneaux photovoltaïques permettant de ne pas avoir d'ombrage à 9h du matin. **Relever** la valeur de l'angle d'inclinaison des panneaux correspondant.

Question 2.5 DR3	**Déterminer** sur quelle période horaire de la matinée le système fonctionne en backtracking (annulation automatique de l'ombrage); **Déterminer** sur quelle période horaire de la matinée le système fonctionne en tracking (positionnement du panneau perpendiculaire au soleil).

Partie 3 : comment répartir les panneaux photovoltaïques sur le terrain ?

Le fabriquant assemble des blocs de 9 lignes de 13 panneaux. Chaque bloc est mis en mouvement par un système de tracking. Ces blocs ont un encombrement au sol de 15 m par 50 m. La surface disponible du terrain est de 78 000 m².



Question 3.1	**Calculer** le nombre de panneaux photovoltaïques par bloc.

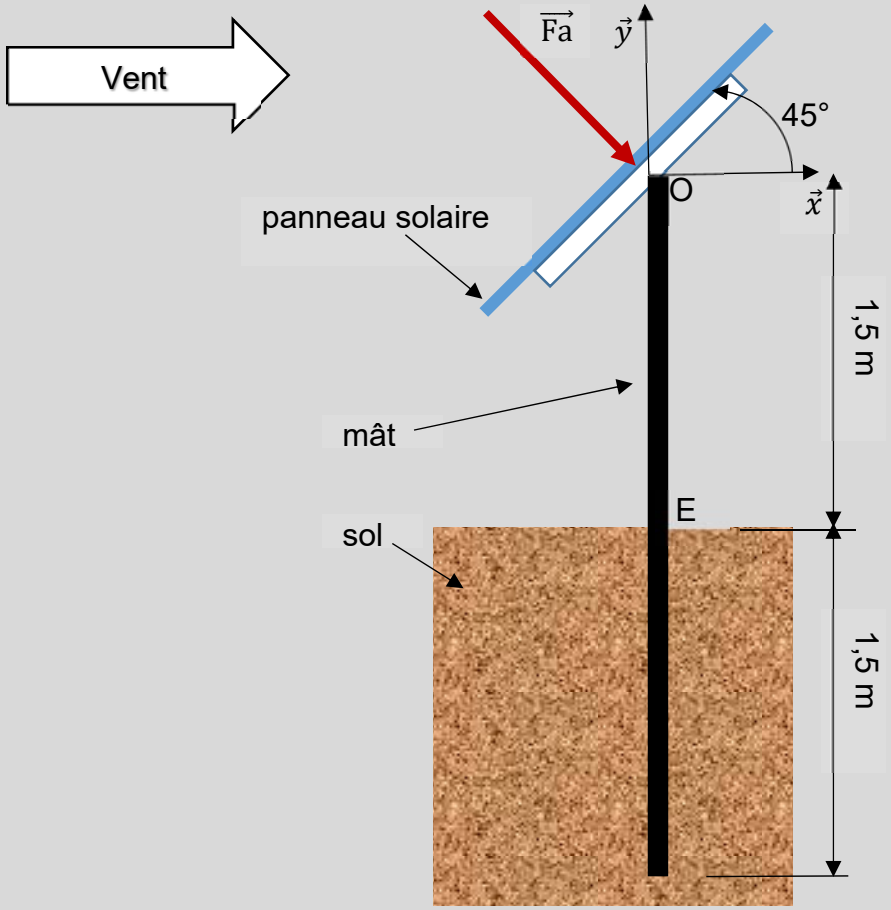
Question 3.2	**Calculer** la surface d'un bloc puis le nombre théorique de blocs qu'il serait possible d'implanter sur le terrain.

Compte tenu de la forme du terrain et pour garder des surfaces de circulation, ce nombre théorique ne peut pas être atteint. La centrale de Porette de Nérone comporte en réalité 101 blocs. Le plan du terrain est donné sur le document réponse DR4. Les blocs sont implantés sur des bandes de 50 m de large. Un premier bloc est positionné pour préciser l'orientation choisie.

Question 3.3 DR4	**Proposer** une implantation des 101 blocs en définissant le nombre de blocs par bande. Le raisonnement peut être mené soit par le calcul, soit graphiquement.
Question 3.4 DT2	**Calculer** le nombre total de panneaux solaires implantés sur le terrain. Le **comparer** au nombre donné dans le diagramme de définition de blocs de la centrale DT2.

Partie 4 : comment assurer l'ancrage des portiques en cas de vent extrême ?

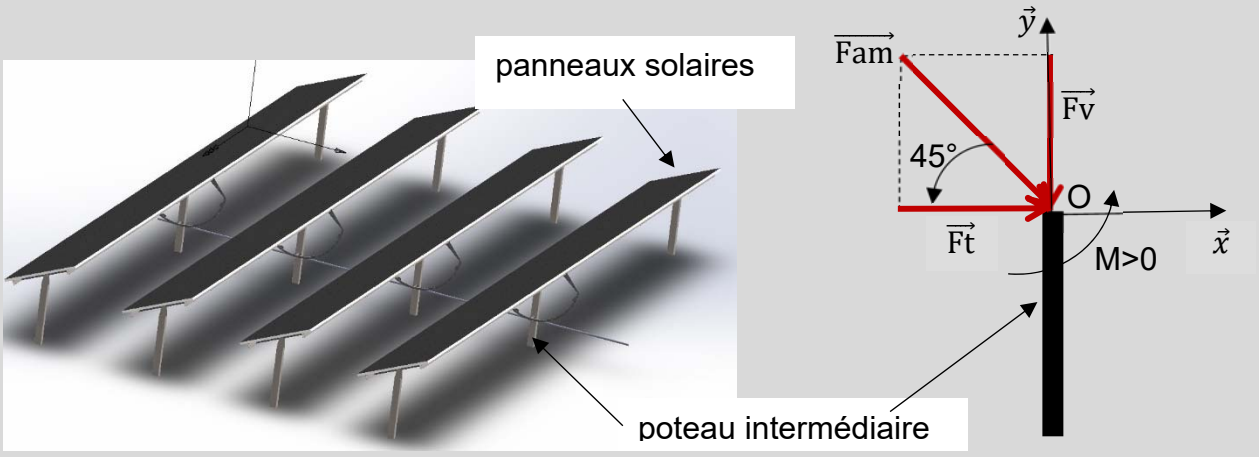
Dans cette partie, on cherche à vérifier que les ancrages des portiques (éléments de structure supportant les panneaux) pourront supporter les conditions de vent extrême. Les panneaux solaires reposent par groupes de 13 sur un portique composé d'une poutre horizontale et de 3 poteaux en profil creux de 3 m de hauteur enfoncés de 1,5 m dans le sol.
Une étude menée à partir de l'Eurocode 1 (règlement européen pour le calcul des structures) montre que chaque panneau solaire peut être soumis à un vent extrême horizontal. Ce vent créé une action dite « aérodynamique » $\overrightarrow{Fa}$ perpendiculaire à chaque panneau, incliné à 45°, d'intensité Fa = 1 kN pour un panneau solaire.



Chaque panneau solaire reprend une action de 1 kN et chaque portique comporte 13 panneaux.

Question 4.1 | **Calculer** l'intensité de la charge totale F_p en kN, due au vent, reprise par un portique.

Chaque portique est supporté par 3 poteaux. Dans le cas extrême, le poteau intermédiaire reprend à lui seul la moitié de la charge totale calculée à la question précédente, notée $\overrightarrow{Fam}$, d'intensité F_{am}, inclinée à 45° par rapport à l'horizontal.



Question 4.2 | **Calculer** $F_{am} = F_p/2$, puis F_t, l'intensité de la résultante horizontale $\overrightarrow{Ft}$ de $\overrightarrow{Fam}$ (projection de $\overrightarrow{Fam}$ sur l'axe $\vec{x}$).

En déduire l'intensité F_v de la résultante verticale $\overrightarrow{Fv}$ de $\overrightarrow{Fam}$ (projection de $\overrightarrow{Fam}$ sur l'axe $\vec{y}$, voir schéma précédent).

Question 4.3 | **Expliquer** comment $\overrightarrow{Fv}$ agit sur le poteau lorsque le vent est face aux panneaux solaires.

En déduire ce qui se passe si le vent souffle par l'arrière, sa composante aérodynamique restant toujours perpendiculaire aux panneaux solaires.

La hauteur du poteau au-dessus du sol entre les points O et E est égale à 1,5 m. Le signe du moment est positif s'il est dans le sens trigonométrique.

