

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

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 collègue » est autorisé.*

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 32 pages numérotées de 1/32 à 32/32.

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 : <ul style="list-style-type: none">• partie 1• partie 2• partie 3• partie 6	Partie commune : <ul style="list-style-type: none">• soit la partie 4• soit la partie 5 Une seule de ces 2 parties doit être traitée

❖ La partie spécifique comporte 4 parties qui sont toutes à traiter obligatoirement.

Tous les documents réponses sont à rendre avec la copie.

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 $11,63 \text{ MW}\cdot\text{h} \Leftrightarrow 1 \text{ tep}$.

L'éthanol actuel est un biocarburant de 1^{ère} génération avec une productivité annuelle maximale de 2,58 tep par hectare. A un horizon plus éloigné les biocarburants de 2^{ème} 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 2^{ème} 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.

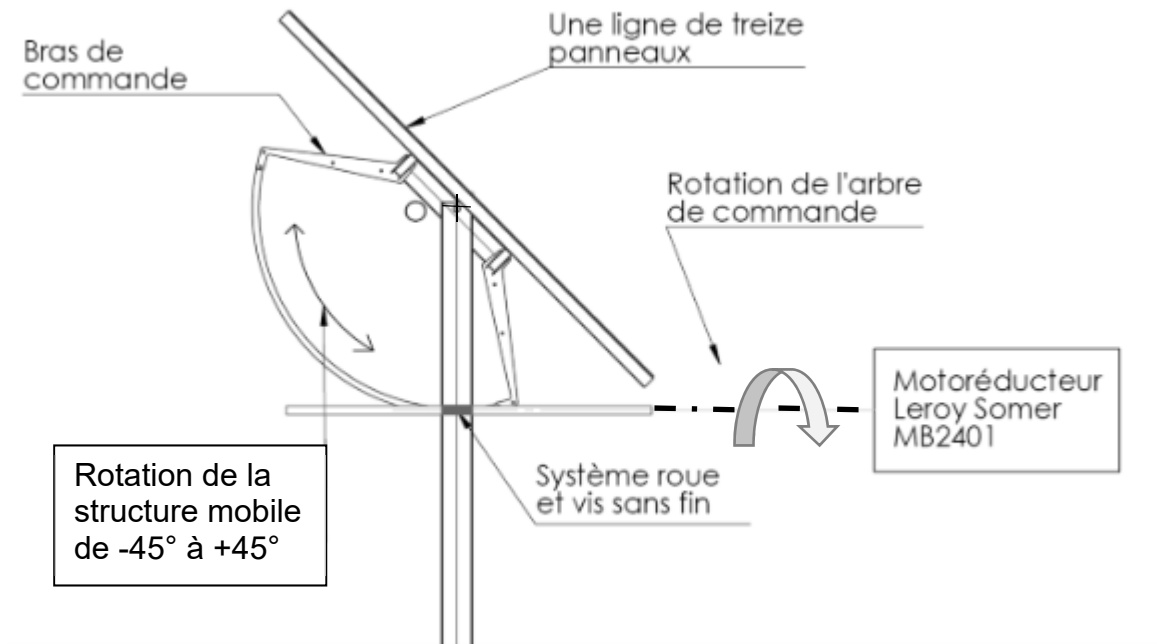
Question 1.6

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 disparaît 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

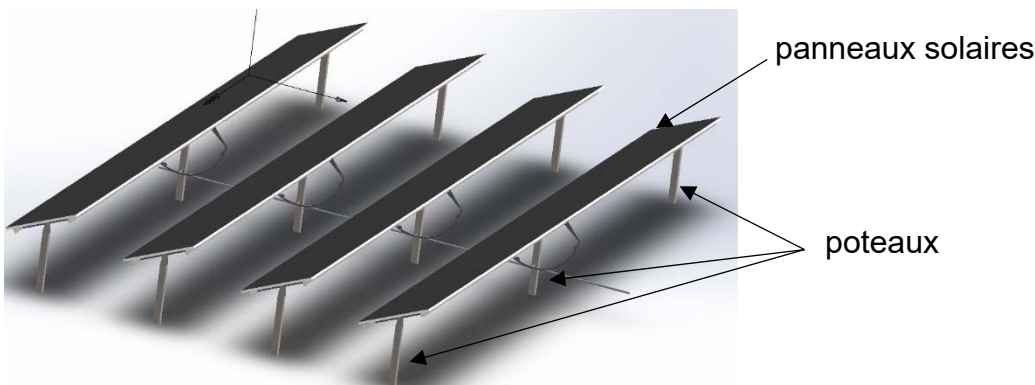
DR3

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 fabricant 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

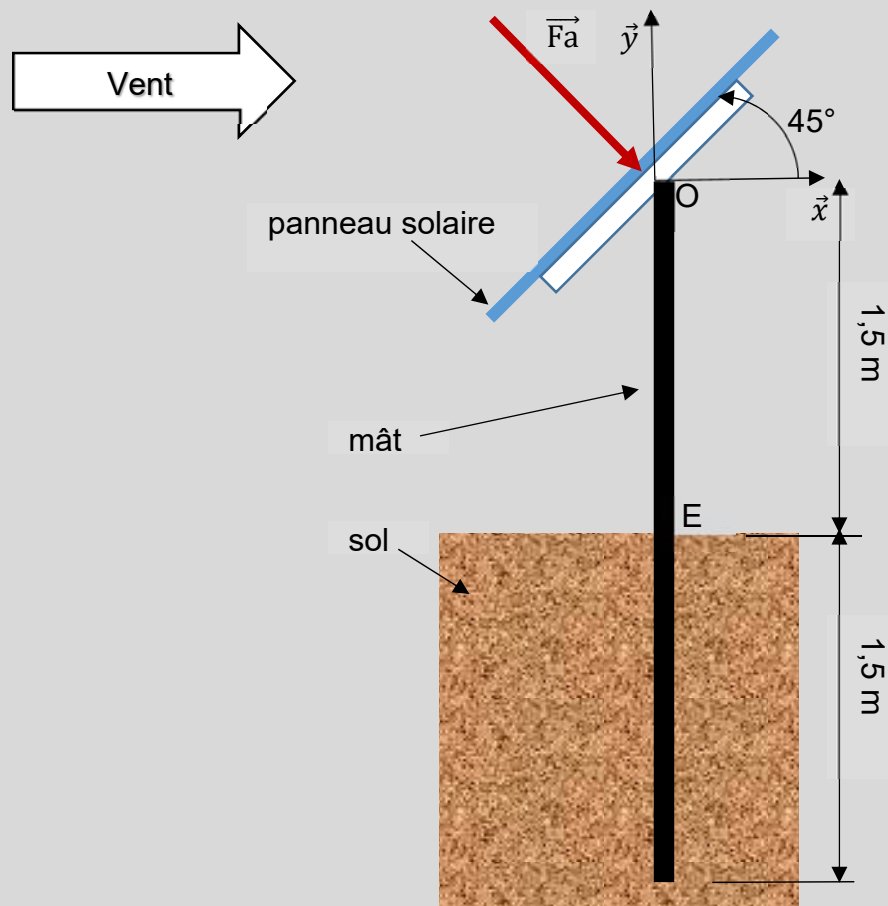
DT2

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.

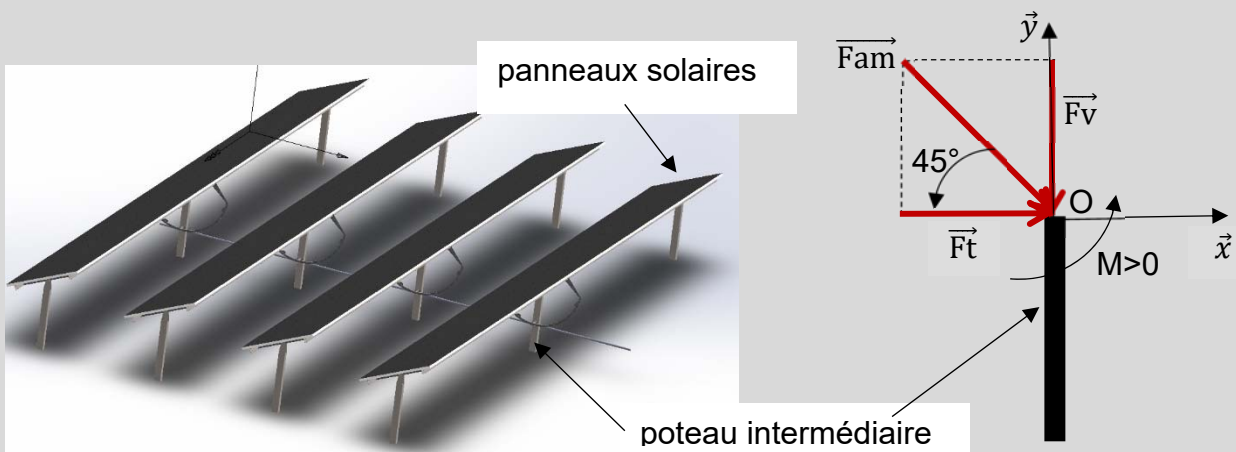
Une étude menée à partir de l'Eurocode 1 (règlement européen pour le calcul des structures) montre que chaque panneau solaire peut être soumis à un vent extrême horizontal. Ce vent crée une action dite « aérodynamique » \vec{F}_a perpendiculaire à chaque panneau, incliné à 45° , d'intensité $F_a = 1$ 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 \vec{F}_{am} , 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 \vec{F}_t de \vec{F}_{am} (projection de \vec{F}_{am} sur l'axe \vec{x}).

En déduire l'intensité F_v de la résultante verticale \vec{F}_v de \vec{F}_{am} (projection de \vec{F}_{am} sur l'axe \vec{y} , voir schéma précédent).

Question 4.3 | **Expliquer** comment \vec{F}_v 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 $\overrightarrow{MFt/E}$ créé au point E (pied du poteau intermédiaire) par \vec{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 $180 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, mais les panneaux sont mis en sécurité en position horizontale à partir de $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Afin de mesurer la vitesse du vent et d'assurer le fonctionnement normal de l'installation, deux stations météo 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 $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

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 $3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Question 5.3

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

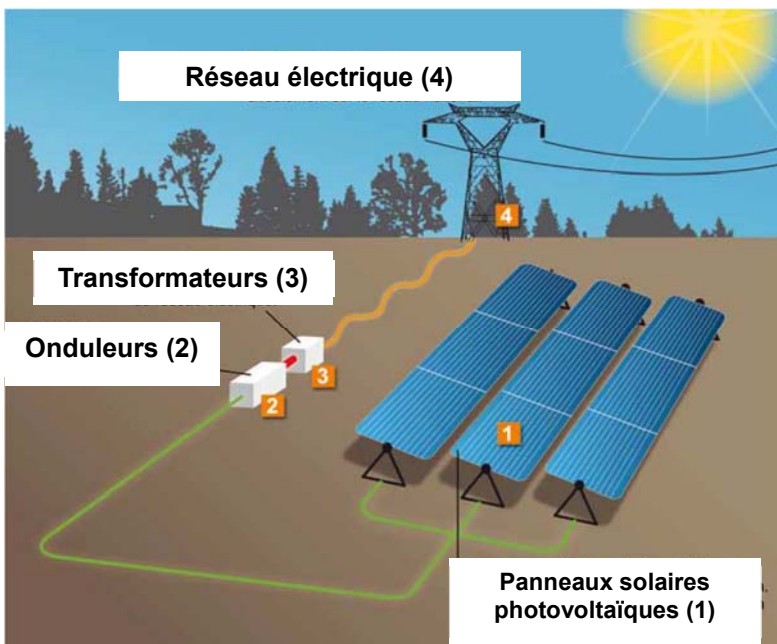
Afin d'être alerté en cas d'anomalie de fonctionnement et de suivre la production d'énergie solaire, le réseau local privé type Ethernet (LAN) est connecté à un autre réseau (WAN).

- 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 À partir de la présentation et du diagramme de définition des blocs de la centrale DT2, **compléter** le DR6 en indiquant :

DT2, DR6

- le nombre d'éléments constituant la centrale ;
- le type de courant électrique (AC ou DC) présent aux différents points de l'installation.

Question 6.2 À l'aide de la documentation technique DT3, **relever** les dimensions du module solaire retenu et **calculer** sa surface.

DT3

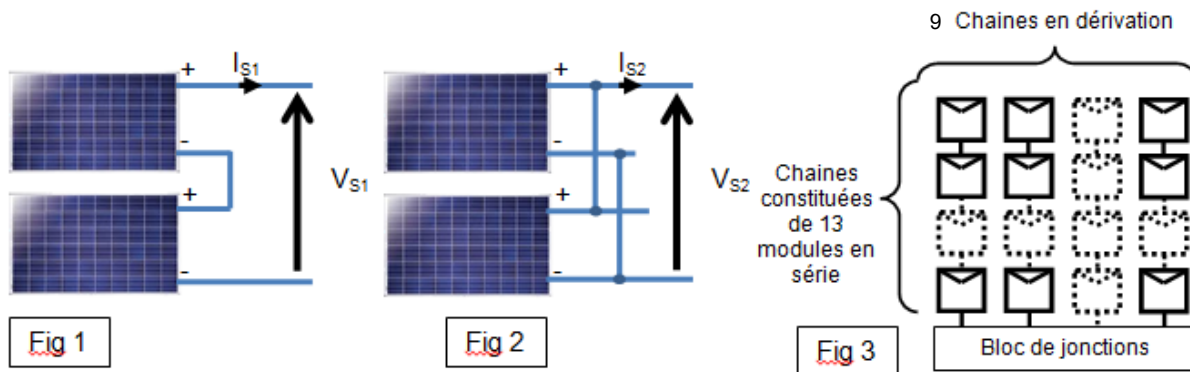
Pour un ensoleillement de $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, et une température de cellule de 25°C , la puissance nominale du module solaire est de 320 W.

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 $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ la tension d'un module est de $54,7 \text{ V}$ et le courant de $5,86 \text{ A}$ (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

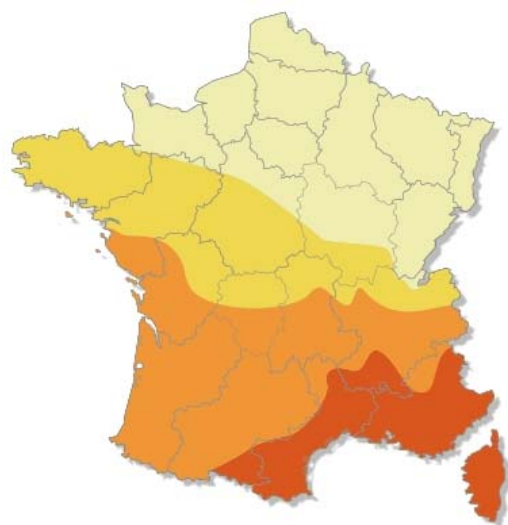
DR7

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



En kWh/kWc par an

800 - 1000

1000 - 1100

1100 - 1200

1200 - 1400

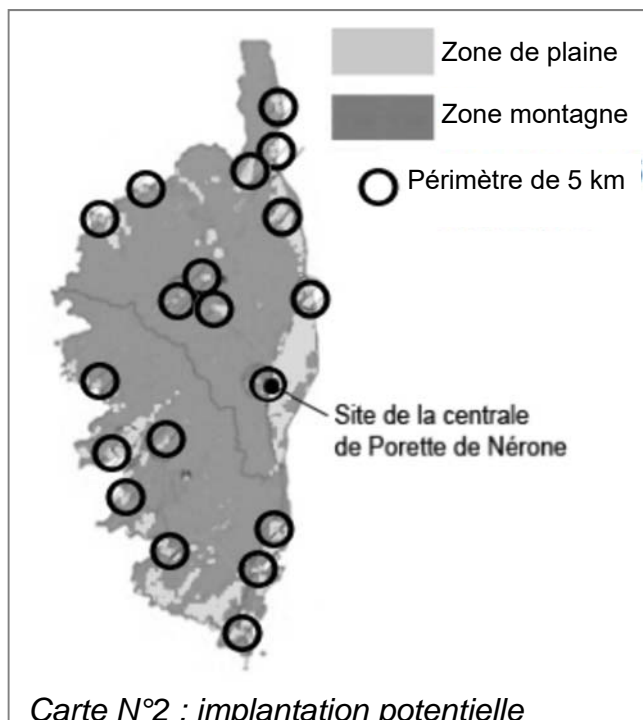
Wc : Le watt-crête est une unité représentant la puissance électrique maximale délivrée par une installation électrique solaire pour un ensoleillement standard de 1000W/m^2 à 25°C .

Carte N°1: ensoleillement horizontal en France

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.