Question 4.4	**Calculer** l'intensité M_E du moment $\overrightarrow{\overrightarrow{MFt/E}}$ créé au point E (pied du poteau intermédiaire) par $\overrightarrow{Ft}$. **Indiquer** comment ce moment agit sur l'ancrage du poteau.
Question 4.5	À partir des questions précédentes, **justifier** le choix technologique d'ancrer les poteaux de 1,5 m dans le sol.

Partie 5 : comment mesurer la vitesse du vent pour piloter le tracker ?

La structure de support des panneaux est dimensionnée pour supporter des vents allant jusqu'à 180 km·h^{-1}, mais les panneaux sont mis en sécurité en position horizontale à partir de 90 km·h^{-1}.

Afin de mesurer la vitesse du vent et d'assurer le fonctionnement normal de l'installation, deux stations météos sont installées sur le site. Elles sont équipées de capteurs de température en plus des anémomètres.

Question 5.1 DR5	À l'aide de la courbe caractéristique du DR5, **déterminer** la tension de sortie de l'anémomètre correspondant à un vent de 90 km·h^{-1}.

Afin d'être transmise sur le réseau, l'information sortant du capteur est numérisée par un convertisseur analogique numérique de 8 bits.

La plage de conversion est la suivante : 0000 0000 correspond à une tension de 0 V et 1111 1111 correspond à une tension de 10 V.

Question 5.2	**Déterminer** l'augmentation de tension nécessaire pour obtenir une augmentation de 1 du mot binaire.

La précision exigée du système de mesure est de plus ou moins 3 km·h^{-1}.

Question 5.3	**Vérifier** si ce convertisseur permet d'obtenir la précision exigée.

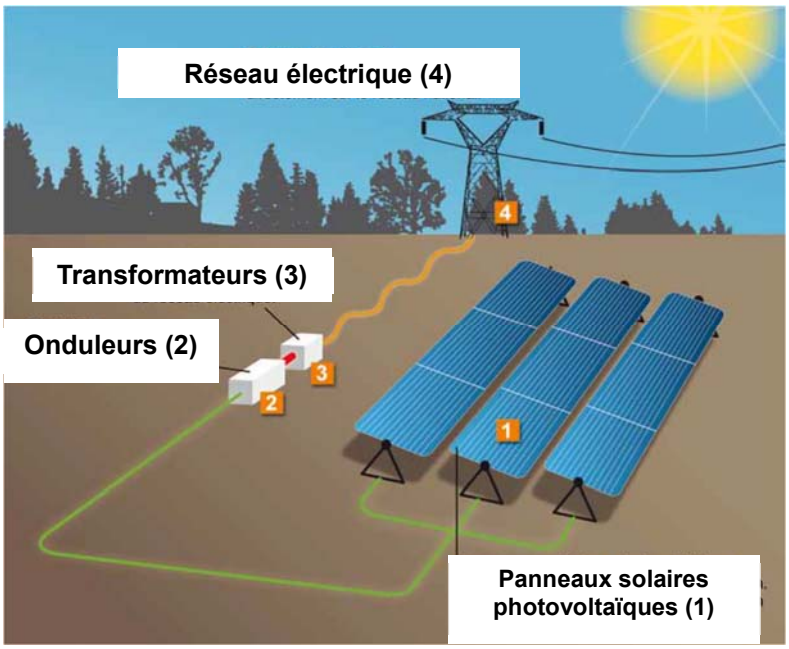
Afin d'être alerté en cas d'anomalie de fonctionnement et de suivre la production d'énergie solaire, le réseau local privé type Ethernet (LAN) est connecté à un autre réseau (WAN).

- Masque réseau local : 255.255.255.0
- IP station météo1 : 192.168.200.201
- IP contrôleur principal : 192.168.200.100

Question 5.4	**Déterminer** combien d'hôtes il est possible d'adresser avec ce masque.
Question 5.5	**Vérifier** si la station météo1 et le contrôleur principal appartiennent au même réseau. **Conclure** quant à leur possibilité de communiquer.

Partie 6 : comment assembler la chaîne de production d'énergie électrique ?

Schéma de principe de la centrale de Porette de Nérone



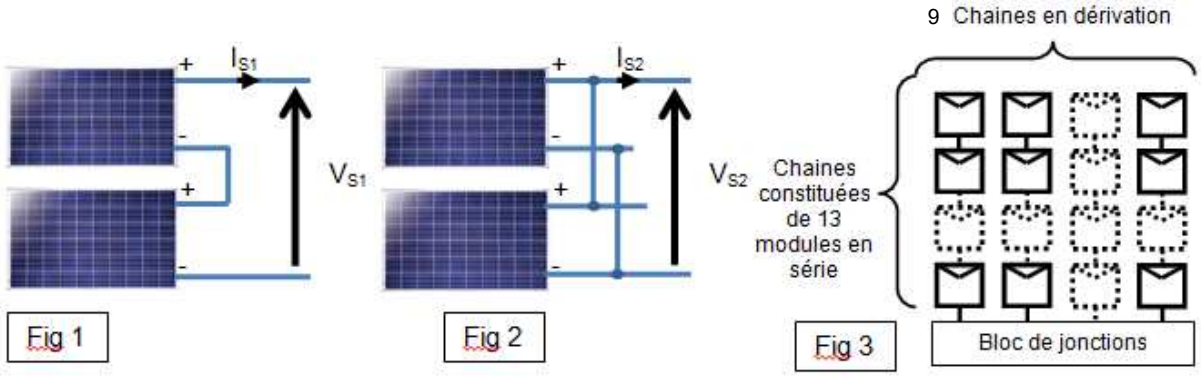
L'énergie solaire est captée par plusieurs alignements de modules photovoltaïques (1) qui la convertissent en électricité. Cette énergie électrique est modulée grâce à des onduleurs (2). Puis des transformateurs (3) élèvent la tension pour l'injecter sur le réseau (4).

Question 6.1 DT2, DR6	À partir de la présentation et du diagramme de définition des blocs de la centrale DT2, **compléter** le DR6 en indiquant : - le nombre d'éléments constituants la centrale ; - le type de courant électrique (AC ou DC) présent aux différents points de l'installation.
Question 6.2 DT3	À l'aide de la documentation technique DT3, r**elever** les dimensions du module solaire retenu et **calculer** sa surface.

Pour un ensoleillement de 1000 $W \cdot m^{-2}$, et une température de cellule de 25°C, la puissance nominale du module solaire est de 320 W.

Question 6.3 DT3	**Calculer** la puissance solaire reçue P_{RP} par un panneau dans ces conditions. **Calculer** le rendement de ce module photovoltaïque η_{PV}.

Les panneaux solaires peuvent être associés de façon élémentaire comme sur les figures 1 et 2 ci-dessous, la figure 3 représente les associations de panneaux solaires de la centrale étudiée :



En fonctionnement normal et pour un ensoleillement de 1000 $W \cdot m^{-2}$ la tension d'un module est de 54,7 V et le courant de 5,86 A (voir DT3).

Question 6.4	Pour les figures 1 et 2, **indiquer** le type d'association réalisé entre les panneaux photovoltaïques.

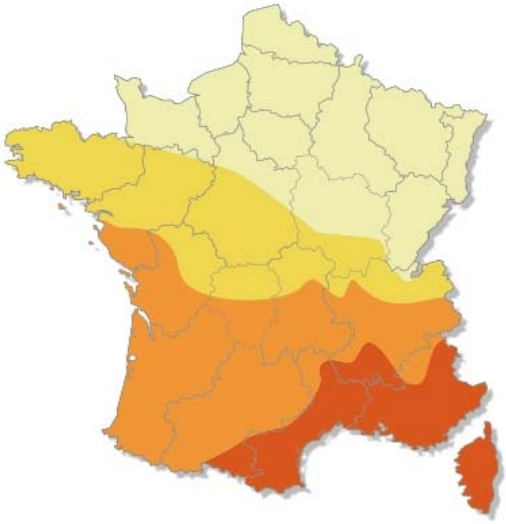
Un bloc est composé de 9 chaînes en parallèle, chaque chaîne étant elle-même composée de 13 modules en série, voir figure 3.

Question 6.5	En **déduire** la tension et le courant sortant du bloc de jonctions.

La centrale comporte 101 blocs de panneaux solaires reliés à 6 onduleurs.

Question 6.6 DR7	En répartissant au mieux la charge sur chaque onduleur, **déterminer** le nombre de blocs à relier à chaque onduleur en complétant le DR7 (le nombre de blocs peut être différent sur chaque ligne d'onduleur).
Question 6.7	**Déterminer** le courant d'entrée sur les onduleurs les plus chargés qu'impose cette répartition et **conclure** sur la puissance nominale d'un onduleur.