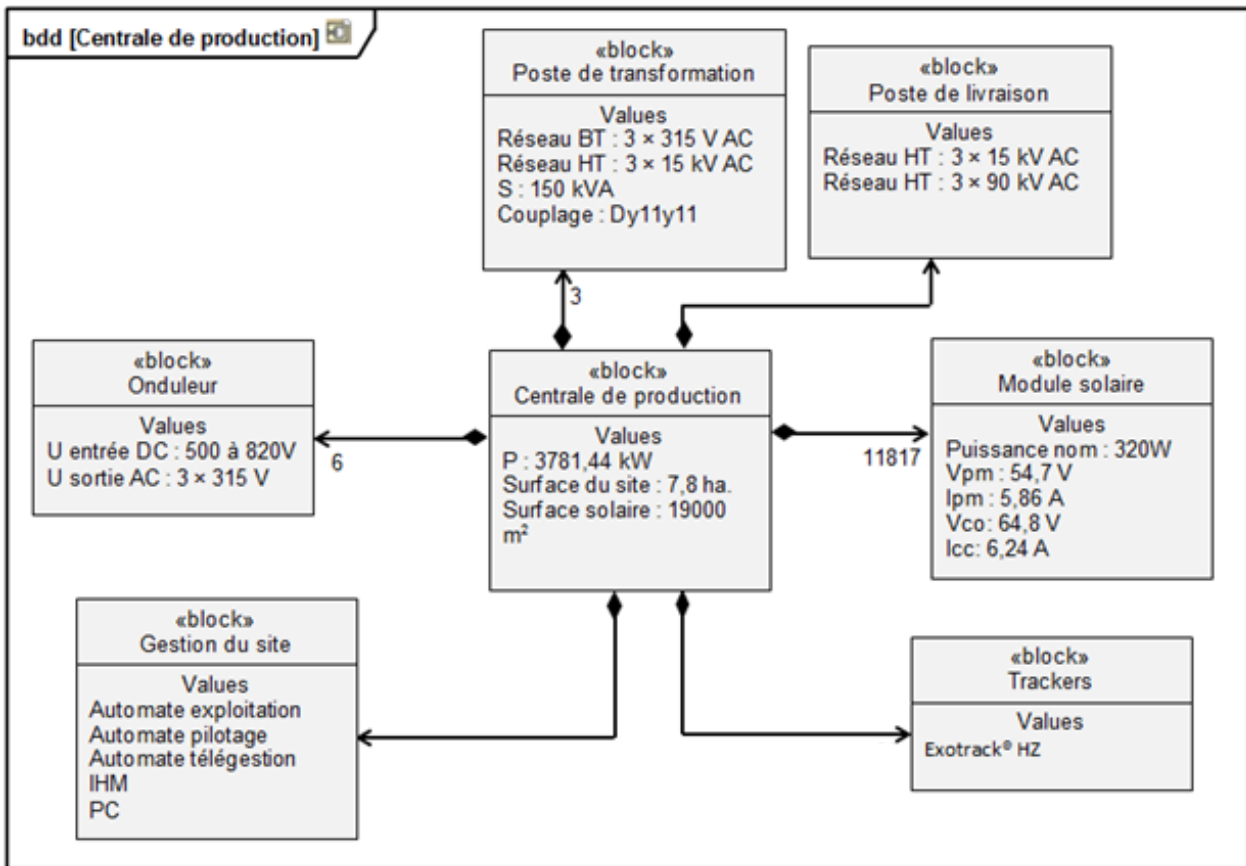
La carte ci-contre montre l'implantation potentielle de parcs photovoltaïques sur l'ensemble de la région Corse. Un certain nombre de critères ont été pris en compte, dont :

- 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 $< 6^\circ$) ;
- les zones protégées (Protection du littoral, ...) ;
- les zones ombrées (Azimut $130^\circ - 230^\circ$) ;
- les zones urbanisées.



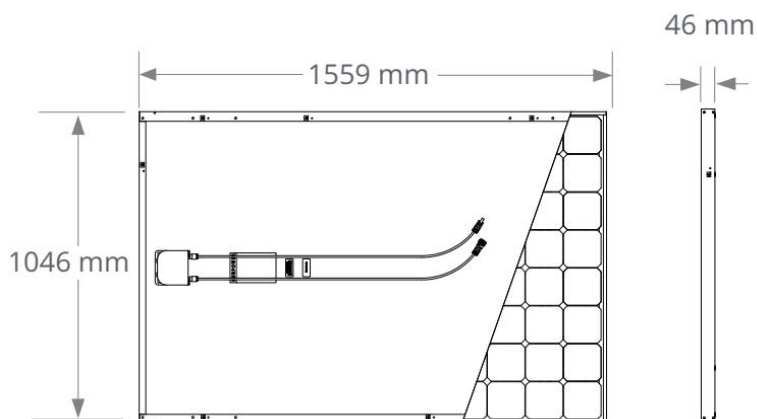
Carte N°2 : implantation potentielle

DT2 : diagramme de définition de blocs de la centrale



DT3 : caractéristiques du module solaire SunPower® 320

Caractéristiques électriques (ensoleillement de $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 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



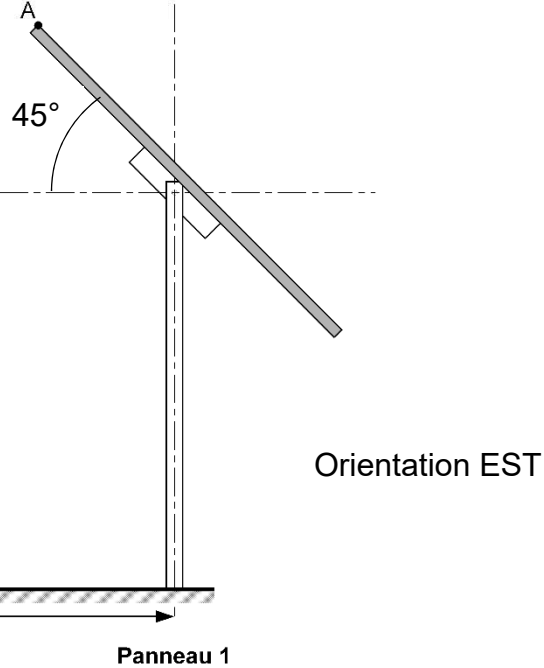
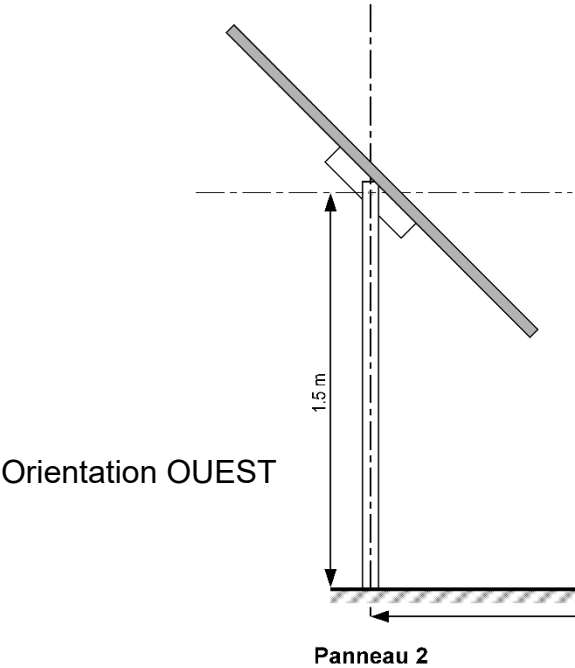
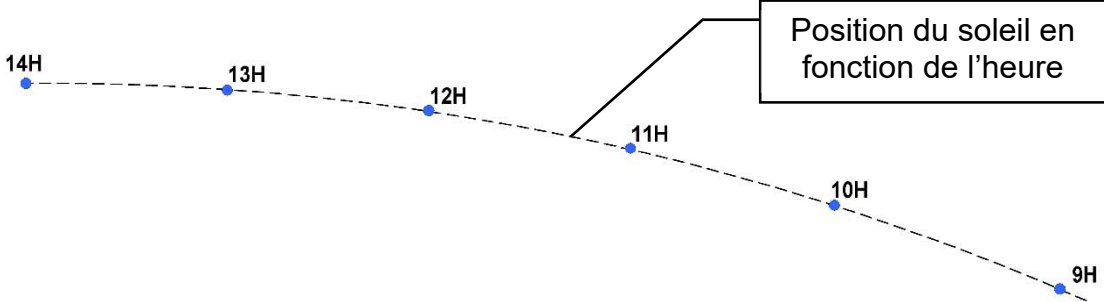
DOCUMENT RÉPONSE DR1

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					

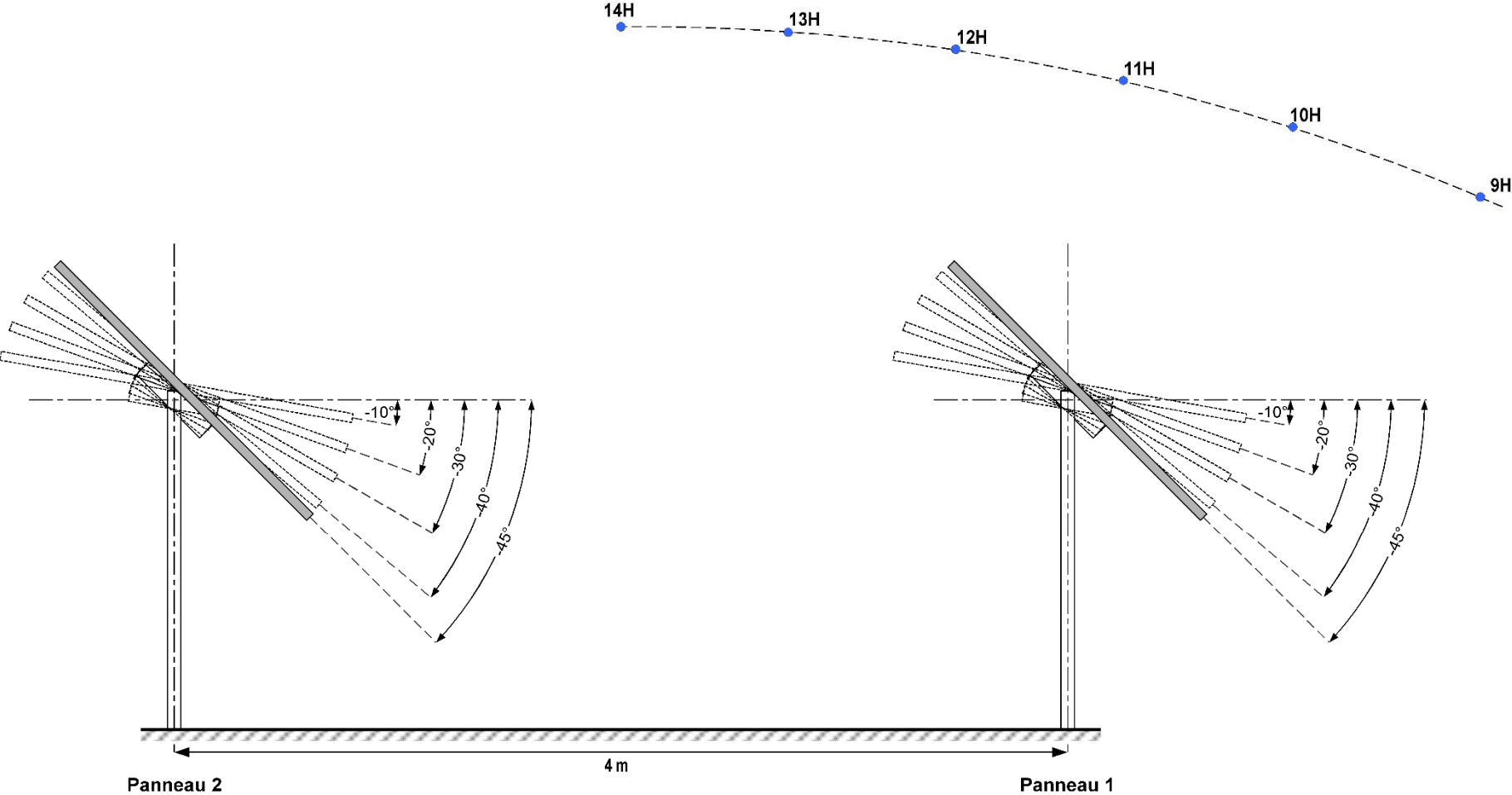
DOCUMENT RÉPONSE DR2

Question 2.1 – 2.2 – 2.3



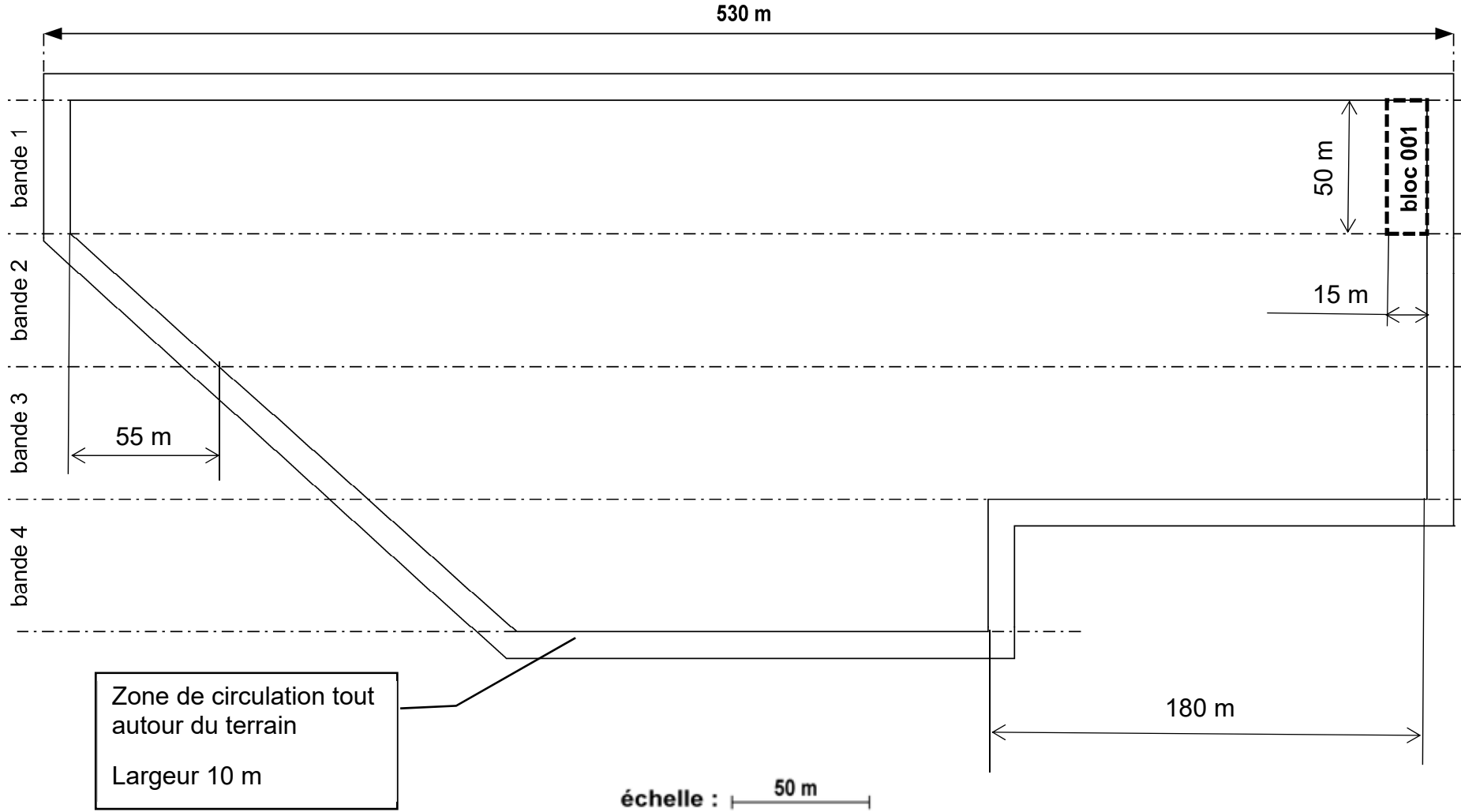
DOCUMENT RÉPONSE DR3

Question 2.4 – 2.5



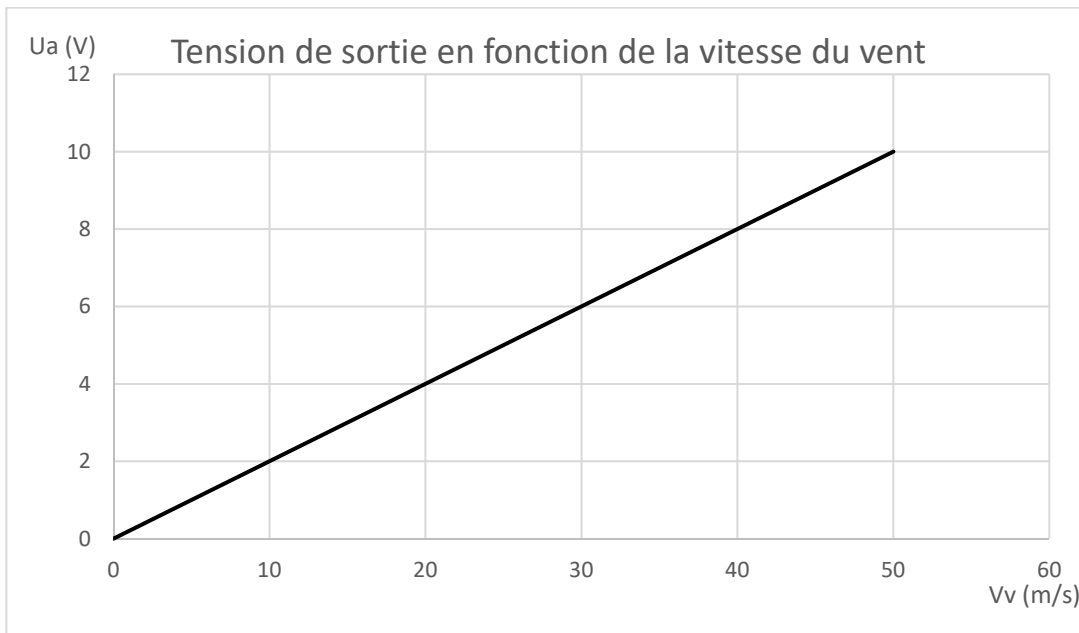
DOCUMENT RÉPONSE DR4

Question 3.4



DOCUMENT RÉPONSE DR5

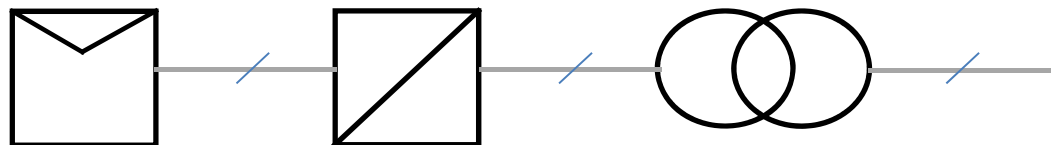
Question 5.1






Courbe caractéristique de l'anémomètre

DOCUMENT RÉPONSE DR6

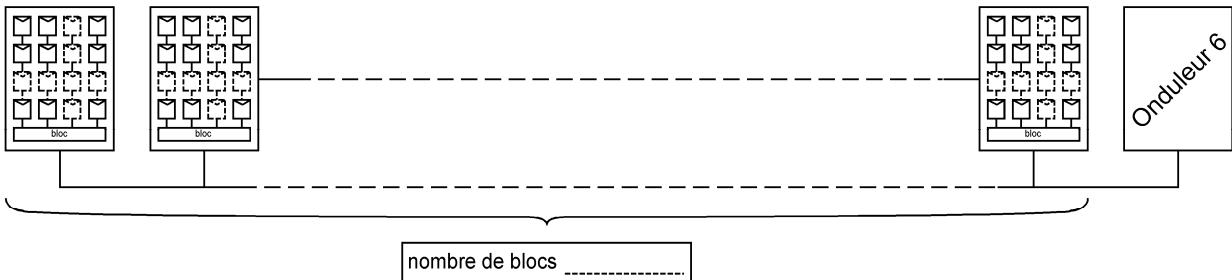
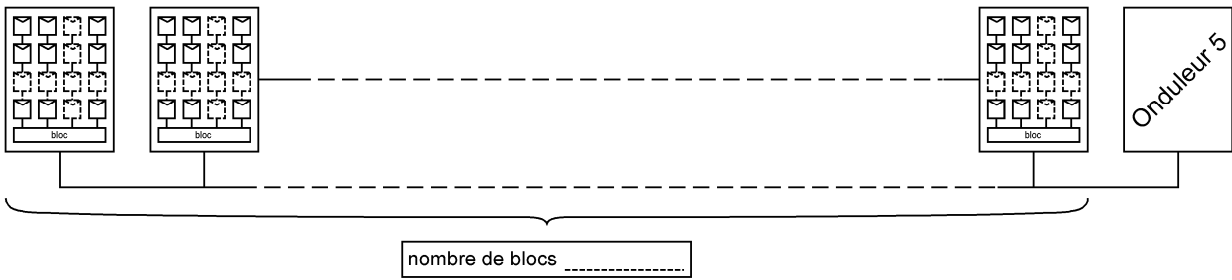
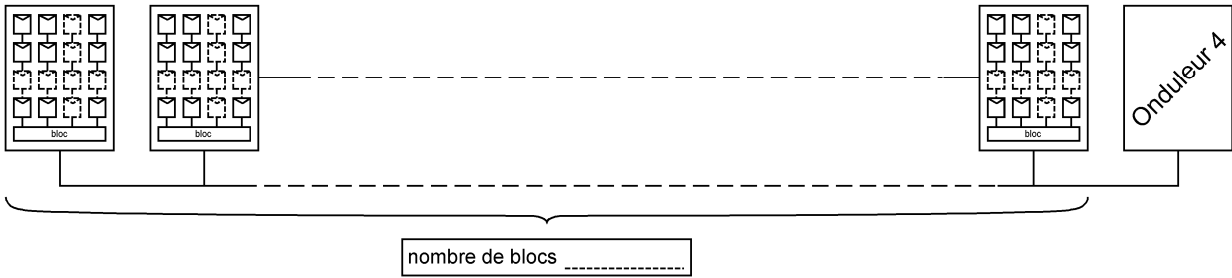
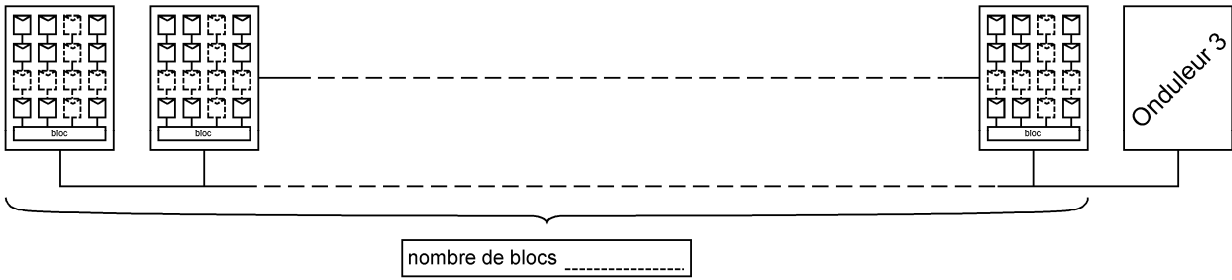
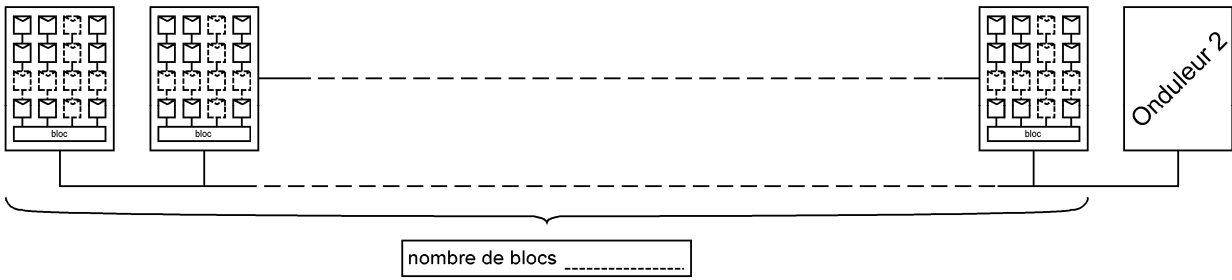
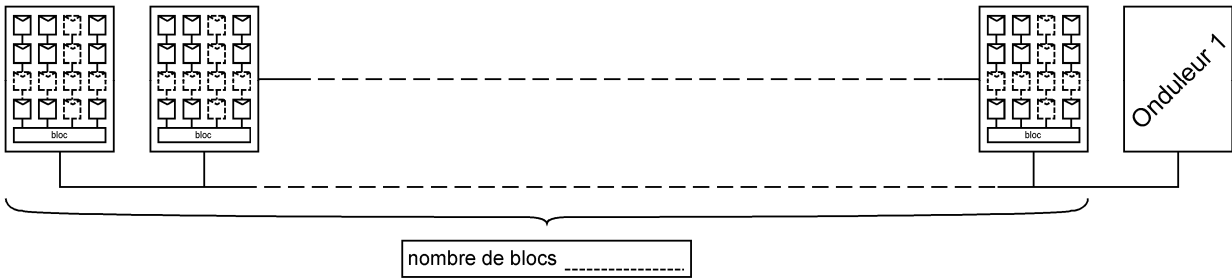
Question 6.1



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

DOCUMENT RÉPONSE DR7

Question 6.6



Architecture et construction

Centrale photovoltaïque de Porette de Nérone

Bâtiment de gardiennage



- **Présentation de l'étude et questionnement**..... pages 21 à 24
- **Documents techniques DTS1 à DTS6** pages 25 à 30
- **Documents réponses DRS1 à DRS2** pages 31 à 32

Partie A : analyse du projet.

Sur le site de cette centrale solaire, se trouve un poste de surveillance dont le rôle est d'accueillir les gardiens et les techniciens intervenant sur les matériels. Ce bâtiment ne sert que de bureau et de lieu de convivialité.

Un plan de structure ainsi que des coupes de principe sont présentés sur le DTS1.

Question A.1 | Au vu de l'usage du bâtiment et des plans fournis sur le DTS1a et sur le DTS1b, **justifier** le choix de mettre en place un dallage désolidarisé. **Décrire** l'intérêt de ce dallage. **Indiquer** l'impact sur les fondations.

DTS1a

DTS1b

Le détail de la composition de la toiture terrasse se trouve sur le DTS1c.

Question A.2 | **Décrire** la fonction de chacune des couches composant cette toiture terrasse.

DTS1c

Partie B : comment limiter les pertes de chaleur dans le poste de surveillance du site ?

L'implantation de ce bâtiment, proche des postes de transformation, a conduit l'équipe en charge du projet à imposer des matériaux de classement au feu de classe B au moins. Le maître d'œuvre souhaite également maintenir un coût de construction raisonnable.

Classes selon NF EN 13501-1	Exigence
A	M0 à M1
B	M1
C	M2
D	M3 à M4 non gouttant
E et F	M4

Le classement :

M0 Incombustible
M1 Combustible, ininflammable
M2 Difficilement inflammable
M3 Moyennement inflammable
M4 Facilement inflammable

Figure 1 : catégories du classement au feu des matériaux

L'étude suivante porte sur l'isolation thermique de ce bâtiment.

Question B.1 | **Choisir** les matériaux répondant aux critères de classement au feu, parmi les différents types d'isolants présentés sur le DTS2.

DTS2

Question B.2 | **Citer** deux raisons permettant de choisir la laine de verre plutôt que le PSE ou que la laine de roche, à partir des critères environnementaux et de l'efficacité thermique donnés sur le DTS2.

DTS2

Question B.3 | **Relever** la valeur R pour une épaisseur de laine de verre de 17 cm dans le tableau du DTS2 et la **reporter** dans le tableau réponse DRS1, ligne isolant.
DTS2
DTS3
DRS1

Question B.4 | **Compléter** les cases non grisées sur le tableau du DRS1.
Calculer la résistance thermique totale du mur.
En déduire le coefficient de transmission thermique surfacique des parois verticales U_{PV} et **préciser** son unité.
DTS3
DRS1

Question B.5 | **Conclure** quant au moyen mis en œuvre pour éviter des déperditions thermiques trop importantes.

Partie C : comment protéger les parois intérieures de la condensation ?

Pour cette partie, on considérera un coefficient de transmission thermique surfacique : $U_{PV} = 0.2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

La température extérieure de base (température minimale) du site de Porette de Nérone (altitude entre 70 et 80 m) est de -2°C . Pour le confort des travailleurs, on souhaite maintenir la température à l'intérieur du poste de transformation à 20°C . L'humidité relative intérieure sera prise égale à $HR = 60\%$.

Le local est simplement maintenu hors gel hors période de présence humaine.

Question C.1 | **Définir** un pont thermique. **Représenter** ce pont thermique à la jonction entre les murs et la toiture, sur la coupe de principe du DRS1.
DRS1

Question C.2 | En considérant un flux thermique surfacique $\phi = 4,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ à travers un mur vertical, **calculer** la température de surface du mur côté intérieur $T_{\text{paroi-int}}$. **Expliquer** la différence avec la température de l'air intérieur.
DTS3

Question C.3 | À partir du DTS4, **placer** le point correspondant aux conditions intérieures (20°C , 60% HR en période d'occupation) sur le diagramme de Mollier du DRS2. **Indiquer** la température limite de la paroi avant condensation. **Faire apparaître** clairement le tracé sur le DRS2.
DTS4
DRS2

Les périodes d'inoccupation étant réduites pour éviter de laisser le site sans surveillance, la consigne de température hors gel est fixée à 14°C.

Question C.4 | **Conclure** quant au risque de condensation sur les parois intérieures.

Partie D : comment s'assurer que le sol supporte le bâtiment ?

Pour toute cette partie, on négligera l'isolant et le doublage. L'épaisseur des parois de béton est égale à 200 mm.

Le poste de surveillance repose sur des fondations superficielles de type semelles filantes.

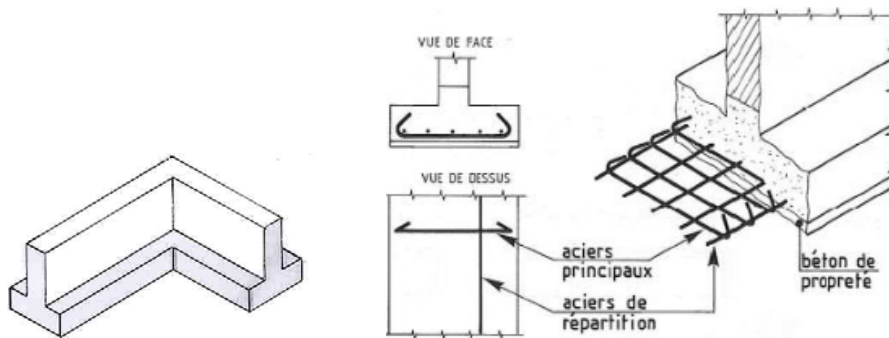


Figure 2 : semelles filantes

Question D.1 | À partir des plans du DTS1c :

DTS1c

- **calculer** la surface de la toiture terrasse (faces intérieures des murs) ;
- **en déduire** le volume de béton constituant la toiture terrasse.

Le poids surfacique du complexe d'étanchéité de la toiture terrasse (au-dessus de la dalle béton) est de $0,9 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$. Le poids volumique du béton armé est $\gamma = 25 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$.

Question D.2

- **Calculer** le poids du béton P_B de cette toiture.
- **Calculer** le poids total G_{TT} de cette toiture en prenant en compte le poids du béton et du complexe d'étanchéité.

Le dimensionnement de la semelle filante se fait sur un mètre linéaire sous la zone la plus sollicitée (voir plan de la toiture terrasse DTS1c).

Question D.3 | **Calculer** la surface de toiture reprise par un mètre linéaire de semelle filante.
DTS1c | **En déduire** la charge permanent g_{TT} en $[kN \cdot m^{-1}]$ provenant du complexe toiture terrasse.

Le bâtiment se situe en Corse, à une altitude de 73 m.

Lors du calcul des charges climatiques, seules les charges de neige seront prises en compte.

Question D.4 | **Calculer** la charge de neige S en $[kN \cdot m^{-2}]$ sur la toiture du bâtiment en appliquant la méthode des Eurocodes rappelée sur le DTS5.
DTS5

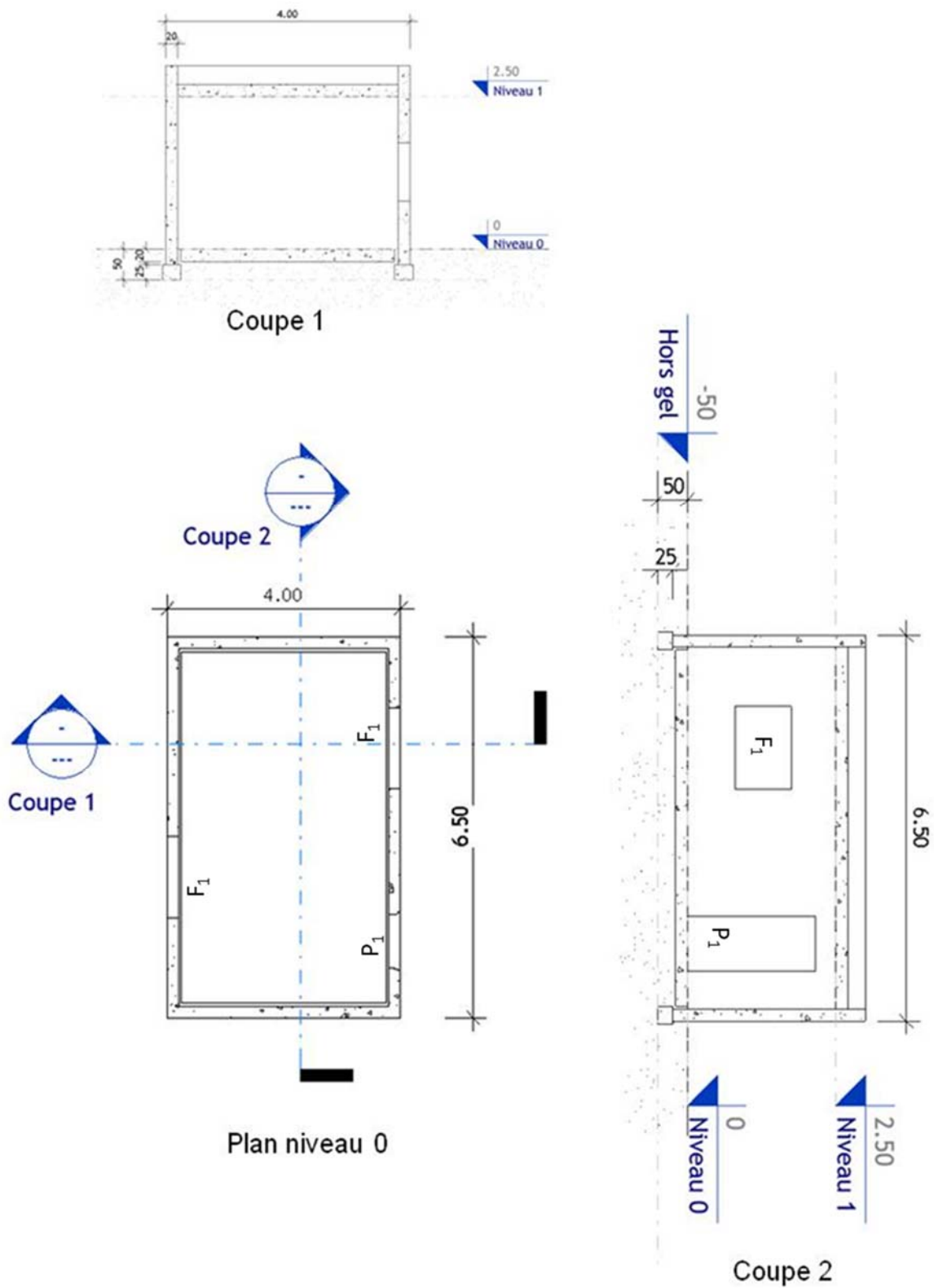
Pour la suite, on considérera que les semelles de fondation reprennent globalement une charge linéaire $p_{ELU} = 30 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ aux ELU (États Limites Ultimes). Cette valeur prend en compte l'ensemble des charges. La contrainte maximale admissible pour le sol sous le bâtiment est $\sigma_{adm} = 0,1 \text{ MPa}$.

Question D.5 | **Calculer** la largeur minimale de la semelle en fonction de p_{ELU} et de σ_{adm} .

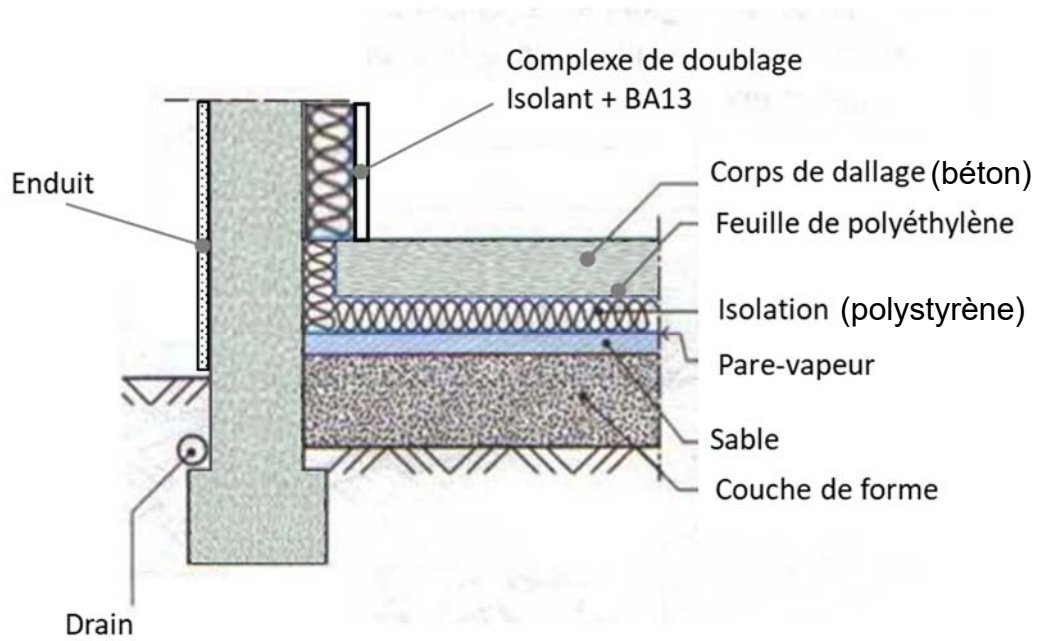
Les semelles coulées pour soutenir le bâtiment ont en réalité une largeur de 35 cm pour une hauteur de 25 cm (largeur du godet de la pelle).