DT1: données d'ensoleillement et critères géographiques d'implantation en Corse

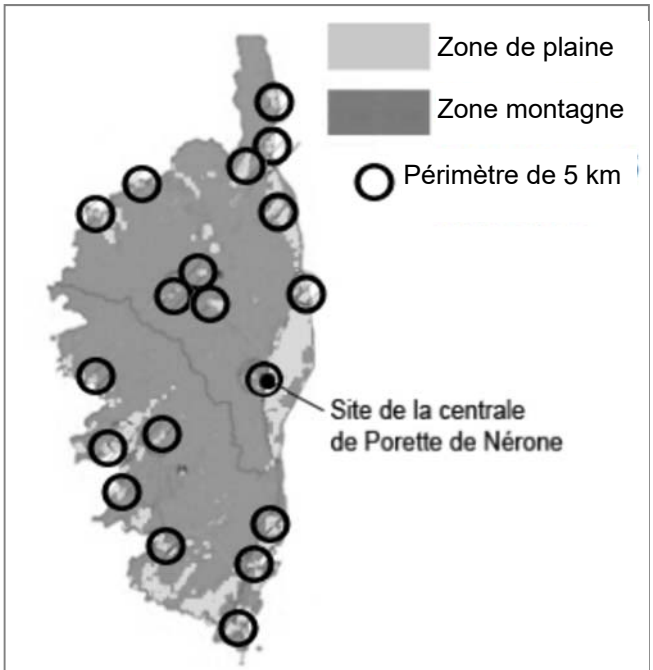


Carte N°1: ensoleillement horizontal en France

Wc : Le watt-crête est une unité représentant la puissance électrique maximale délivrée par une installation électrique solaire pour un ensoleillement standard de 1000W/m² à 25°C.

Dans un climat méditerranéen favorable au photovoltaïque, la durée de vie programmée de la centrale est de 20 ans minimum (la durée de vie des panneaux étant supérieure, l'exploitation de la centrale pourra se poursuivre). Cependant, les espaces laissés libres entre et sous les panneaux restent ouverts au pâturage.

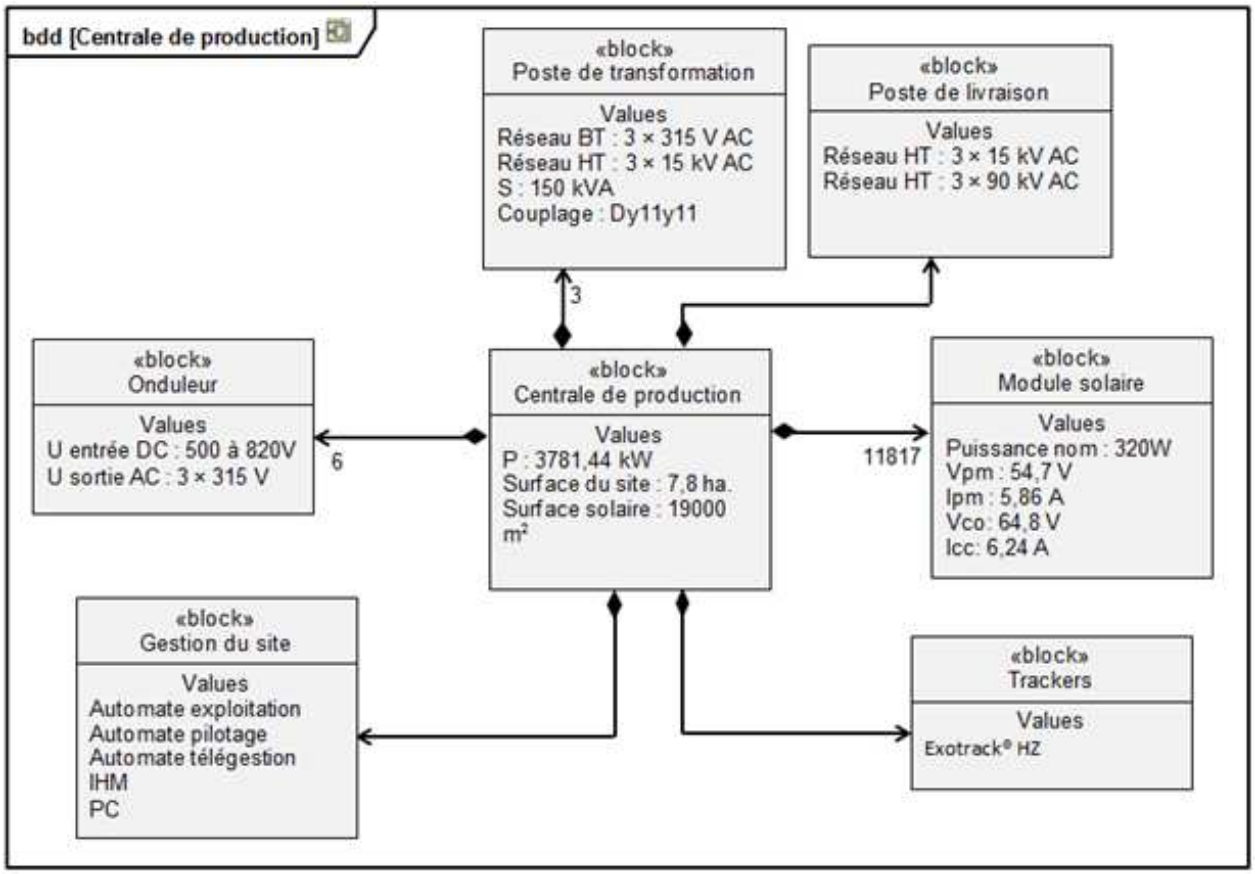
La carte ci-contre montre l'implantation potentielle de parcs photovoltaïques sur l'ensemble de la région Corse. Un certain nombre de critères ont été pris en compte, dont :



Carte N°2 : implantation potentielle

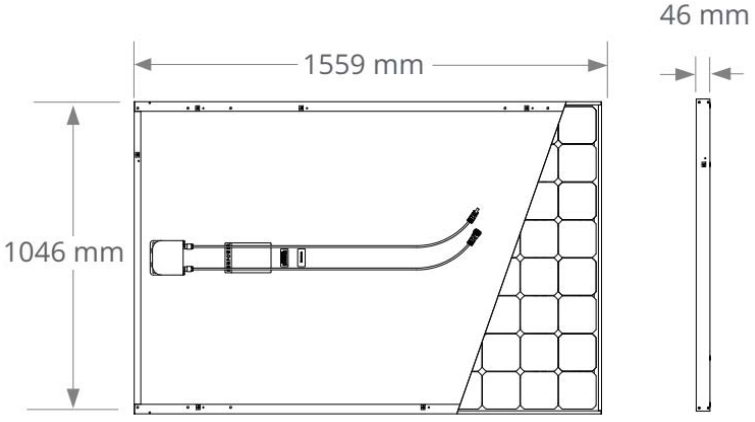
- le faible éloignement des postes source < 5 km. Des cercles de 5 kilomètres de rayon ont été tracés autour de chacun des postes de transformation électriques ;
- l'inclinaison du terrain (Pente < 6°) ;
- les zones protégées (Protection du littoral, …) ;
- les zones ombrées (Azimut 130° – 230°) ;
- les zones urbanisées.

DT2 : diagramme de définition de blocs de la centrale



DT3 : caractéristiques du module solaire SunPower® 320

Caractéristiques électriques (ensoleillement de 1000 W·m^{-2} et température de cellule de 25°C)		
Puissance nominale	P_{nom}	320 W
Rendement	η	19,6 %
Tension à puissance maximale	V_{pm}	54,7 V
Courant à puissance maximale	I_{pm}	5,86 A
Tension en circuit ouvert	V_{co}	64,8 V
Courant de court-circuit	I_{cc}	6,24 A



DOCUMENT RÉPONSE DR1

Question 1.5

	Investissement	Dépenses annuelles	Dépenses sur 20 ans	Recettes annuelles	Recettes sur 20 ans
Construction de la centrale					
Compensation financière liée aux impacts du projet	110 000 €				
Enfouissement de la ligne électrique sur 5 km.	390 000 €				
Taxe locale					
Maintenance		83 500 €			
Rachat EDF					
Total					