Question D.6 | **Justifier**, sans calcul, ce surdimensionnement.

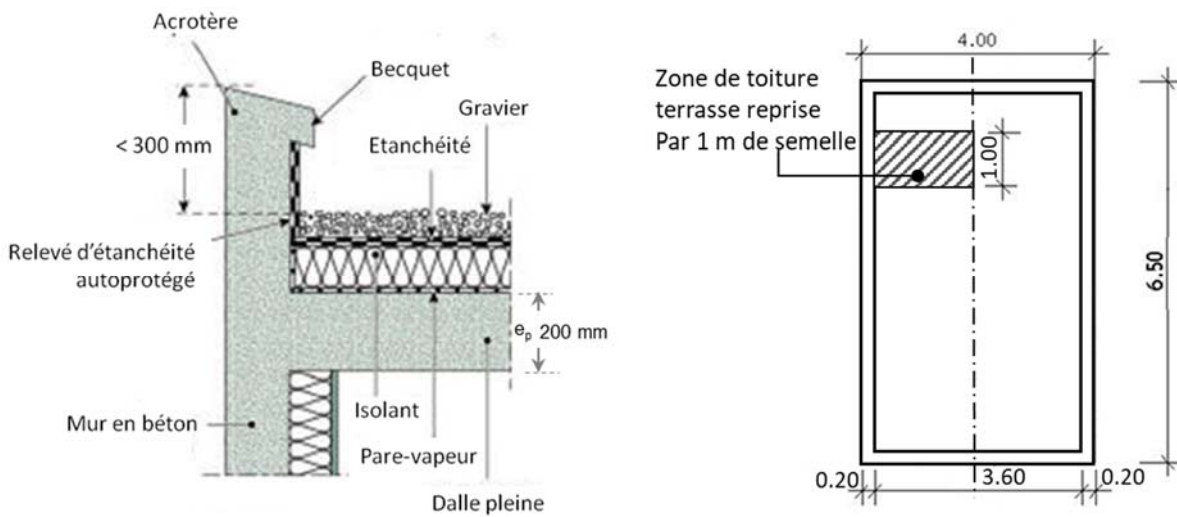
DTS1 : plan et vues du bâtiment



DTS1a : plan de structure et coupes du bâtiment



DTS1b : coupe de principe sur les fondations



DTS1c : coupe de principe sur la toiture terrasse et zone reprise

DTS2 : comparatif des caractéristiques des isolants

Comparatif global			Caractéristiques isolantes			Caractéristiques techniques						Bilan environnemental	
Types isolants			λ [W.m-1.K-1]	Épaisseur [cm] * pour R = 5 *	Prix TTC [€] * pour R = 5 *	Capacité hygroscopique	Résistance à la vapeur d'eau	Classement au feu	Temps de déphasage [h] pour 20 cm	Énergie primaire	Effet de serre		
Origine	Isolant	Conditionnement											
Isolants synthétiques	Polystyrène expansé PSE	Panneaux	0,037 à 0,040	18 à 20	15 à 20	Non	30 à 100	B	6				
		Rouleaux	0,035	17	6 à 16	Non	1	A à B	6				
Laines minérales	Laine de verre	Panneaux	0,040	20	6 à 10	Non	1	A à B	6				
		Panneaux souples	0,038 à 0,040	19 à 20	24 à 38	Non	1 à 2	E	7,5				
Isolant d'origine végétale	Fibre de bois	Panneaux denses	0,037 à 0,046	13 à 23	36 à 75	Non	3 à 8	E	15				

* R : résistance thermique en m².K.W⁻¹

DTS2 : comparatif des caractéristiques de quelques isolants

DTS3 : formulaire de thermique

Résistance thermique :

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Avec :

- R : résistance thermique [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]
- e : épaisseur [m]
- λ : conductivité thermique [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]

Résistance thermique totale :

$$R_T = R_{si} + R_{se} + \sum \left(\frac{e}{\lambda} \right) + \sum (R)$$

Sens du flux	Paroi en contact avec l'extérieur	
	Rsi	Rse
Horizontal	0.13	0.04
Ascendant	0.10	0.04
Descendant	0.17	0.04

Avec :

- R_T : résistance thermique totale de la paroi [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]
- R_{si} : résistance thermique superficielle d'échange intérieur [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]
- R_{se} : résistance thermique superficielle d'échange extérieur [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]
- R : résistance thermique d'un élément [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]
- e : épaisseur [m]
- λ : conductivité thermique [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]

Coefficient de transmission thermique :

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Avec :

- U : coefficient de transmission thermique [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
- R_T : résistance thermique totale de la paroi [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]

Flux de chaleur :

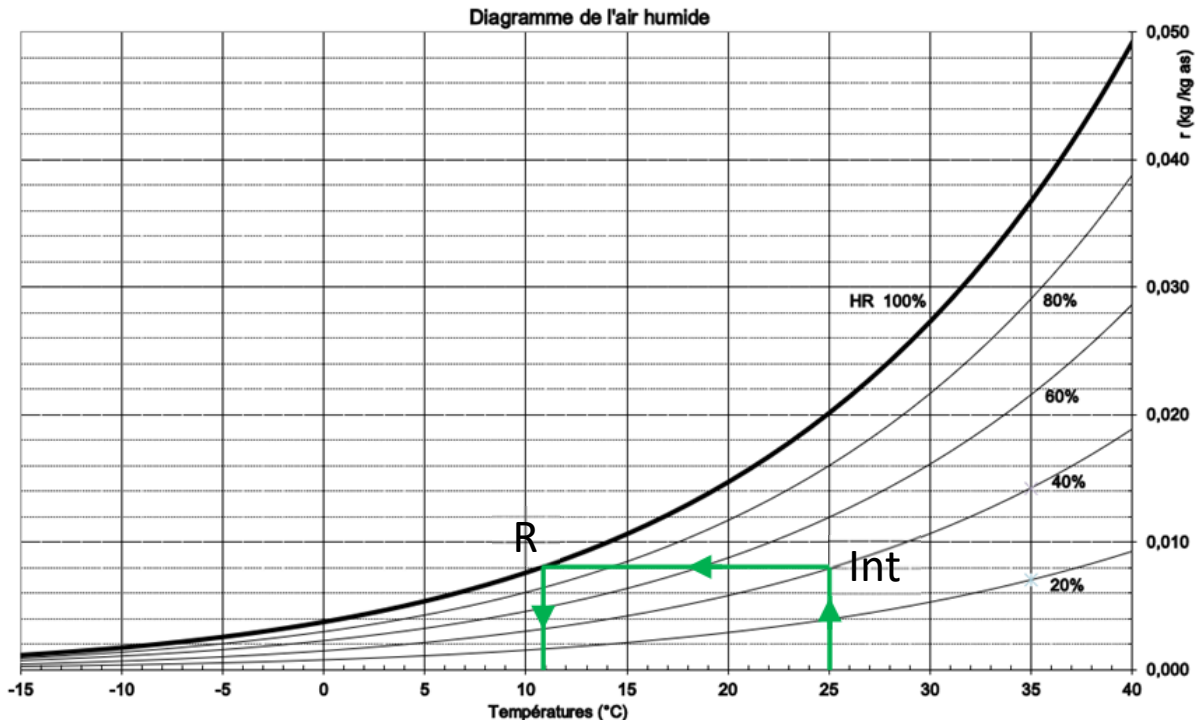
$$\phi = U \cdot S \cdot \Delta T$$

Avec :

- Φ : flux de chaleur [W]
- U : coefficient de transmission thermique [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
- S : surface de l'échange [m^2]
- ΔT : différence de température [K]

$$\Delta T = T_{\text{intérieure}} - T_{\text{extérieure}}$$

DTS4 : utilisation du diagramme de Mollier



DTS3 : diagramme de Mollier

Exemple : point de rosée avec air à 25°C et 40% d'humidité

Pour des conditions intérieures $T = 25^{\circ}\text{C}$ et $\text{HR} = 40\%$, on place le point correspondant (Int) sur le diagramme.

On trace l'horizontale qui rejoint la courbe de saturation ($\text{HR} = 100\%$) pour trouver le point de rosée (R).

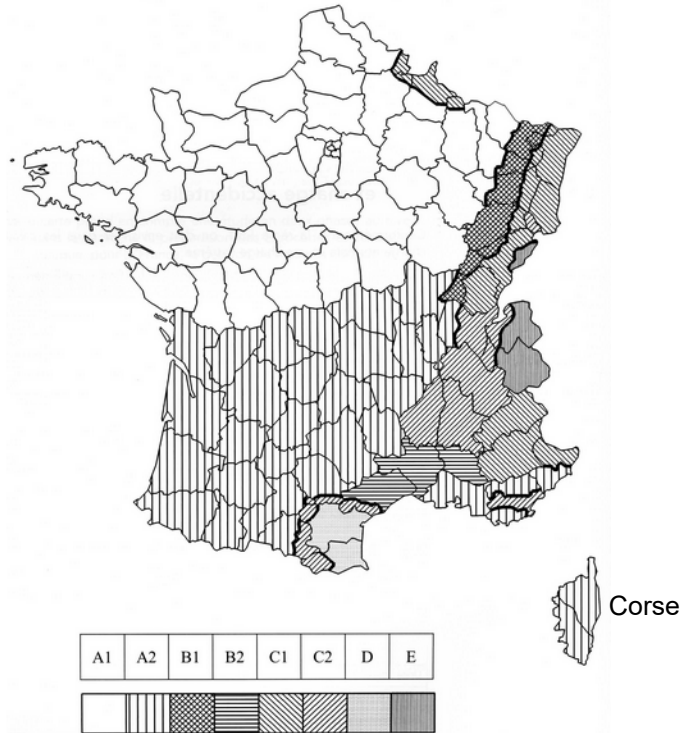
On lit la température de ce point de rosée sur l'axe des abscisses. Cette température correspondant à la température en-dessous de laquelle la vapeur d'eau contenue dans l'air intérieur commence à condenser : ici $T_{\text{rosée}} = 11^{\circ}\text{C}$.

DTS5 : Eurocode 1 – Charges de neige

Les charges de neige (notées S) sur les toitures peuvent être déterminées par la formule simplifiée suivante :

$$S = S_k \times \mu_1 \text{ en } [\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}]$$

Carte de neige



Valeur caractéristique de la charge de neige sur le sol : S_k

Régions	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E
Valeur caractéristique ($S_{k,0}$) de la charge de neige sur le sol à une altitude inférieure à 200 m (en $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$).	0,45	0,45	0,55	0,55	0,65	0,65	0,90	1,40

Coefficient de forme pour la charge de neige : μ_1 pour les toitures à un versant

α (angle du toit avec l'horizontale)	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 (60 - \alpha)/30$	0,0

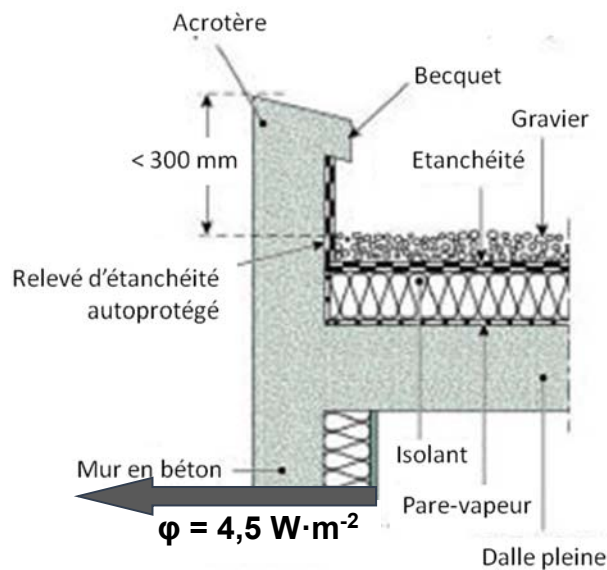
DOCUMENT RÉPONSES DRS1 (questions B.3 – B.4 et C.2)

Notes :

- **arrondir** à 10^{-2}
- les cases grisées ne sont pas à compléter

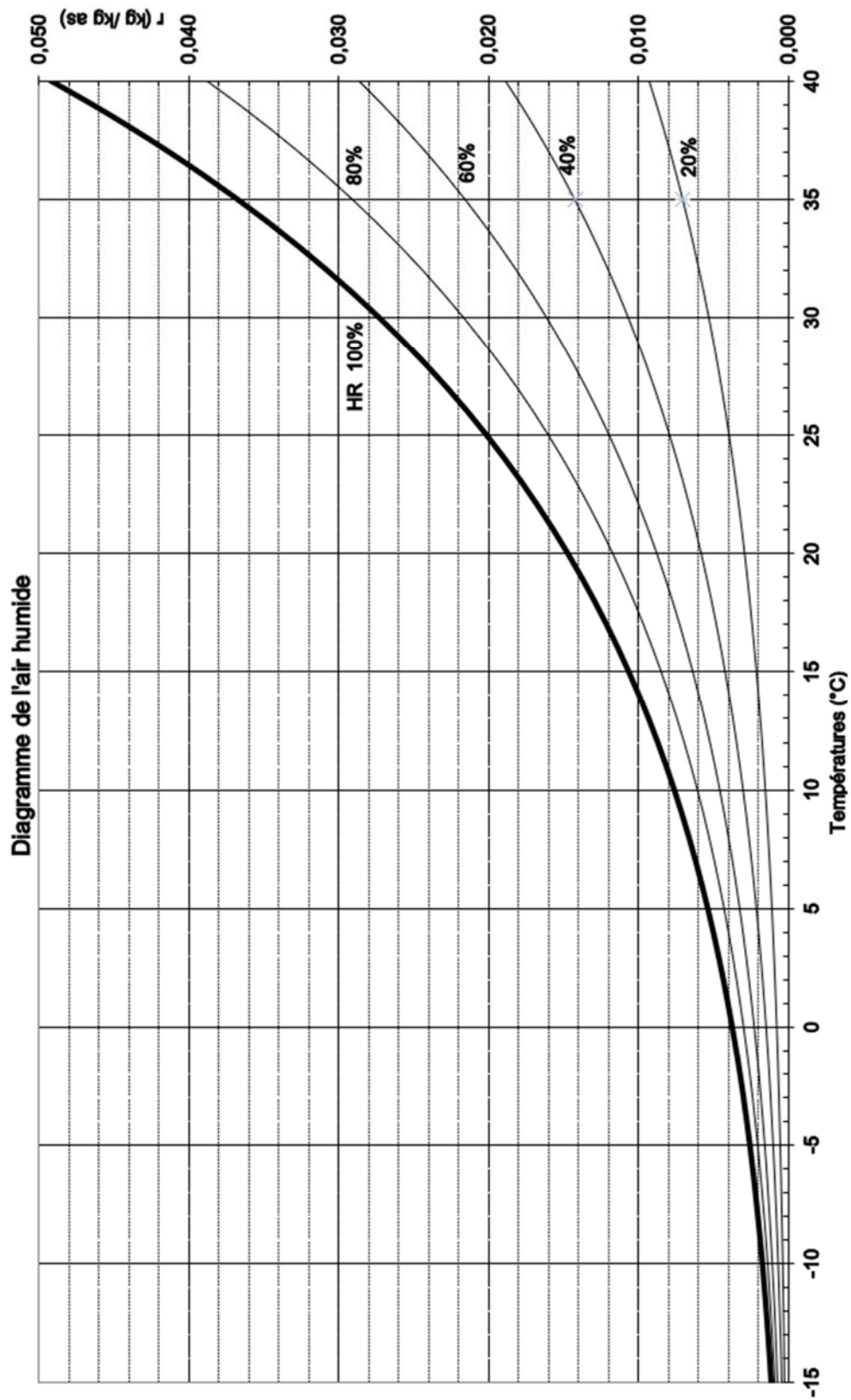
	e [m]	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]
R_{se}			
Enduit	0,01	0,87	0,01
Béton armé	0,2	1,65	0,12
Isolant			
Revêtement ignifugé FERMACELL	0,02	0,32	0,06
R_{si}			
Résistance thermique de la paroi			
$U_{pv} =$			

Tableau 1 : transferts thermiques par la paroi verticale étudiée



Coupe de principe de la toiture terrasse : flux thermique

DOCUMENT RÉPONSES DRS2 (question C.5)



Énergies et Environnement

CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE DE PORETTE DE NÉRONE



- Présentation de l'étude et questionnaire..... pages 21 à 23
- Documents techniques DTS1 à DTS4..... pages 24 à 26
- Documents réponses DRS1 à DRS5..... pages 27 à 28

Mise en situation

Une centrale photovoltaïque utilisant des trackers a un gain de production d'énergie d'environ 15 % par rapport à une centrale à panneaux fixes. Pour réaliser ce gain, il est nécessaire de motoriser les panneaux solaires pour suivre la course du soleil.

L'optimisation de la production d'une centrale photovoltaïque passe aussi par la minimisation de la consommation des actionneurs auxiliaires et l'accroissement au maximum de l'efficacité énergétique de chaque élément de la chaîne de puissance.

Travail demandé

Partie A : le système de suivi du soleil permet-il d'optimiser la production de la centrale ?

Question A.1
DTS1 | À l'aide des graphiques du DTS1, **relever** la période de l'année et les périodes de la journée pendant lesquelles la productivité du système de tracking est plus importante que celle du système fixe.

Question A.2
DTS1, DRS1 | À l'aide du graphique N° 2 du DTS1, **compléter** le tableau sur le document réponse DRS1 et **calculer** le gain annuel de production (Gap) en kW·h apporté par ce système de tracking.
Calculer ce gain en pourcentage (Gap%).

Question A.3 | À partir de ce gain en %, **calculer** la quantité d'énergie gagnée en 1 an par la centrale, sachant que sa production annuelle en l'absence de tracker serait de 4970 MW·h.

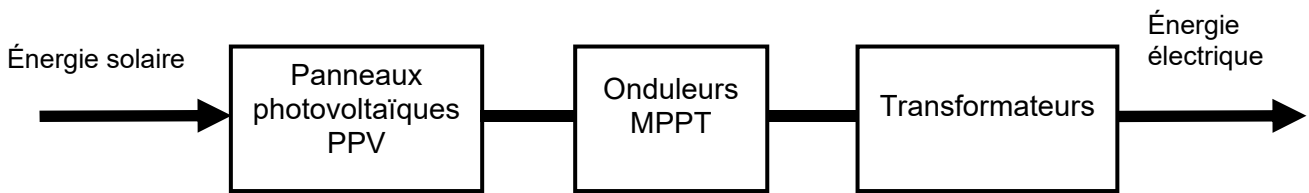
Question A.4 | Le système de tracking comporte 101 motoréducteurs d'une puissance électrique unitaire de 4680 W, **calculer** l'énergie annuelle consommée par les moteurs (Eacm) sur une base de fonctionnement de 2 minutes/jour pour aller de -45° à +45° aller-retour. **Exprimer** le résultat en MW·h.

Question A.5
DTS1 | Au regard des valeurs calculées précédemment, **conclure** sur le gain réel apporté par le système de tracking.

Partie B : comment optimiser la puissance fournie par les panneaux photovoltaïques ?

La puissance fournie par un panneau photovoltaïque (PPV) dépend de son point de fonctionnement. Pour avoir une efficacité maximum, il convient de rechercher en permanence le point de fonctionnement au maximum de puissance. Ce point est déterminé par un contrôleur MPPT " Maximum Power Point Tracking" intégré à l'onduleur.

On distingue les onduleurs MPPT et les onduleurs classiques.



Avec un onduleur classique, la tension aux bornes des panneaux photovoltaïques est considérée comme constante.

Question B.1 | Pour une tension de 48 V, **compléter** le tableau du document DRS2 en indiquant pour chaque valeur d'ensoleillement la puissance fournie par le panneau photovoltaïque.

DTS2, DRS2

Avec un onduleur MPPT, la tension est calculée pour faire fonctionner le panneau photovoltaïque à sa puissance maximale.

Question B.2 | Dans le cas de l'utilisation d'un onduleur MPPT, **relever** pour chaque valeur d'ensoleillement, la puissance fournie par le panneau photovoltaïque. **Compléter** le document DRS2.

DTS2, DRS2

On considère que chacune des cinq valeurs d'ensoleillement est constante sur une durée de 2h dans une journée.

Question B.3 | **Calculer** l'énergie fournie par le panneau photovoltaïque pour chaque valeur d'ensoleillement dans le cas de l'utilisation d'un onduleur classique. **Compléter** le DRS2.

DTS2, DRS2

Question B.4 | **Calculer** l'énergie fournie par le panneau photovoltaïque pour chaque valeur d'ensoleillement dans le cas de l'utilisation d'un onduleur MPPT. **Compléter** le DRS2.

DTS2, DRS2

Question B.5 | **Calculer** l'énergie totale fournie par le panneau photovoltaïque pour l'ensemble des valeurs d'ensoleillement dans le cas de l'utilisation d'un onduleur classique (E_{TC}) et dans le cas de l'utilisation d'un onduleur MPPT (E_{TMPPT}).

Question B.6 | **Exprimer** en pourcentage le gain énergétique obtenu par l'utilisation d'un onduleur MPPT ($G_{MPPT}\%$) et **conclure** sur l'optimisation de la puissance fournie par les panneaux photovoltaïques.

Partie C : quelle est l'influence de la température sur le fonctionnement de l'onduleur ?

Les tensions générées par les panneaux photovoltaïques doivent être dans les limites acceptables de l'onduleur.

Question C.1 | À l'aide du diagramme de définition des blocs du DTS3, **relever** la plage
DTS3 | de tension autorisée à l'entrée de l'onduleur.

La plage de température sur le site est : $T_{min} : - 20^{\circ}\text{C}$, $T_{max} : 70^{\circ}\text{C}$.

Question C.2 | À l'aide de la caractéristique $U = f(T^{\circ})$ à l'entrée de l'onduleur du DTS4,
DTS4 | **déterminer** les tensions alimentant l'onduleur pour les 2 températures extrêmes du site.

Question C.3 | **Préciser** si l'installation peut fonctionner sur toute la plage de
température du site.

Partie D : quelle est l'influence des différents rendements des constituants sur le rendement global de la centrale ?

Les panneaux photovoltaïques de la centrale sont répartis géographiquement en 9 zones de puissance équivalente. Chaque zone est reliée au local onduleurs par un ensemble de câbles.

Les pertes joules de l'ensemble des câbles reliant les panneaux photovoltaïques aux onduleurs sont égales à $P_J = 38 \text{ kW}$.

Le rendement des onduleurs $\eta_{OND} = 98 \%$.

Le rendement des postes de transformations $\eta_{PT} = 96 \%$.

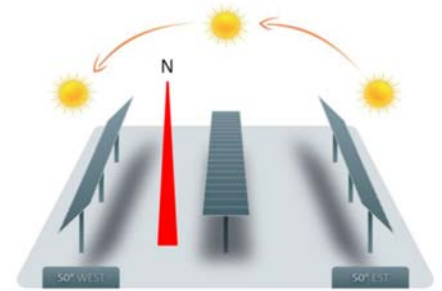
Question D.1 | À partir des valeurs inscrites sur le DRS3, **calculer** les différentes
DRS3 | puissances P_L , P_{OND} et P_S .
Compléter les valeurs sur le DRS3.

Question D.2 | **Calculer** le rendement global de la centrale photovoltaïque (η_G) et **indiquer**
DRS3 | le groupe de constituants qui a le plus faible rendement.

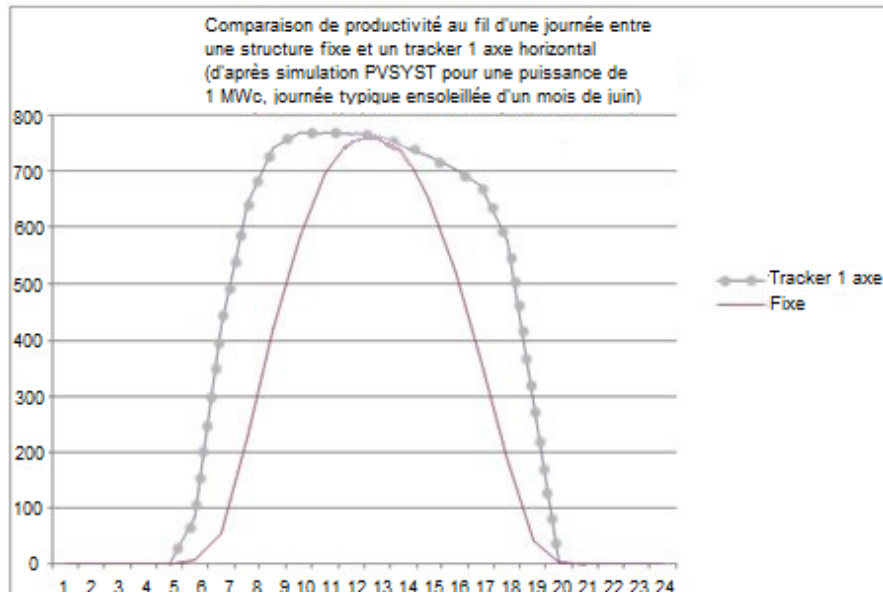
DTS1 : tracking structures fixes et mobiles

Le système de tracking a pour fonction principale de positionner les panneaux le plus perpendiculairement possible au rayonnement incident du soleil.

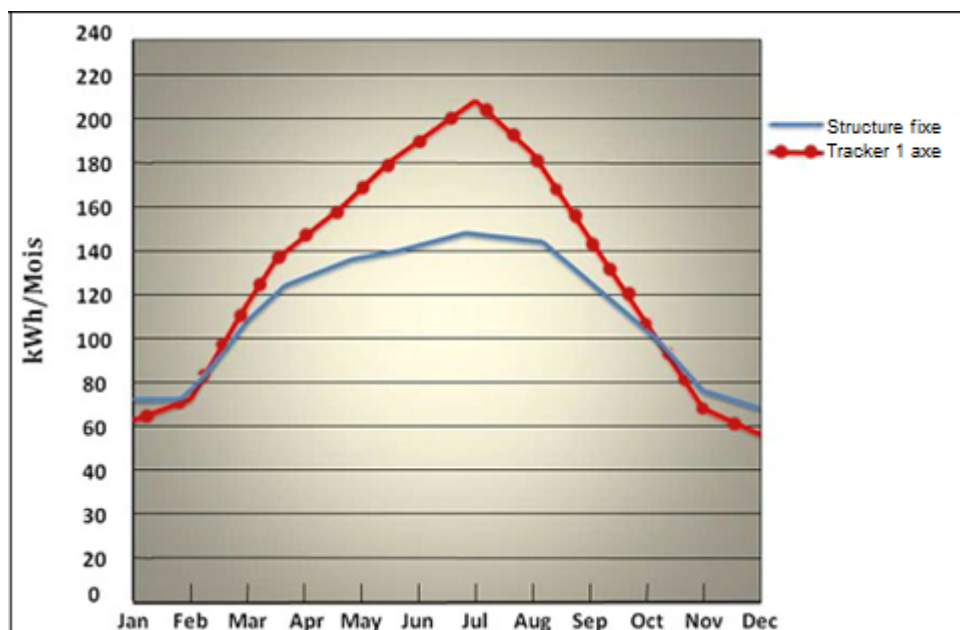
Ce système permet aussi de mettre les panneaux en position horizontale pour assurer la sécurité ou des opérations de maintenance.



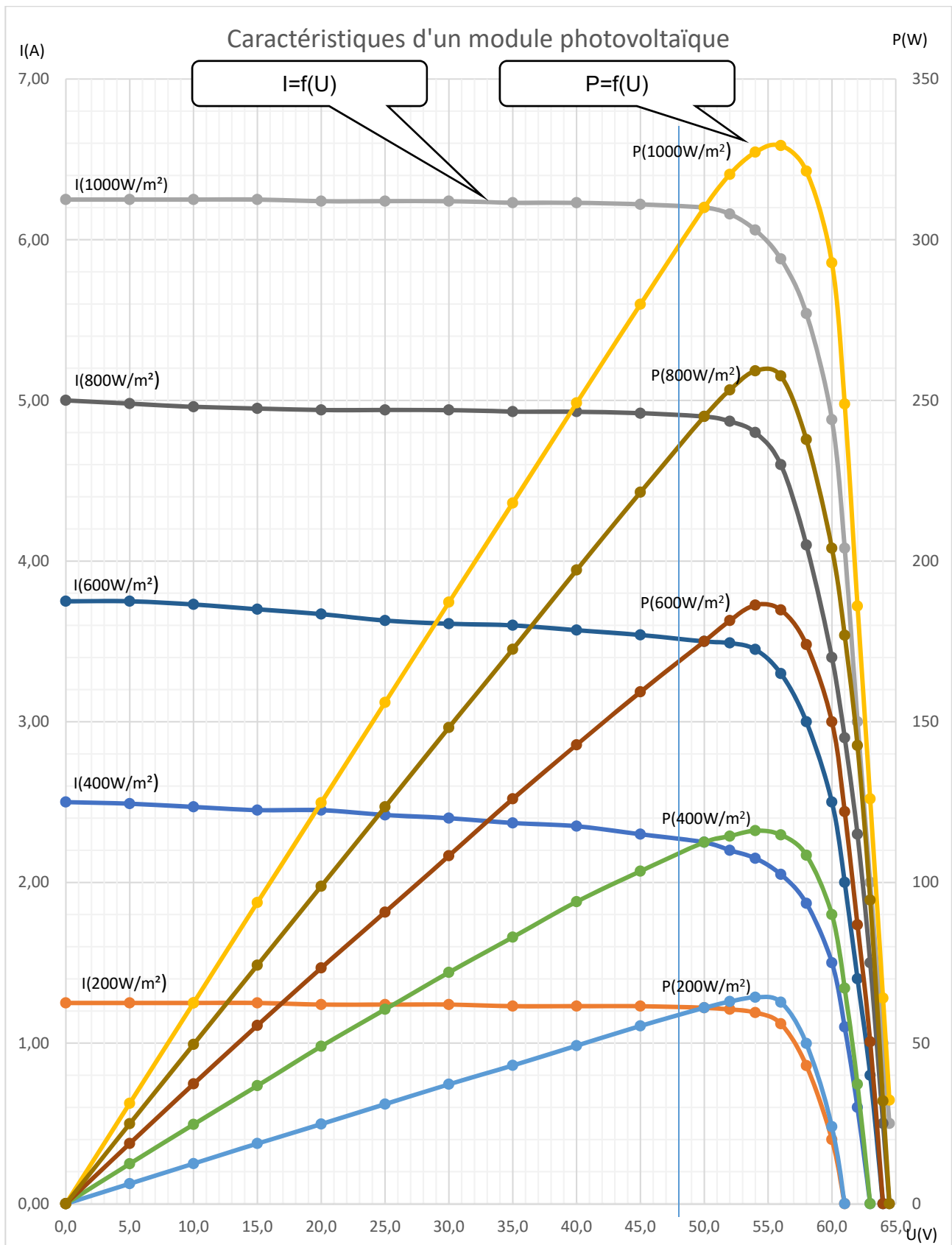
Graphique N°1 : comparaison des structures fixes et mobiles



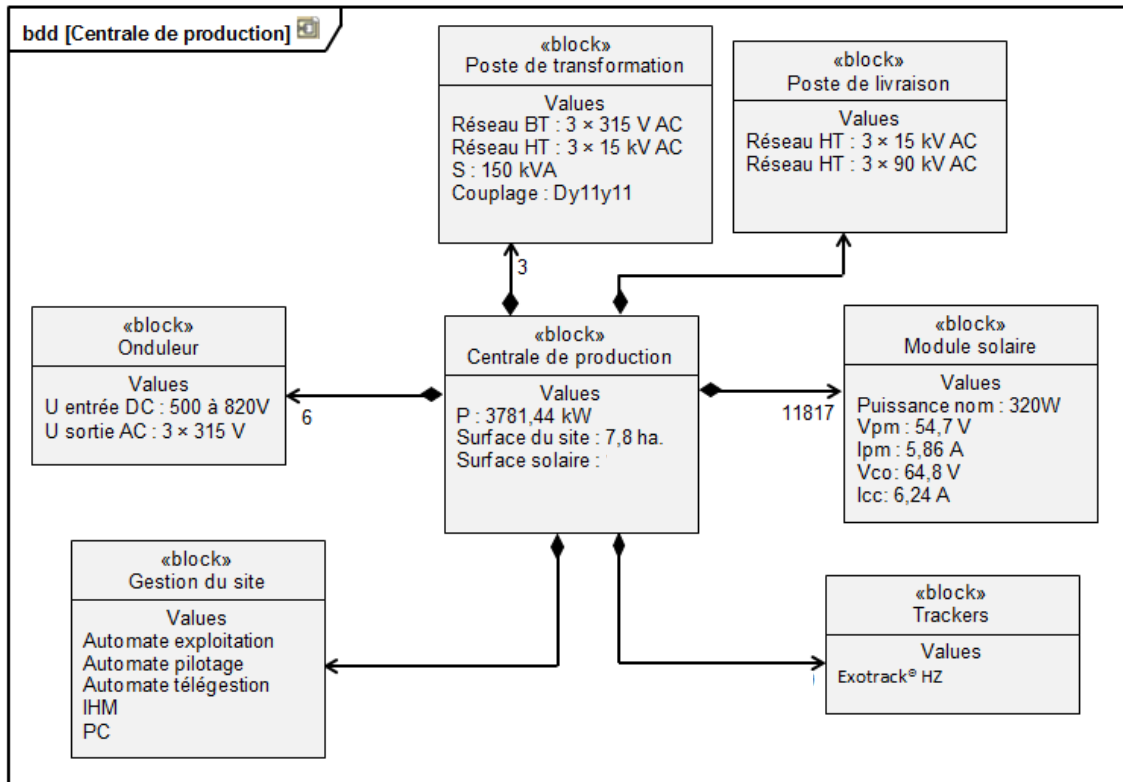
Graphique N°2 : comparaison de la production mensuelle d'énergie entre une structure fixe et une structure avec tracker sur une partie de la centrale



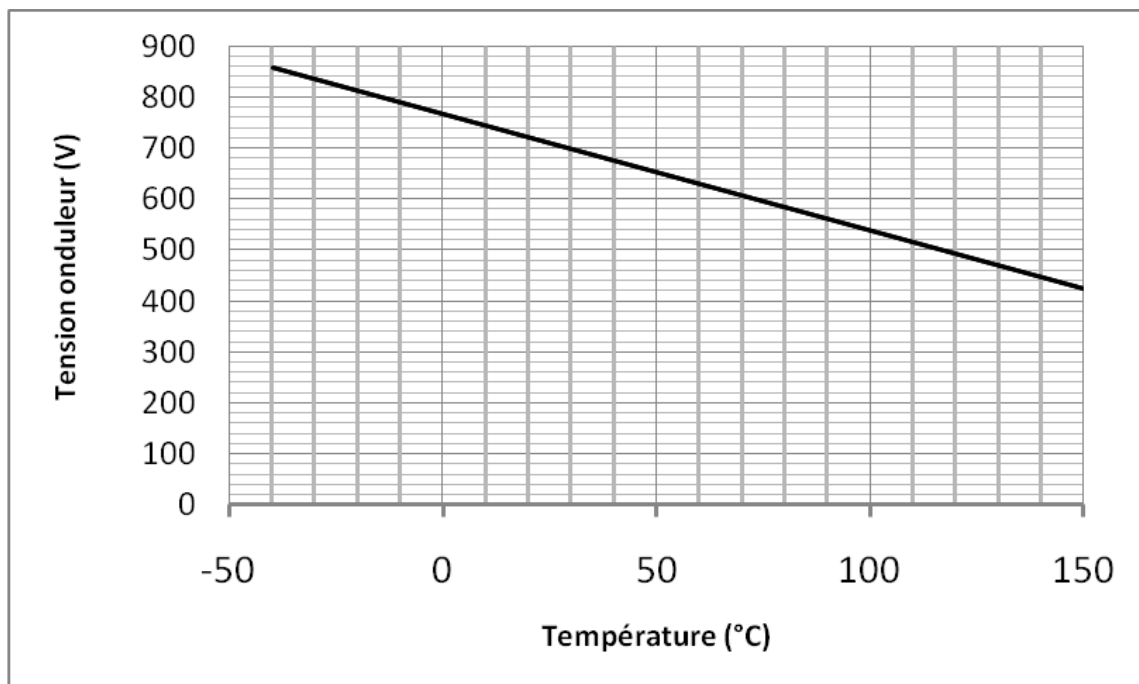
DTS2 : caractéristiques électriques d'un module photovoltaïque