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

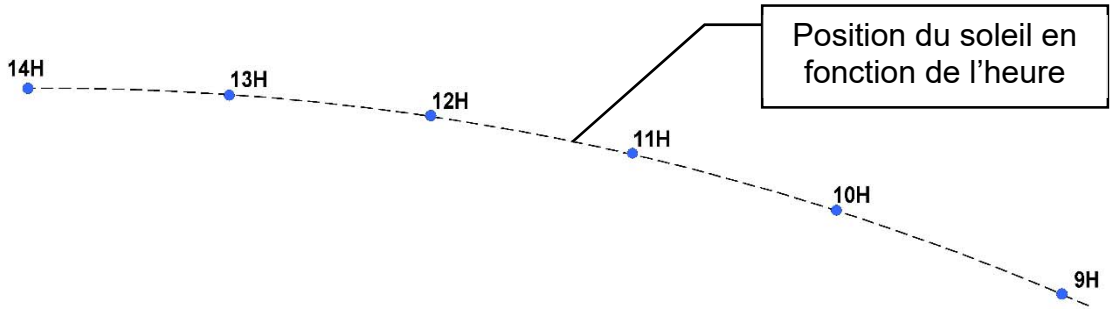
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

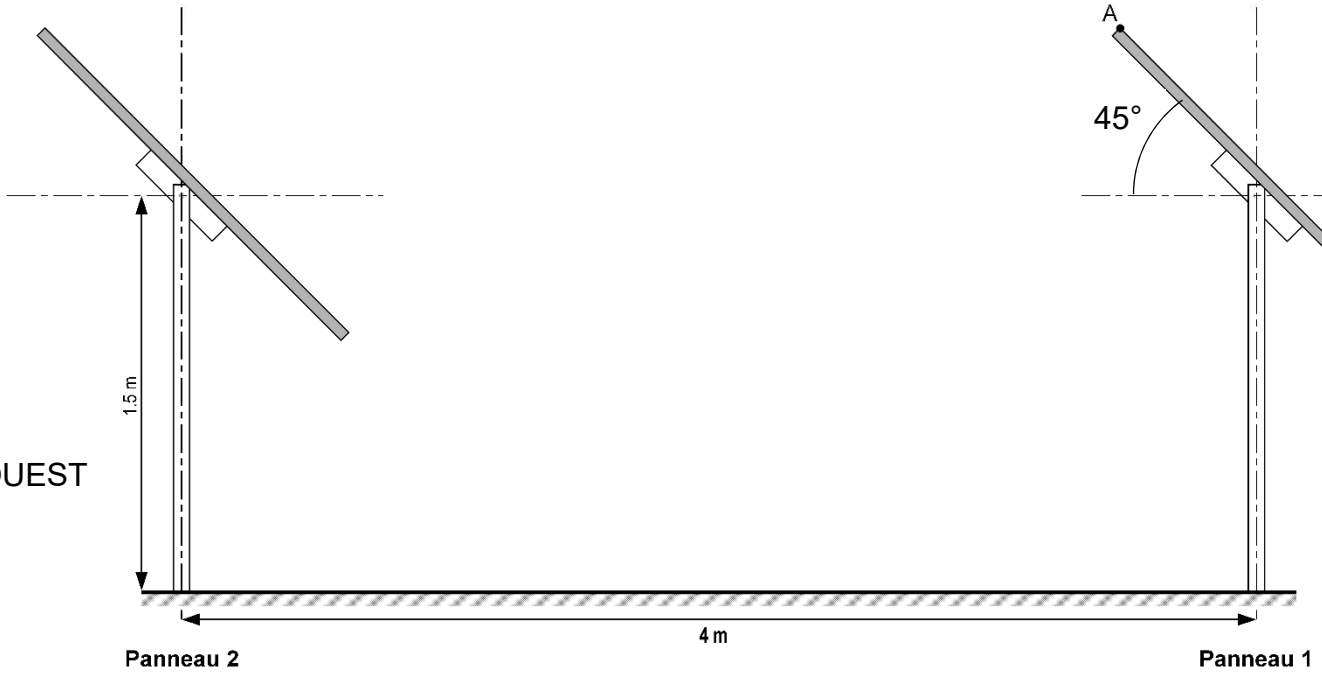
Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DOCUMENT RÉPONSE DR2

Question 2.1 – 2.2 – 2.3





Orientation OUEST

Orientation EST

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

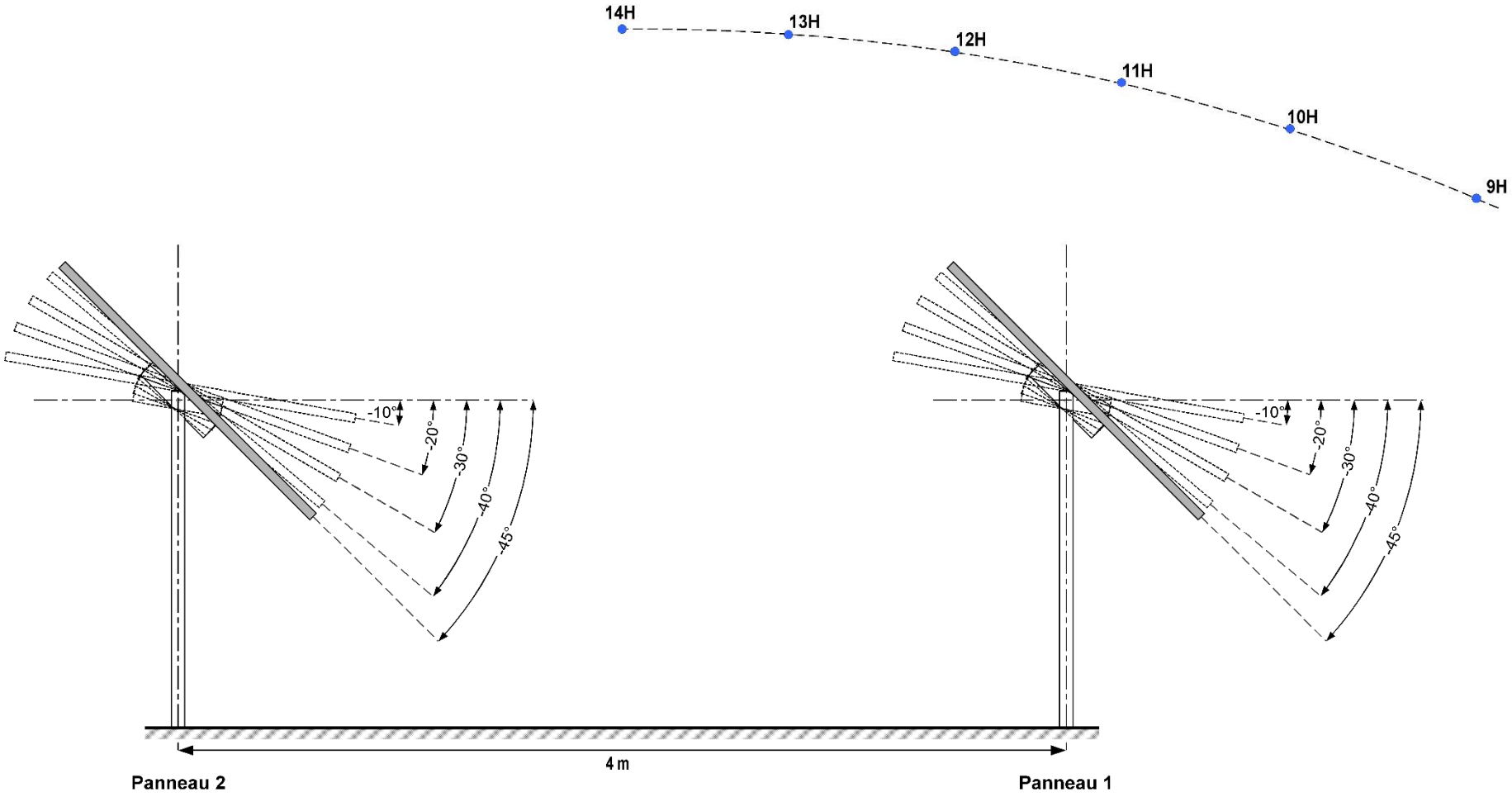
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DOCUMENT RÉPONSE DR3

Question 2.4 – 2.5



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

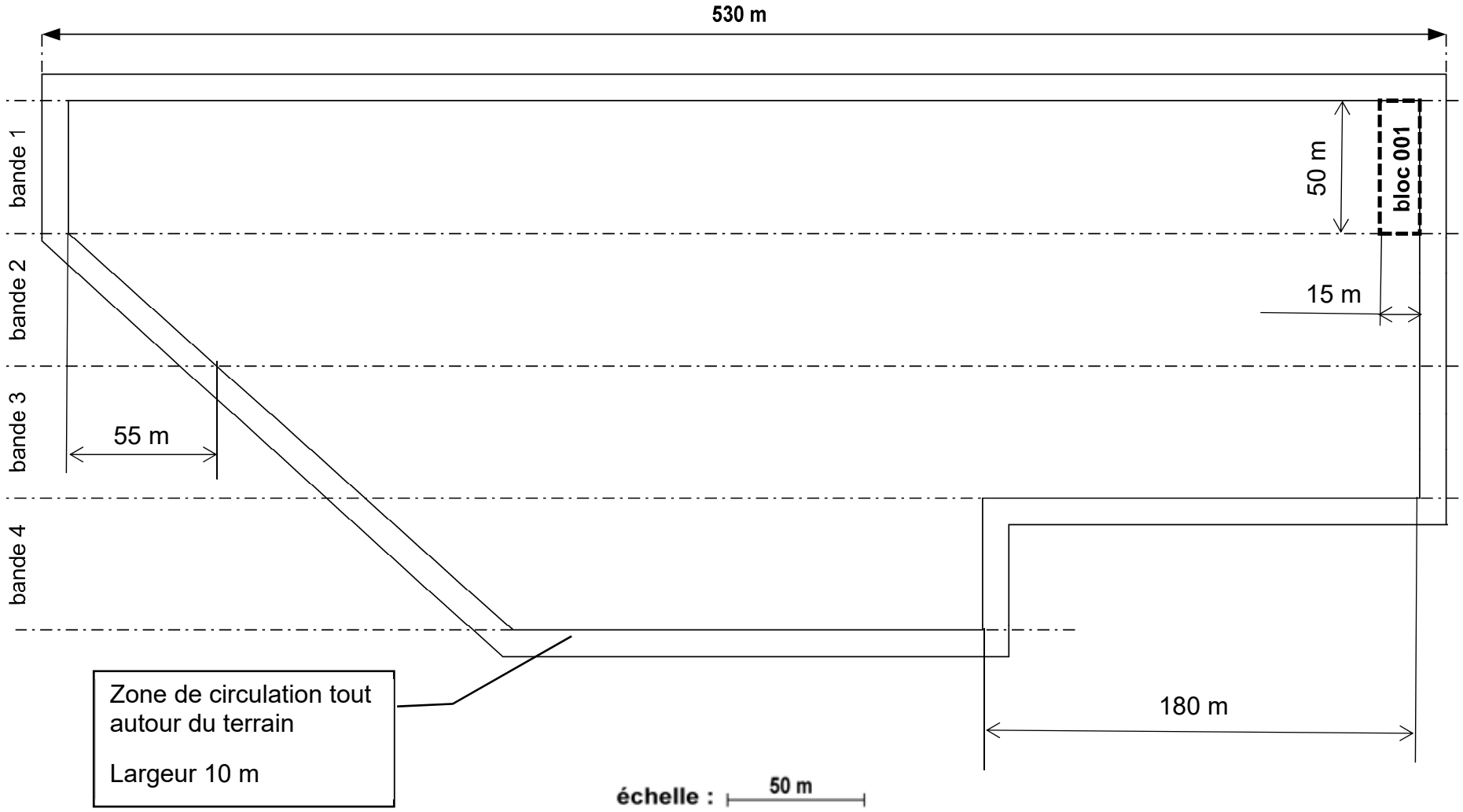
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DOCUMENT RÉPONSE DR4

Question 3.4



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

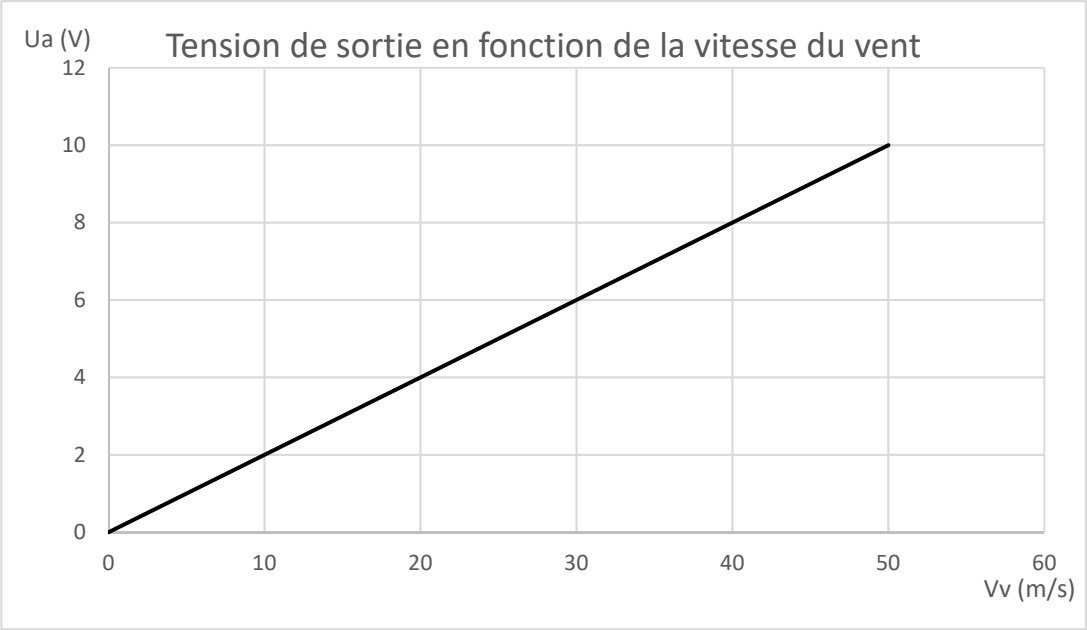
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DOCUMENT RÉPONSE DR5

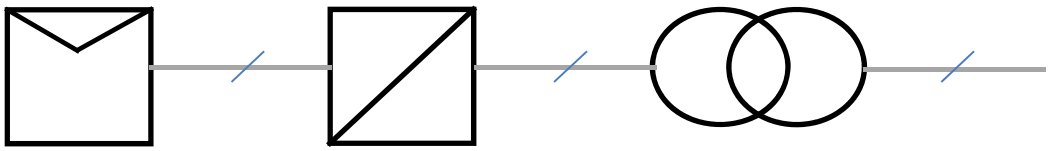
Question 5.1



Courbe caractéristique de l'anémomètre

DOCUMENT RÉPONSE DR6

Question 6.1



	Modules photovoltaïques		**Onduleurs**		**Transformateurs**	
Nombres de composants	.....		.....		.....	
Type de courant électrique	Sortie		Entrée	Sortie	Entrée	Sortie .....

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

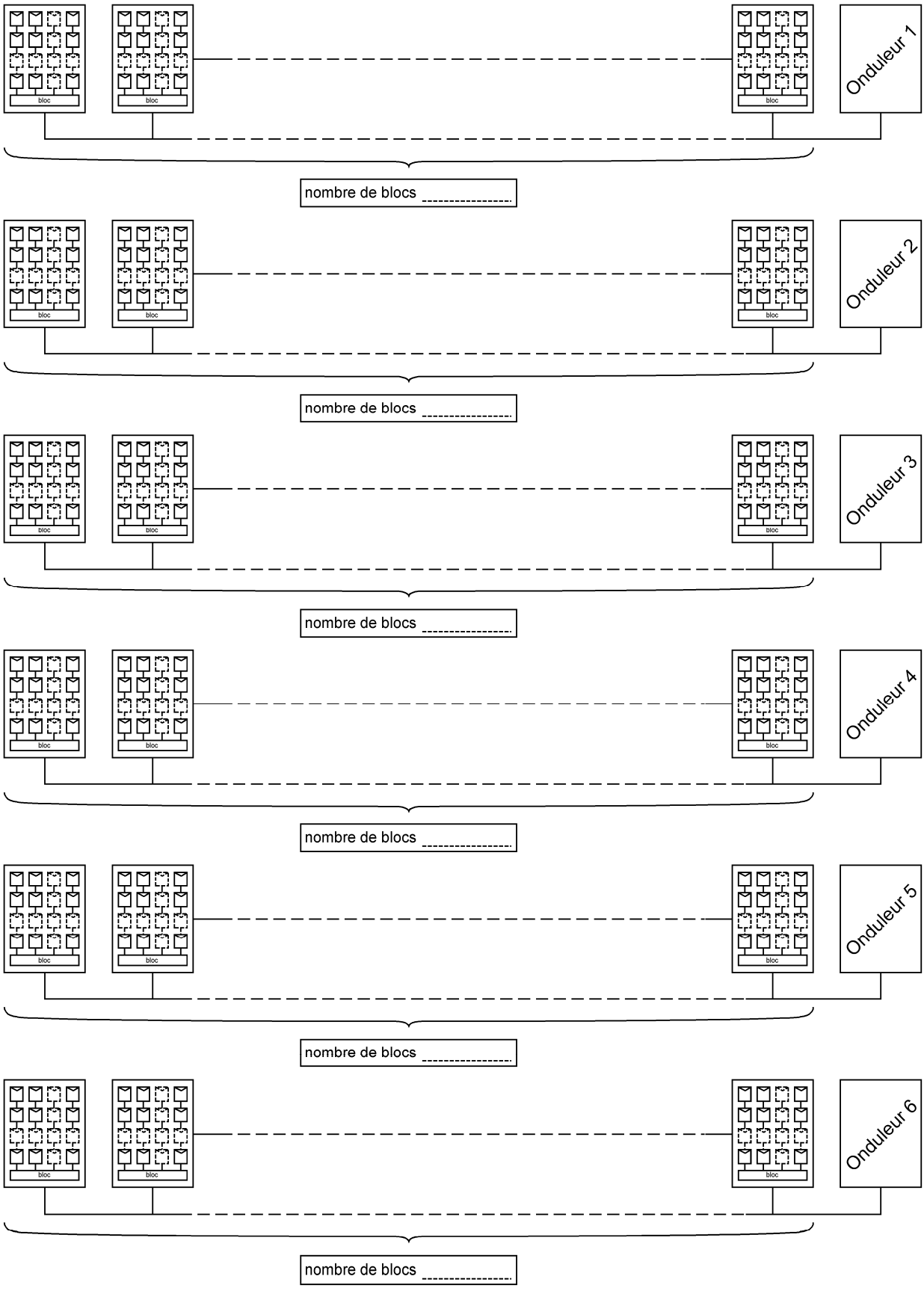
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DOCUMENT RÉPONSE DR7