DTS3 : diagramme de définition de la centrale



DTS4 : caractéristique $U = f(T^\circ)$ à l'entrée de l'onduleur MPPT



DOCUMENT RÉPONSE DRS1

Question A.2

En kW.h	jan	fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Structure fixe	72	78	110	128			147	142	123	102	79	69	
Trackers un axe	62	73	118	146	168	190		184	145	108	66	58	

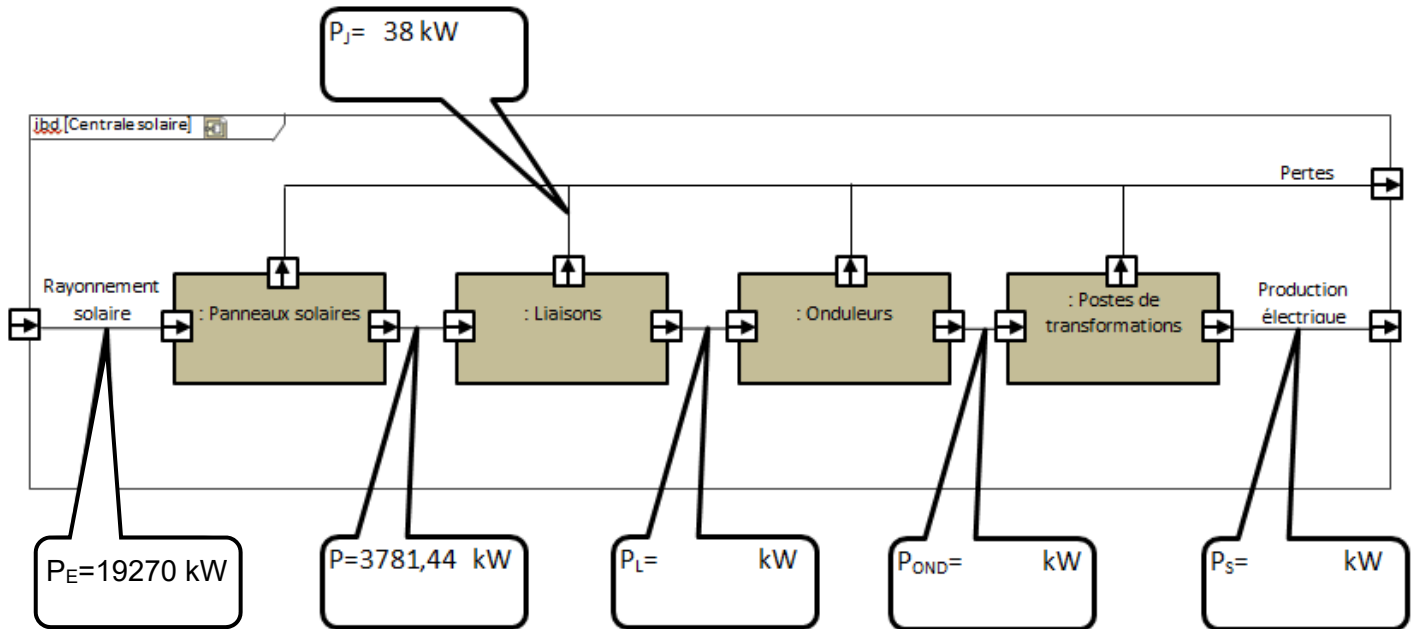
DOCUMENT RÉPONSES DRS2

Questions B.1, B.2, B.3, B.4

	Ensoleillement ($W \cdot m^{-2}$)	200	400	600	800	1000
Question B.1	Puissance fournie par le PPV avec un onduleur classique (W)					
Question B.2	Puissance fournie par le PPV avec un onduleur MPPT (W)					
Question B.3	Énergie fournie par le PPV sur 2h avec un onduleur classique (Wh)					
Question B.4	Énergie fournie par le PPV sur 2h avec un onduleur MPPT (Wh)					

DOCUMENT RÉPONSES DRS3

Question D.1



Innovation Technologique et Éco-Conception

Centrale photovoltaïque de Porette de Nérone



- Présentation de l'étude et questionnaire..... pages 21 à 26
- Documents techniques DTS1 à DTS6 pages 27 à 29
- Documents réponses DRS1 et DRS2 pages 30

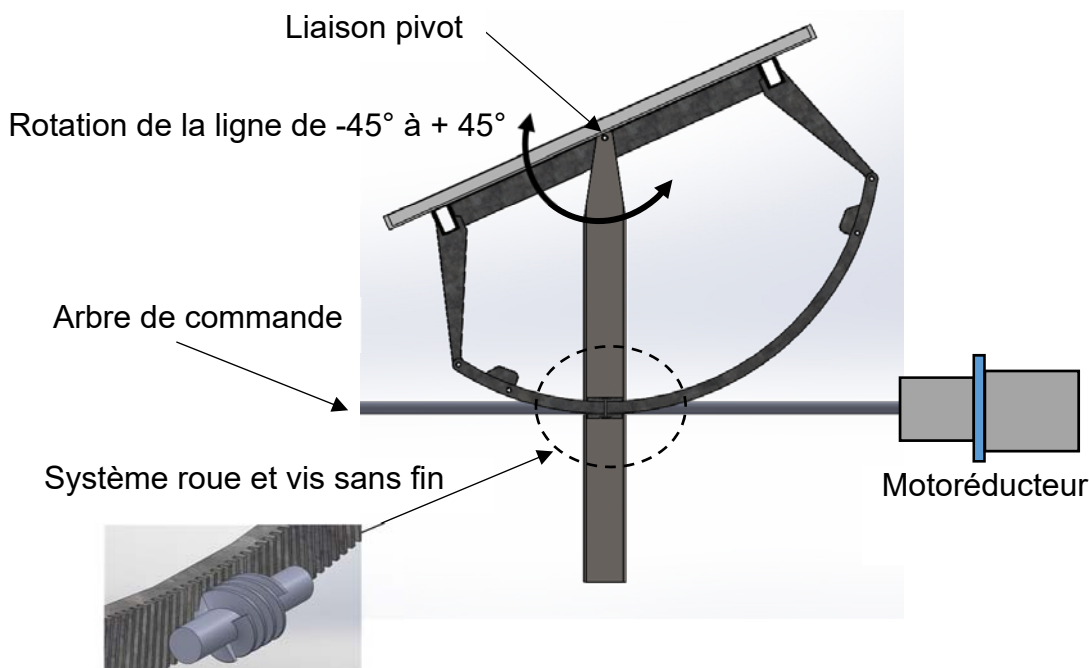
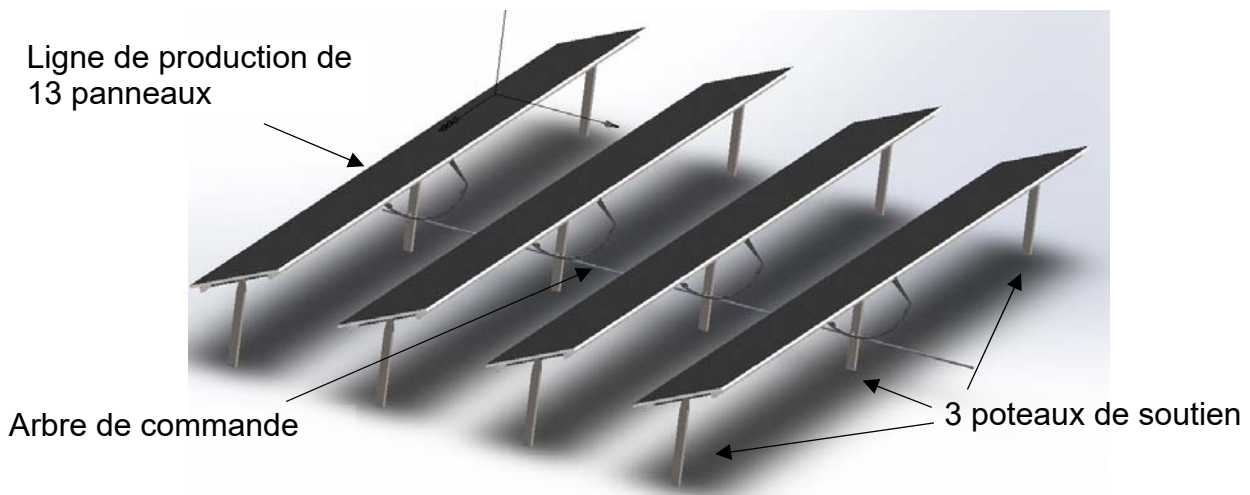
Mise en situation

Afin d'optimiser la production de la centrale photovoltaïque, un système de tracking est utilisé. Le gain de production sera effectif seulement si la sécurité du matériel et son fonctionnement sont garantis dans des conditions météorologiques extrêmes.

Structure du système de tracking

L'ensemble est constitué d'une structure fixe liée au sol (3 poteaux par ligne) et d'une structure mobile (13 panneaux photovoltaïques), appelée « ligne de production ». La structure mobile est en liaison pivot par rapport à la structure fixe.

Chacune de ces lignes possède un système d'orientation des panneaux réalisé à l'aide d'un système roue et vis sans fin. Le mouvement est assuré par un seul motoréducteur qui manœuvre 9 lignes de production. Pour cela, il entraîne en rotation un arbre de commande commun aux 9 systèmes « roue et vis sans fin ».



Travail demandé

Partie A : la chaîne de puissance permet-elle de manœuvrer l'ensemble des panneaux par grand vent ?

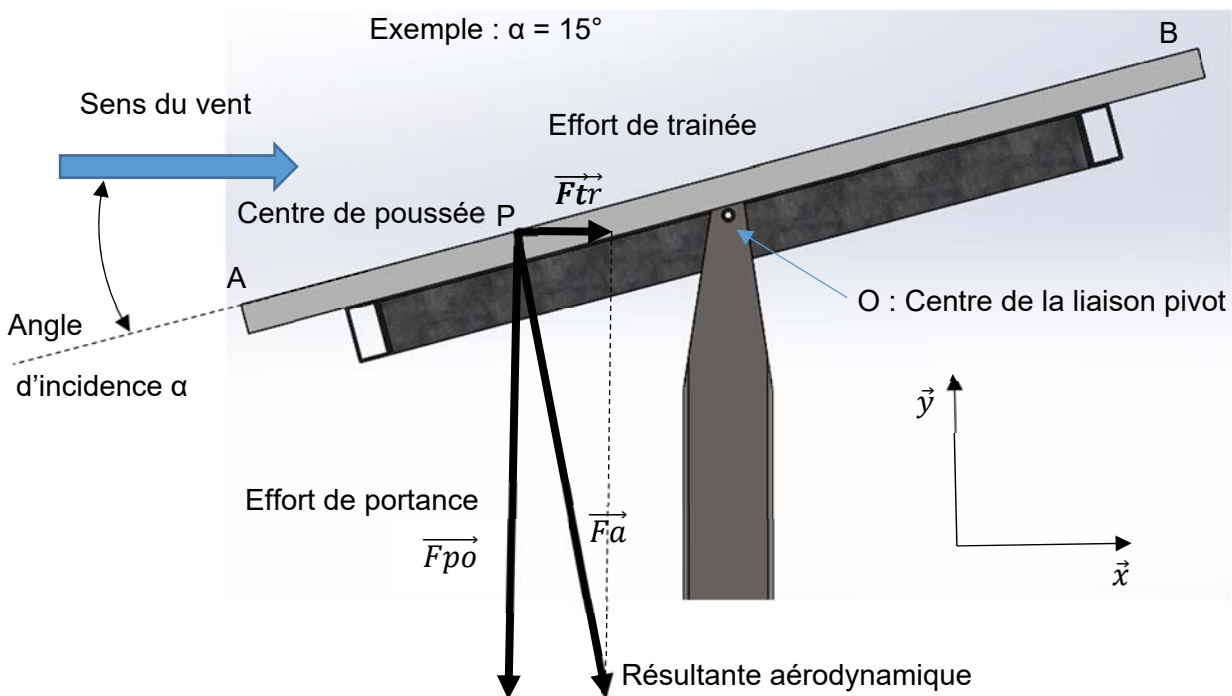
Le système de motorisation doit être capable de ramener les panneaux photovoltaïques en position horizontale si le vent dépasse la vitesse de $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Nous allons évaluer les efforts que doit supporter le système de commande et vérifier si le motoréducteur choisi est capable de réaliser cette action.

L'action du vent sur une plaque inclinée génère deux actions mécaniques :

- La force \vec{F}_{tr} qui provoque la trainée suivant l'axe x (effort de trainée)
- La force \vec{F}_{po} qui provoque la portance suivant l'axe y (effort de portance)

Elles composent la résultante aérodynamique \vec{F}_a

$$\vec{F}_a = \vec{F}_{tr} + \vec{F}_{po}$$



Le centre de poussée P est situé à un quart de la corde de la plaque ($AP = \frac{1}{4} AB$). La longueur de la plaque AB est de 1559 mm.

Sous-partie A1 : quels efforts exerce un vent de $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ sur les panneaux photovoltaïques ?

Question A.1.1 | À l'aide du document DTS1, relever dans quelle(s) position(s) l'intensité de la résultante aérodynamique est la plus faible, puis justifier que, par grand vent, la position de sécurité horizontale est bien le meilleur compromis.

DTS1

Question A.1.2	(Réponses sur DRS1)
DTS1 DRS1	A l'aide du document DTS1, relever les valeurs des efforts de portance (F_{po}), de trainée (F_{tr}) et la résultante aérodynamique (F_a) pour un angle α de 45° . Compléter les composantes du torseur d'action mécanique $\{T_{vent \rightarrow panneau}\}$, dans le repère associé $O(x, y, z)$ au centre de poussée P, qui servira à modéliser cette action sur un logiciel de simulation.
Question A.1.3 DRS1	Sur le document réponse DRS1, l'ensemble est représenté à 45° . Placer le centre de poussée (point P) sur le dessin (en utilisant la relation $AP = \frac{1}{4} AB$), puis représenter les vecteurs forces \vec{F}_{po} , \vec{F}_{tr} , \vec{F}_a . <i>L'échelle de représentation des vecteurs est de 1cm pour 200N.</i>

Une simulation donnée sur le DTS1 a permis de déterminer le couple nécessaire pour mettre en rotation un panneau solaire en fonction de son inclinaison avec un vent de $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Question A.1.4 DTS1	Relever le couple résultant C_r pour un angle de 45° .
Question A.1.5	Calculer le couple C_u nécessaire pour mettre en rotation une ligne de production composée de 13 panneaux.

Sous-partie A2 : quelle est la puissance nécessaire pour déplacer les panneaux photovoltaïques par grand vent ?

Le diagramme d'exigences impose « une rotation de 0 à 45° en 30 secondes maximum » des lignes de production si le vent atteint de $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

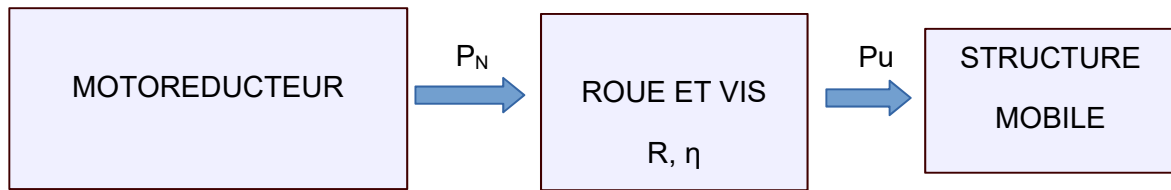
Question A.2.1 | **Calculer** la vitesse imposée N_u en $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$ puis ω_u en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

La puissance nécessaire pour mettre en mouvement une ligne de 13 panneaux par vent fort sera notée P_u et s'exprime : $P_u = C_u \times \omega_u$. Quel que soit le résultat trouvé à la question A.1.5, prendre $C_u = 5\,330 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Question A.2.2 | **Calculer** la puissance P_u .

Afin de vérifier si la motorisation peut mettre en mouvement les 9 lignes de production simultanément, il est nécessaire d'étudier plus précisément la chaîne de transmission de puissance. Quel que soit le résultat trouvé pour la question A.1.5, pour la suite, $P_u = 140 \text{ W}$.