Question 6.6



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

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

Systèmes d'Information et Numérique

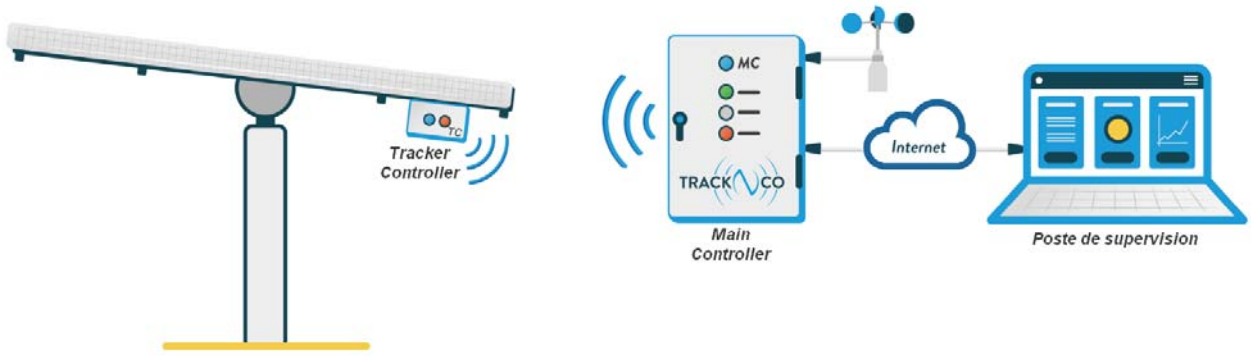
Système de contrôle des trackers solaires



- **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).

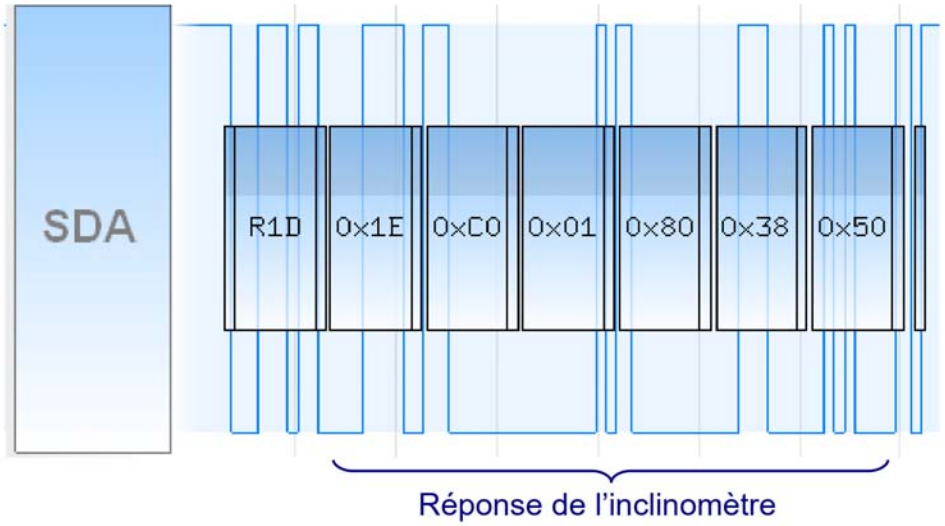
L'adresse de l'inclinomètre peut être configurée soit à 1C, soit à 1D (en hexadécimal).

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.

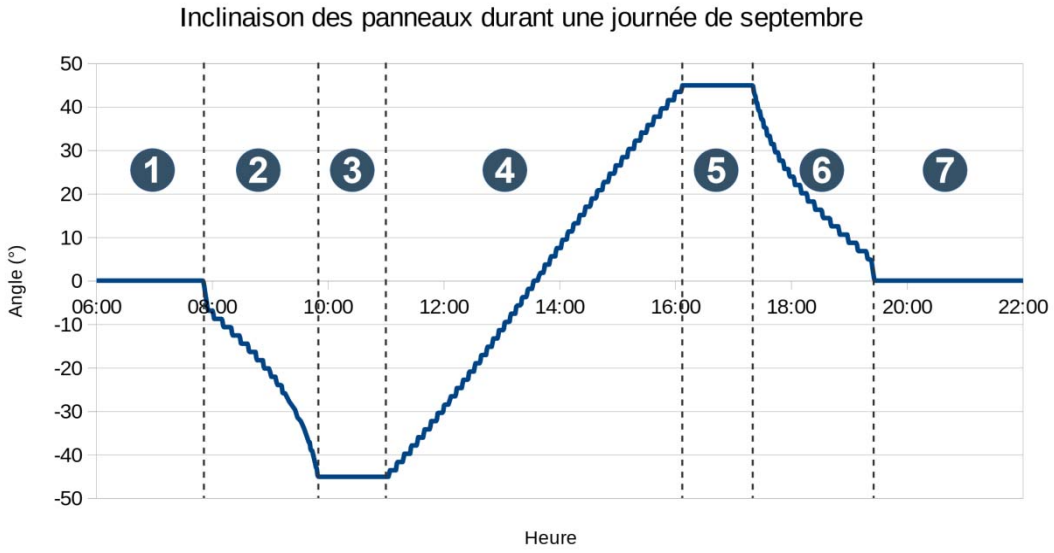
Partie C : comment piloter l'inclinaison des panneaux ?

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).

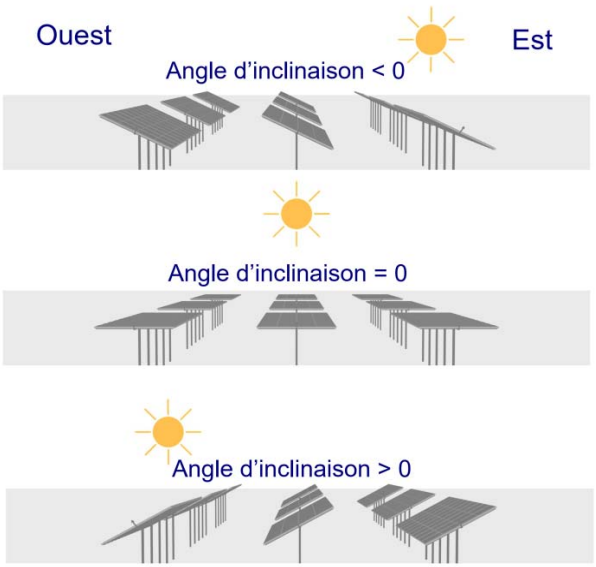
La fonction `MesureInclinaison()` renvoie l'inclinaison mesurée des panneaux.

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.



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

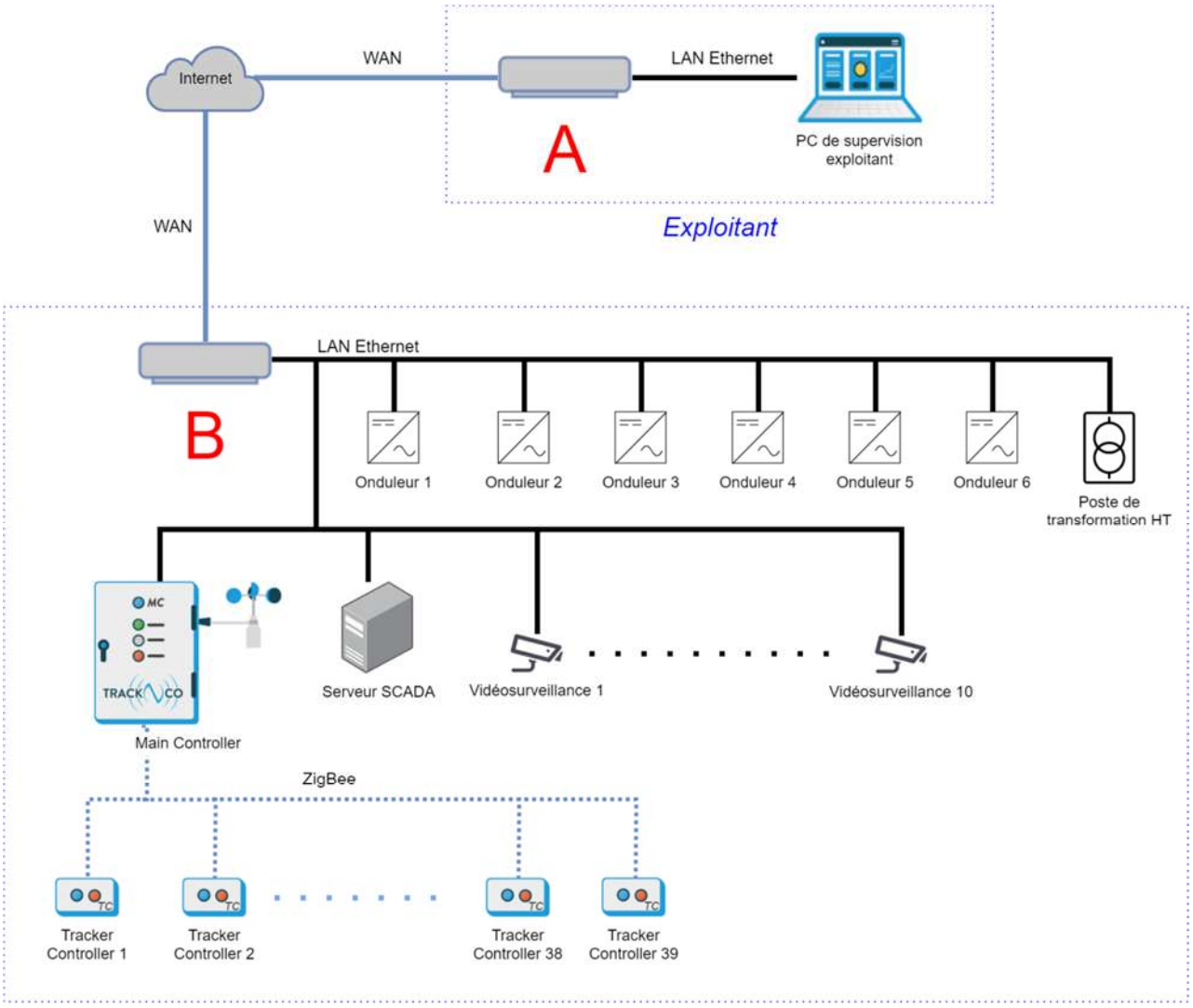
Question C.4
DRS2

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
```

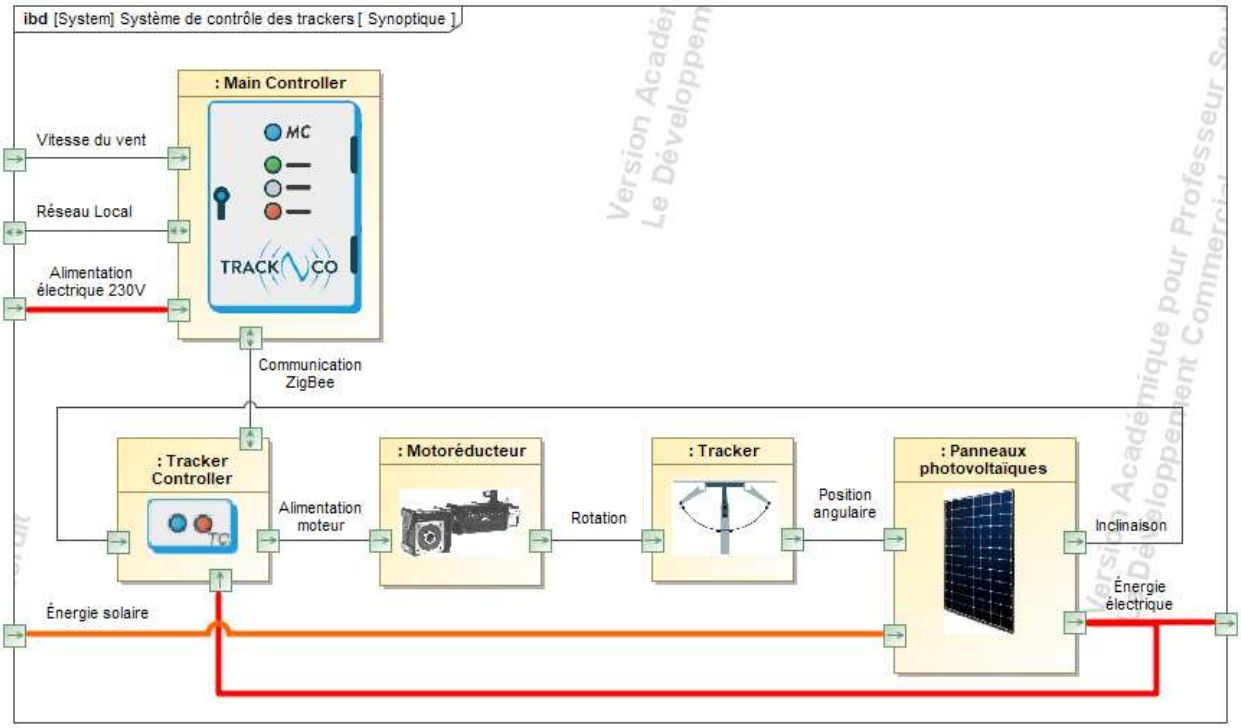
Question D.3 (DTS7) | En vous aidant du document technique DTS7, **relever** l'adresse IP du destinataire du message. **Exprimer** cette adresse en hexadécimal et en notation décimale pointée.

Partie E : conclusion de l'étude

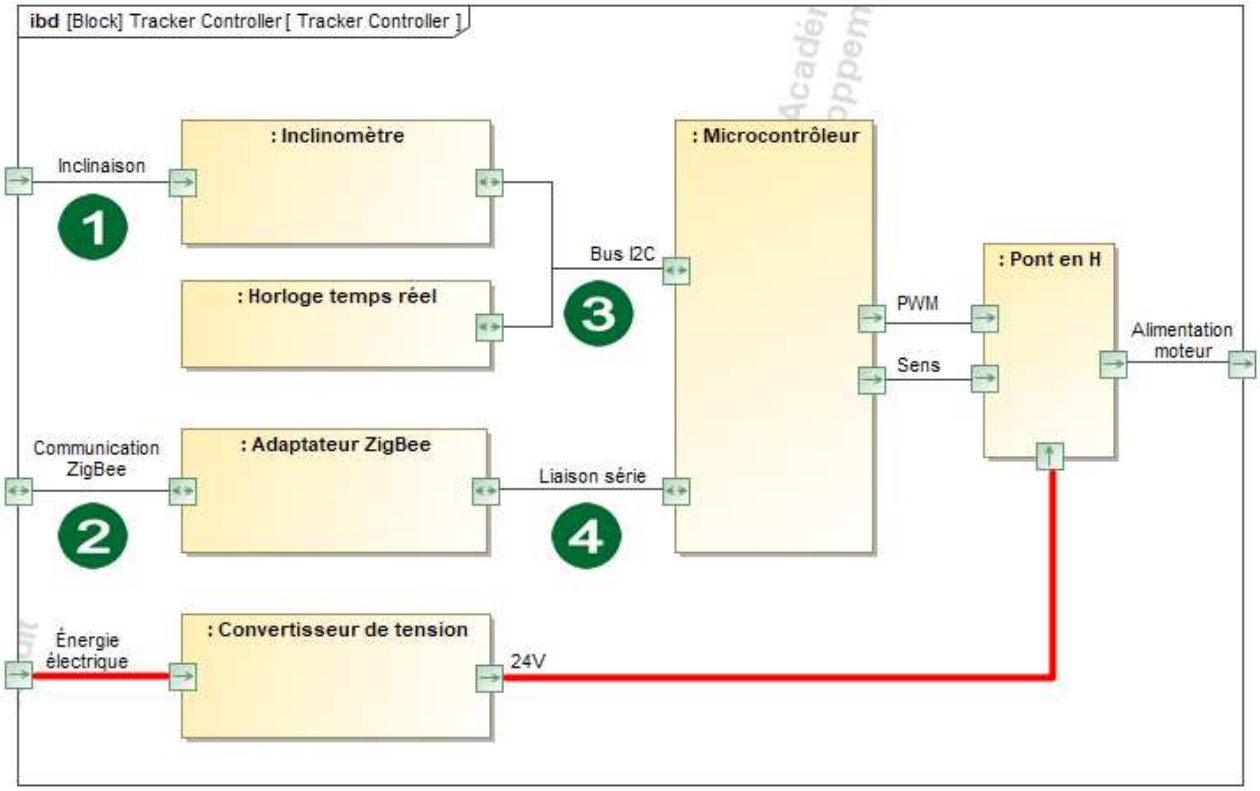
Le serveur SCADA interroge régulièrement tous les équipements du site de production (onduleurs, poste de transformation, Main Controller…) afin de centraliser toutes les données qui seront récupérées par le PC de supervision de l'exploitant.

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 :

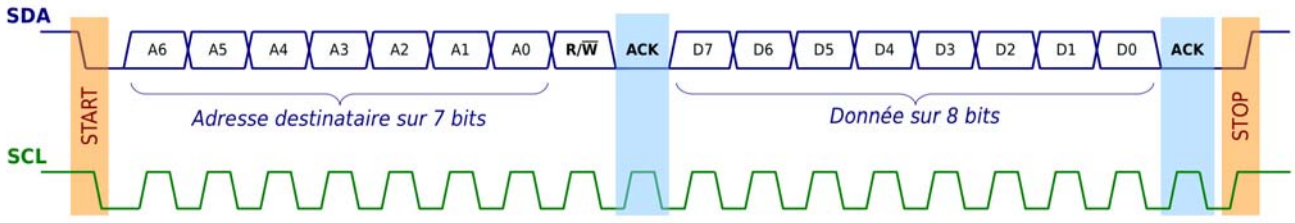
- Standard-mode : 100 kbit·s^{-1}
- Fast-mode : 400 kbit·s^{-1}
- Fast-mode Plus : 1 Mbit·s^{-1}
- High-speed mode : 3,4 Mbit·s^{-1}

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.

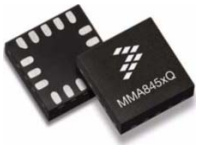
Principe de la communication :

- 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.