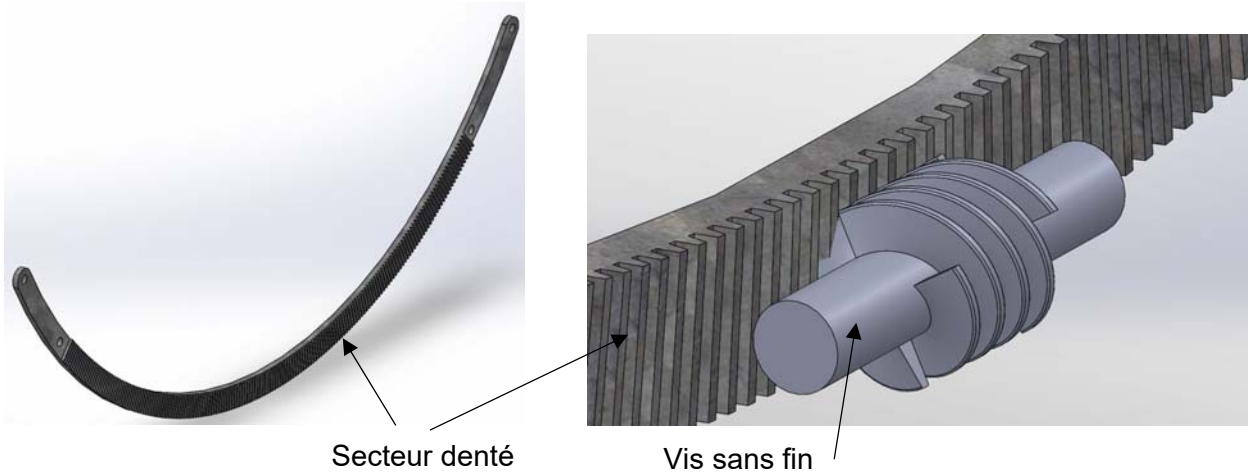
Schéma de la chaîne de transmission de puissance :



R : rapport de réduction

η : rendement

Le système « roue et vis sans fin » est constitué d'une vis sans fin qui entraîne en rotation un secteur denté de 90° possédant 125 dents. Ce secteur denté est une partie (le quart) d'une roue complète qui posséderait 500 dents ($Z_{roue} = 500$).



La vis sans fin peut posséder de 1 à 4 filets. Ce nombre de filet détermine le rapport de réduction R , le rendement η et la réversibilité.

Le système est dit « réversible » si la rotation du secteur denté permet de faire tourner la vis sans fin. Il est dit « irréversible » dans le cas contraire.

Le constructeur a choisi un réducteur « roue et vis sans fin » à 2 filets.

Question A.2.3 | À l'aide du document DTS2, relever le rapport de réduction R du système DTS2 roue et vis sans fin, son rendement η et sa réversibilité.

Question A.2.4 | Expliquer en quoi la réversibilité peut nuire au fonctionnement de l'ensemble.

Question A.2.5 | Compte tenu du rendement du réducteur, **calculer** la puissance P_m
DTS2 nécessaire pour mettre en mouvement une ligne de production de 13
panneaux.

Le constructeur a choisi un motoréducteur de puissance nominale $P_N = 3 \text{ kW}$, vitesse de rotation nominale $N_N = 65 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$

Question A.2.6 | Compte tenu de la puissance nominale du moteur P_N , **déterminer** combien
de lignes de production peut manœuvrer le moteur.

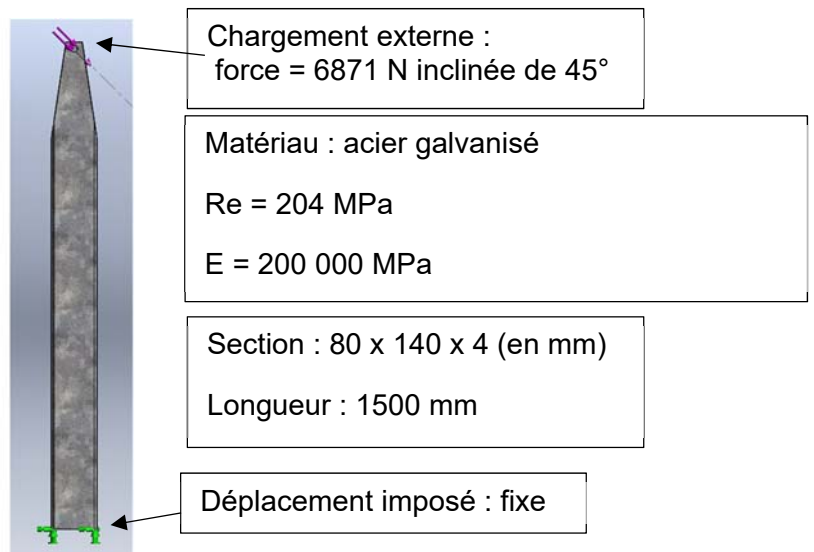
Question A.2.7 | Compte tenu du rapport de réduction du réducteur, **calculer** la vitesse de
DTS2 rotation de la structure mobile.

Déterminer le temps nécessaire pour ramener la ligne de production de 45° à l'horizontale ?

Question A.2.8 | **Conclure**, au regard des choix constructeur, sur les capacités de
l'ensemble à manœuvrer 9 lignes de production par grand vent.

Partie B : la structure porteuse peut-elle résister aux conditions météorologiques extrêmes ?

L'étude porte sur les poteaux de soutien (3 par ligne de production) afin de vérifier leur tenue aux conditions de vent extrêmes. Ils sont réalisés en acier galvanisé S235JR, avec des tubes de sections rectangulaires et de longueur 1500 mm au-dessus du sol.



Question B.1 | La résultante aérodynamique (F_a) pour un seul panneau est de 1057 N. Compte tenu qu'une ligne de production de 13 panneaux repose sur 3 poteaux de façon isostatique, **justifier** la valeur de 6871 N utilisée pour le chargement externe sur le poteau central, sachant qu'il reprend la moitié de la charge totale.

Question B.2 | **Justifier** le déplacement imposé « Fixe » sur le modèle donné.

Le cahier des charges impose les éléments suivants :

- coefficient de sécurité du constructeur $C_s = 2$
- flèche maximale de 5 mm (déplacement maximal d'un point de la poutre) afin de ne pas trop modifier l'angle d'inclinaison des panneaux par rapport au soleil.

Question B.3 | **Relever** sur le résultat de la simulation DTS5 la contrainte maximale dans le mât de soutien en MPa. En **déduire** par le calcul le coefficient de sécurité du résultat de la simulation. **Comparer** à celui prévu par le constructeur.

Question B.4 | À l'aide du DTS5, **indiquer** la valeur de la flèche maximale f_{\max} obtenue par la simulation. La **comparer** au cahier des charges. Si celui-ci n'est pas conforme, **proposer** les solutions afin de respecter la flèche maximale du cahier des charges.

Question B.5 | **Conclure** sur la capacité de la structure porteuse à résister aux conditions météorologiques extrêmes.

Partie C : comment minimiser l'impact environnemental de la structure porteuse et résister aux conditions météorologiques extrêmes ?

Dans cette partie, on cherche à identifier les stratégies utilisées par le constructeur pour minimiser les impacts environnementaux et améliorer la durabilité de l'ensemble.

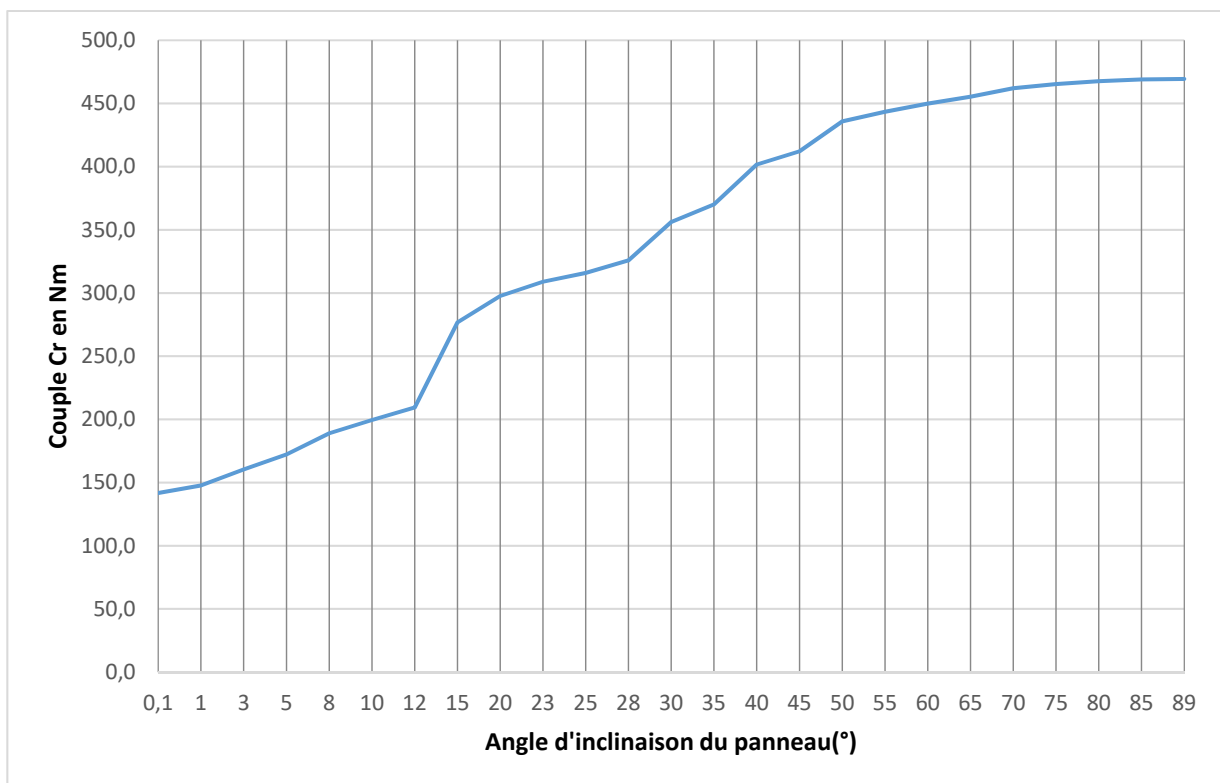
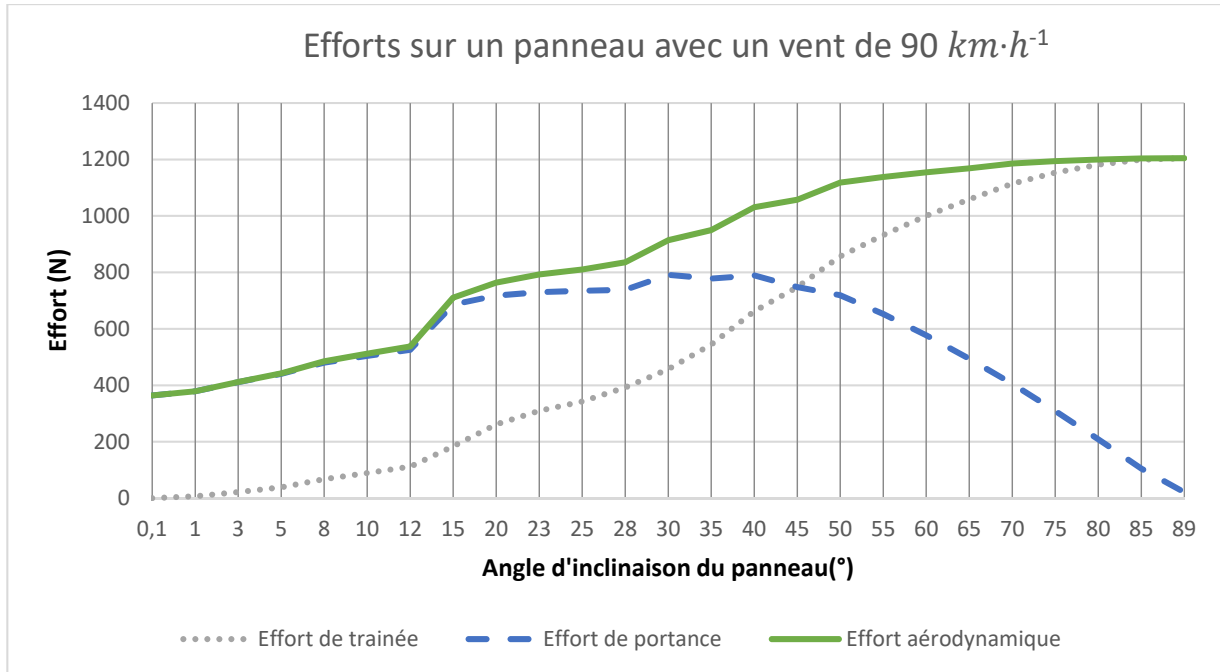
Question C.1 | **Entourer** sur le document DRS2 la famille de matériaux utilisée pour réaliser la structure mobile et le système de commande (Acier non allié).

Question C.2 | À partir des graphiques du DRS2 et du DTS3, **citer** les quatre critères pris en compte dans le choix du matériau.

Question C.3 | Le constructeur a choisi un acier non allié galvanisé pour l'ensemble de la structure métallique du système, **indiquer** le critère sur lequel la galvanisation apporte une amélioration.

DTS1 : résultats de la simulation

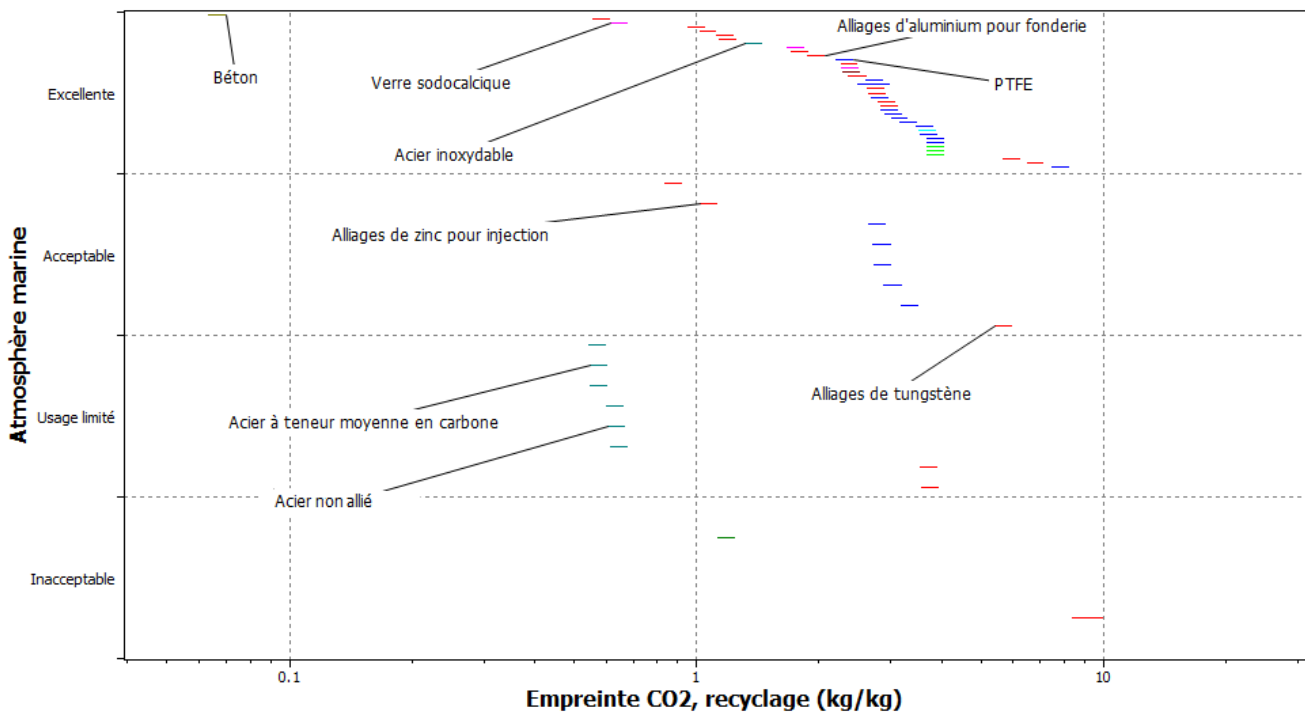
Les courbes suivantes mettent en évidence les forces de trainée, de portance, la force aérodynamique et le couple résistant simulés pour un vent de $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ soufflant sur un panneau photovoltaïque de dimensions $1046 \text{ mm} \times 1559 \text{ mm}$ pour un angle d'incidence variant de 0 à 90° .



DTS2 : caractéristiques du réducteur roue et vis sans fin

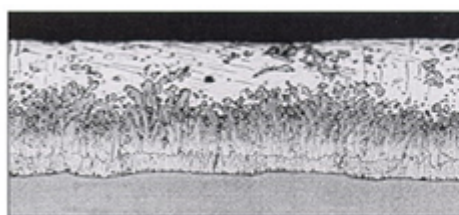
	Vis à 1 filet	Vis à 2 filets	Vis à 3 filets	Vis à 4 filets
Rapport de réduction	$\frac{1}{Zroue}$	$\frac{2}{Zroue}$	$\frac{3}{Zroue}$	$\frac{4}{Zroue}$
Rendement	$\eta = 0.52$	$\eta = 0.64$	$\eta = 0.78$	$\eta = 0.90$
réversibilité	Non	Non	oui	oui

DTS3 : aide au choix de matériau



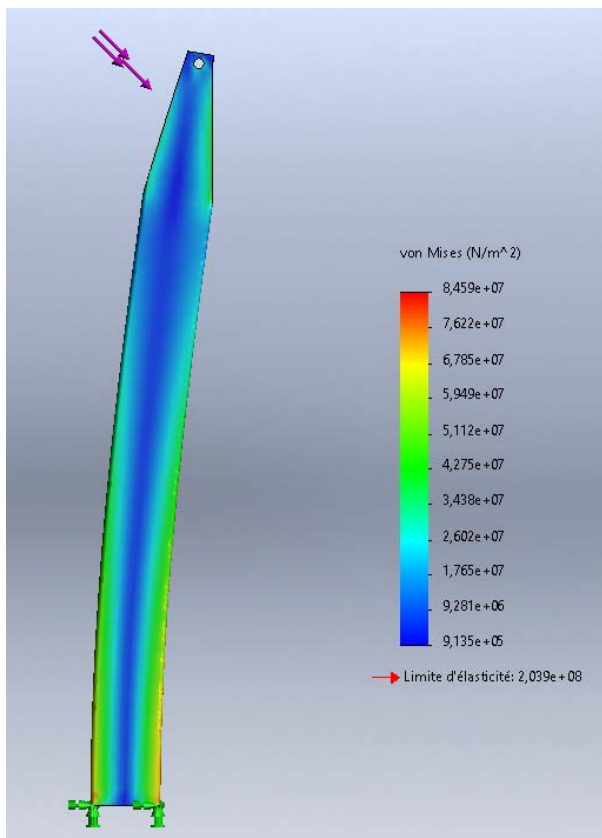
DTS4 : acier galvanisé

La galvanisation de l'acier améliore très sensiblement la résistance de l'acier à la corrosion en formant une couche protectrice de zinc. Lorsque de l'eau ou un élément corrosif entre en contact avec l'acier galvanisé, c'est la couche de zinc qui se corrode sans que l'acier ne soit affecté. La galvanisation permet en outre de limiter les impacts environnementaux en étant 100 % recyclable : le zinc de la couche protectrice et l'acier sont facilement séparés au cours du recyclage.