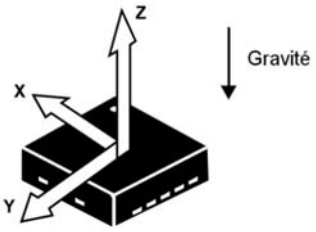
Caractéristiques :

- 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 :

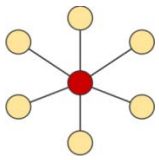
MSB								LSB							
D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	0	0

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

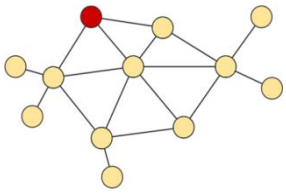
Topologie en étoile :

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

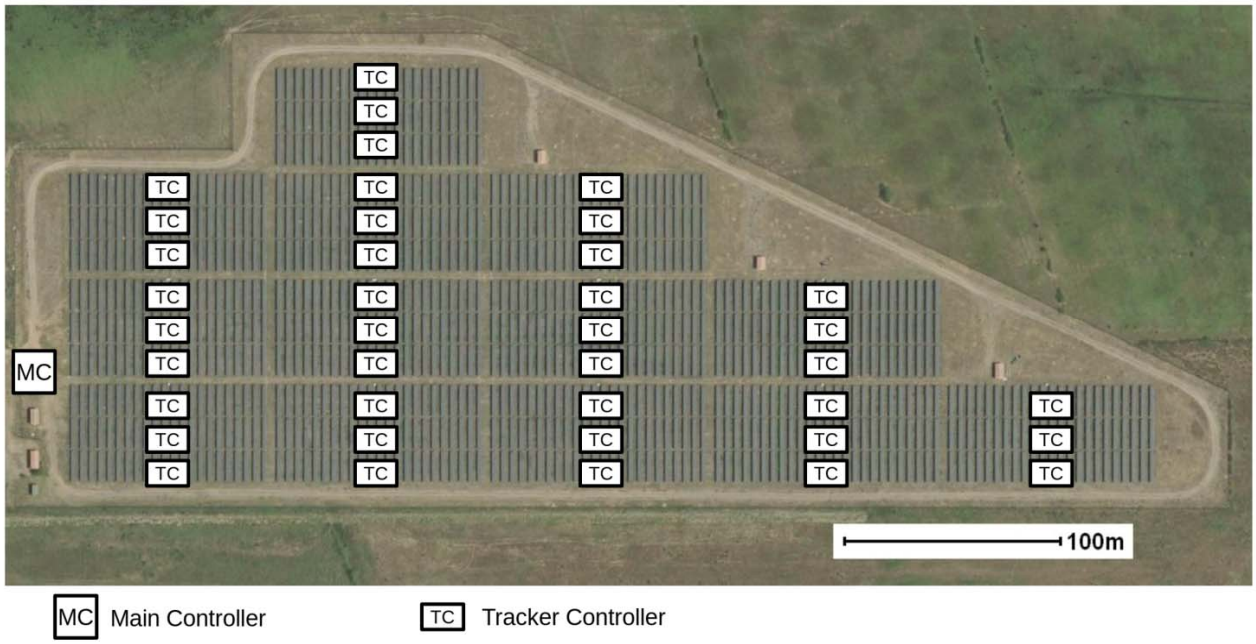


Topologie en réseau maillé :

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

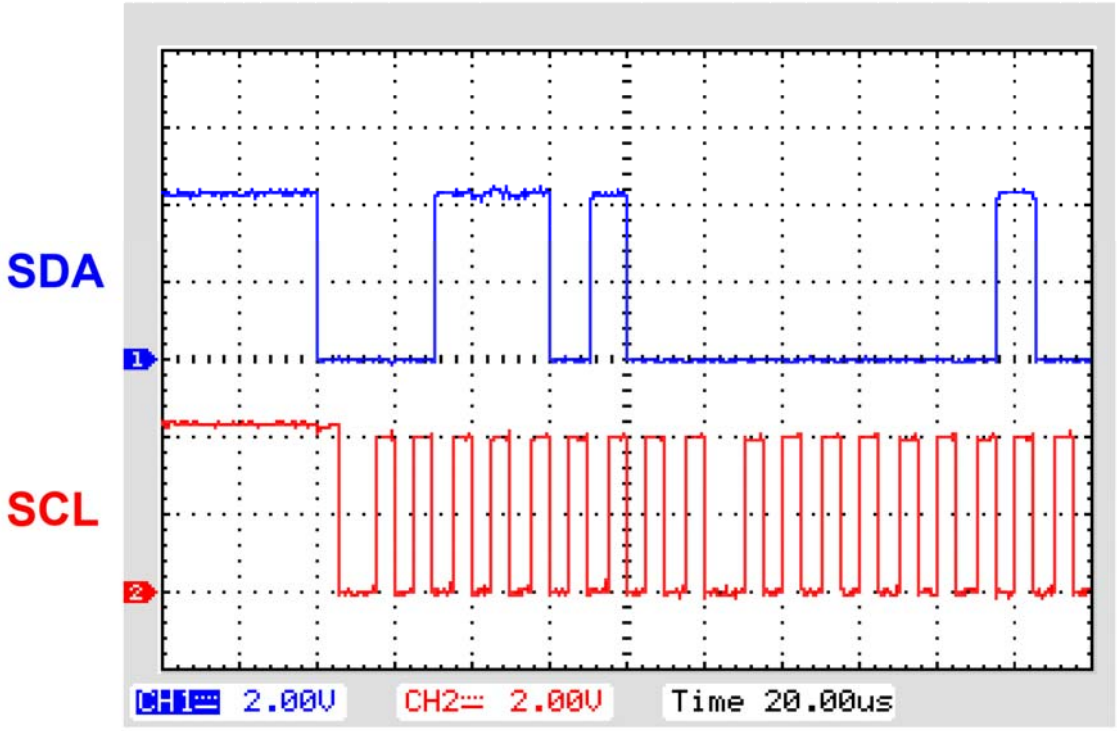
En-tête TCP	2 octets	Port Source
	2 octets	Port Destination
	4 octets	Numéro de séquence
	4 octets	Numéro d'acquittement
	2 octets	HLEN (4 bits) + réservé (6 bits) + codes (6 bits)
	2 octets	Fenêtre
	2 octets	Somme de contrôle de l'entête TCP
	2 octets	Pointeur de données d'urgence

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 :	

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

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)				

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.