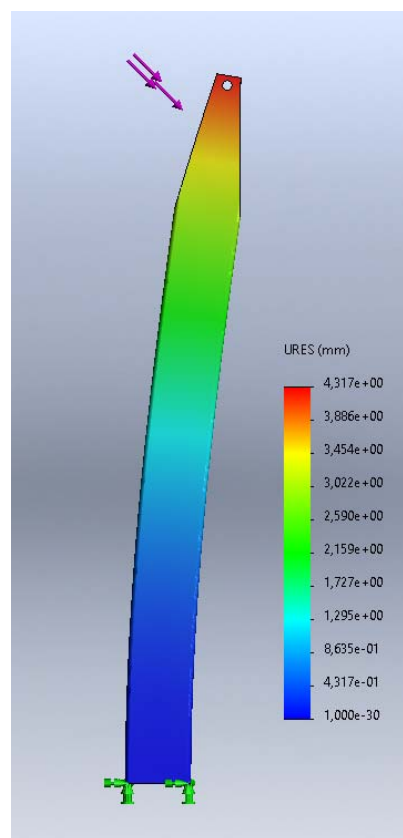


Zone de zinc pur
 Zone de mélange zinc-acier
 Zone d'acier pur

DTS5 : simulation de résistance des matériaux



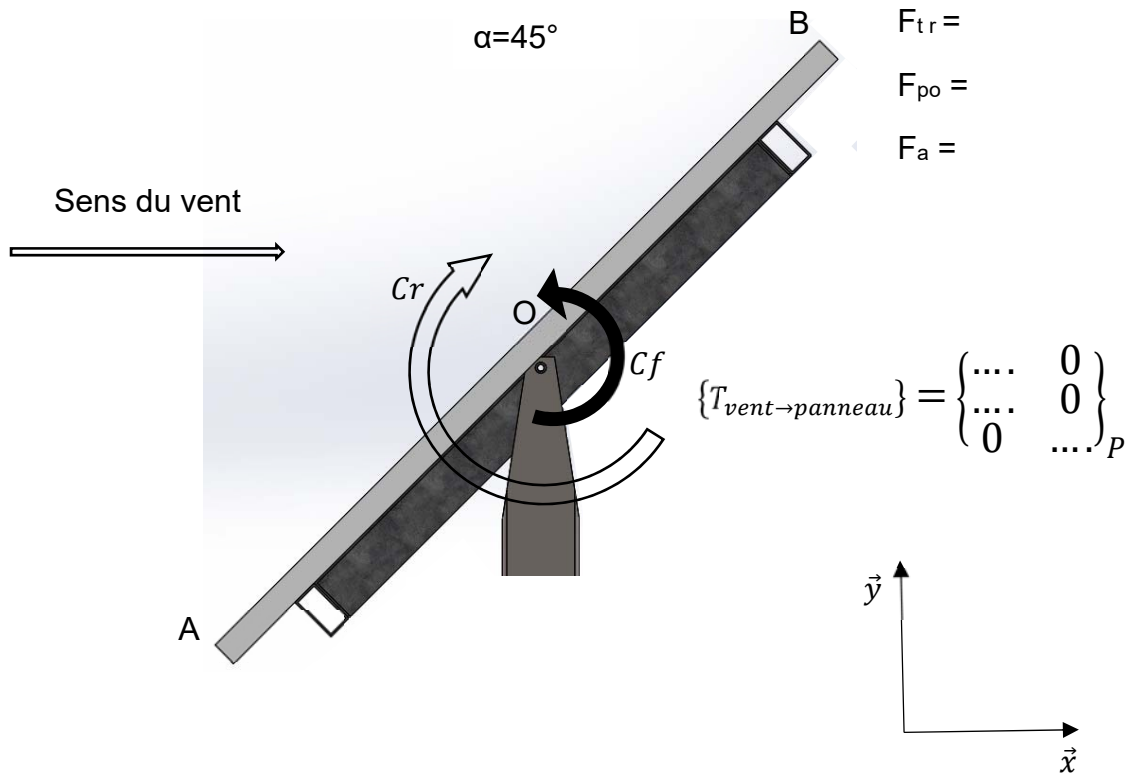
Répartition des contraintes



Déplacements (flèche)

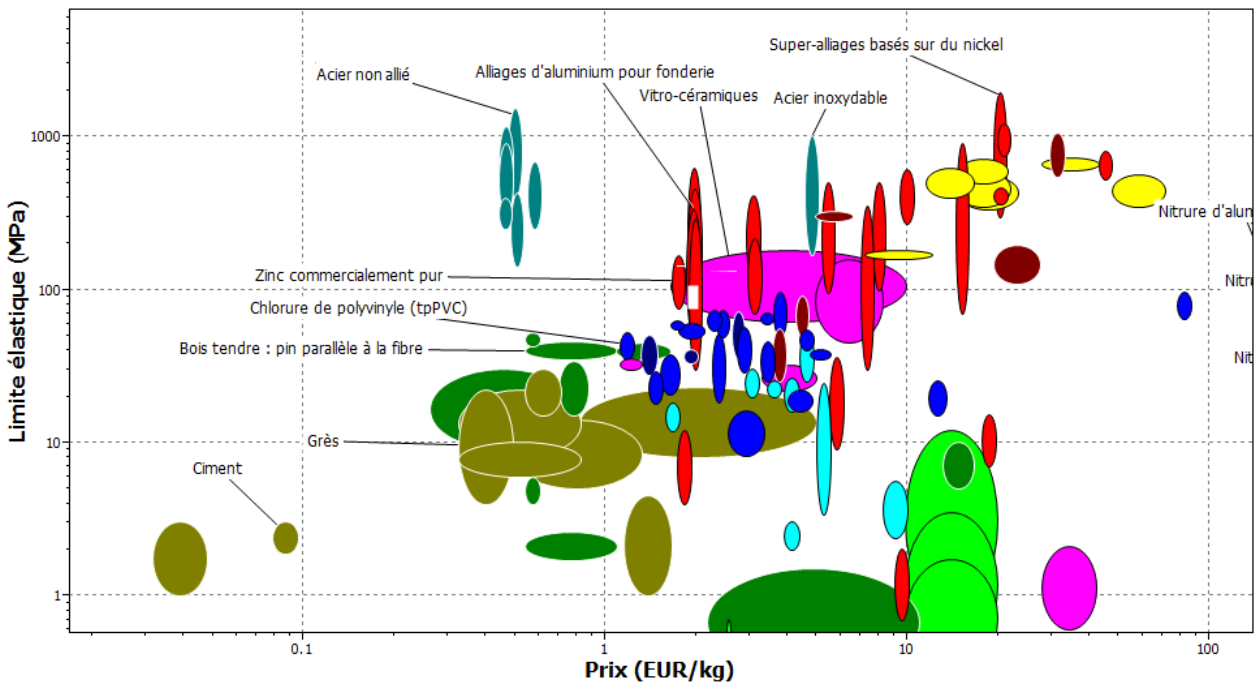
Document réponses DRS1

Question A.1.3



Document réponses DRS2

Question C.1



Systèmes d'Information et Numérique

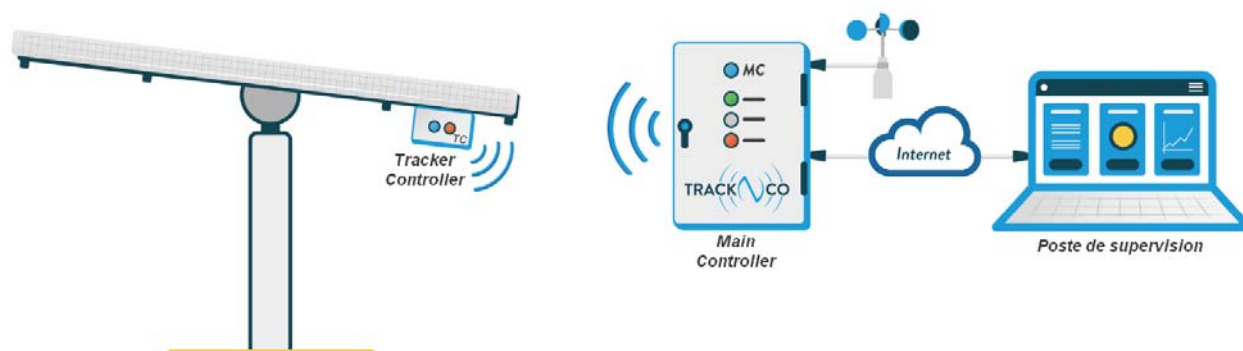
Système de contrôle des trackers solaires



- **Présentation de l'étude et questionnaire.....** 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 | **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 | **Indiquer** la nature de l'information présente aux points ① ② ③ et ④ 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 | **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.

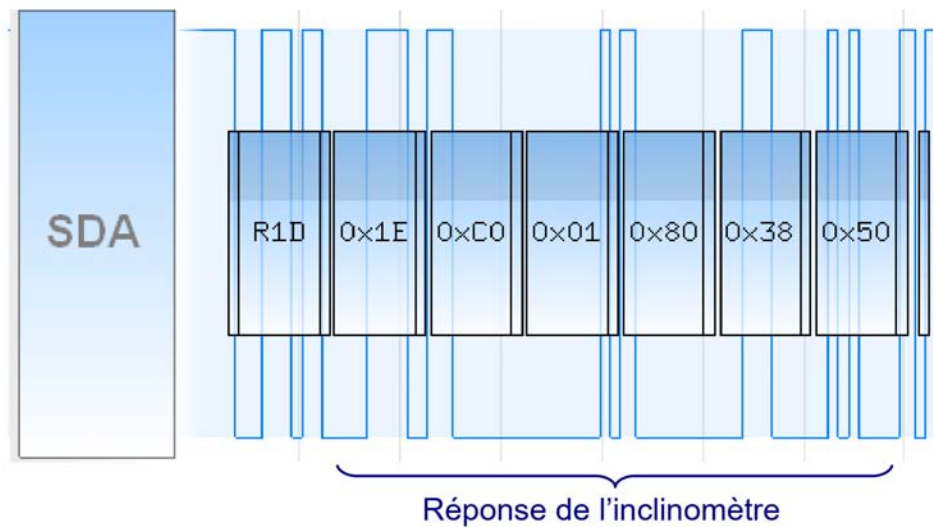
Question A.4 | **Repérer** la condition de départ (START) et le premier acquittement (ACK) en les entourant sur l'oscillogramme (DRS1).

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

Question A.5 | **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 | À l'aide de la documentation de l'inclinomètre (DTS4), **désigner** et **donner**
DTS4 les valeurs des octets porteurs de l'information d'accélération mesurée sur l'axe X.

Question B.2 | **Indiquer** la valeur en binaire des 14 bits porteurs de l'information
DTS4 d'accélération mesurée sur l'axe X.

Question B.3 | En tenant compte de la précision de mesure du capteur, **montrer** que
DTS4 l'accélération mesurée sur l'axe X est proche de 0,49 g.

Question B.4 | En **déduire** l'angle d'inclinaison sur l'axe X.
DTS4

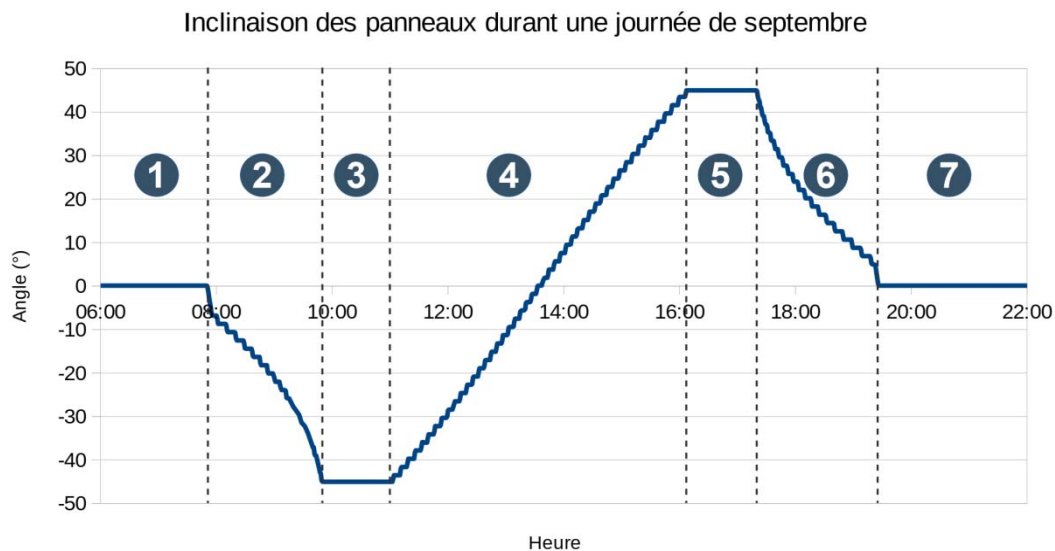
Partie C : comment piloter l'inclinaison des panneaux ?

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 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ sur la courbe précédente.

Question C.2 | 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 p_1 à p_5 (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 $-60,0^\circ$ à $+60,0^\circ$ avec une précision de $0,1^\circ$

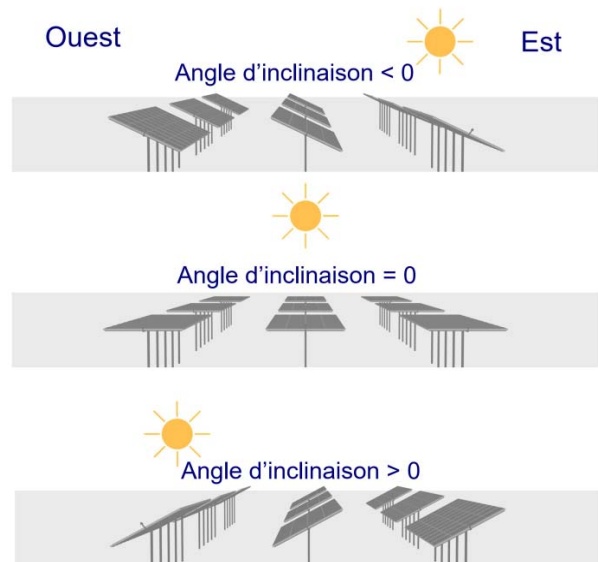
Question C.3
DRS2

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 $0,5^\circ$

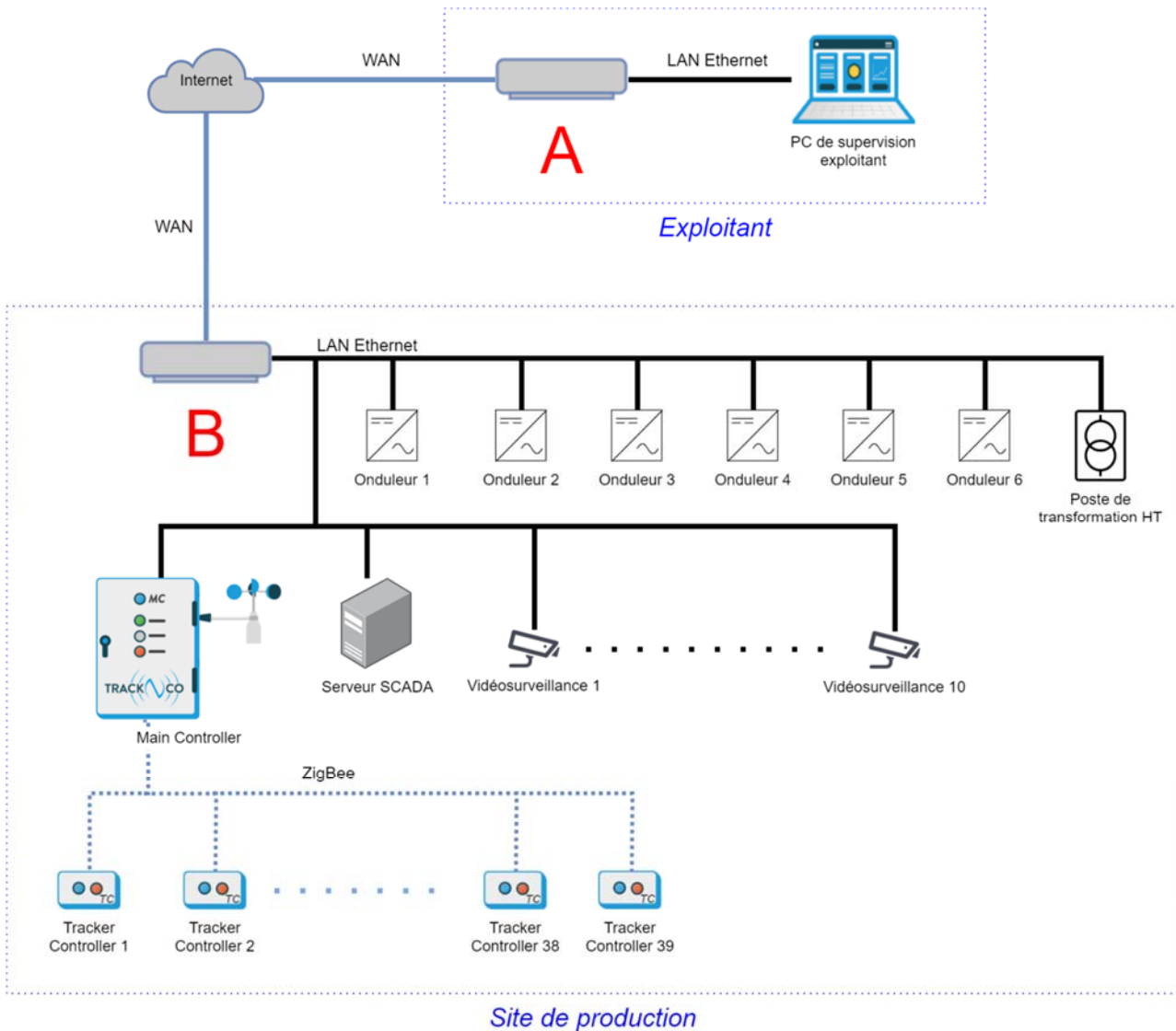
Question C.4
DRS2

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.

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
```

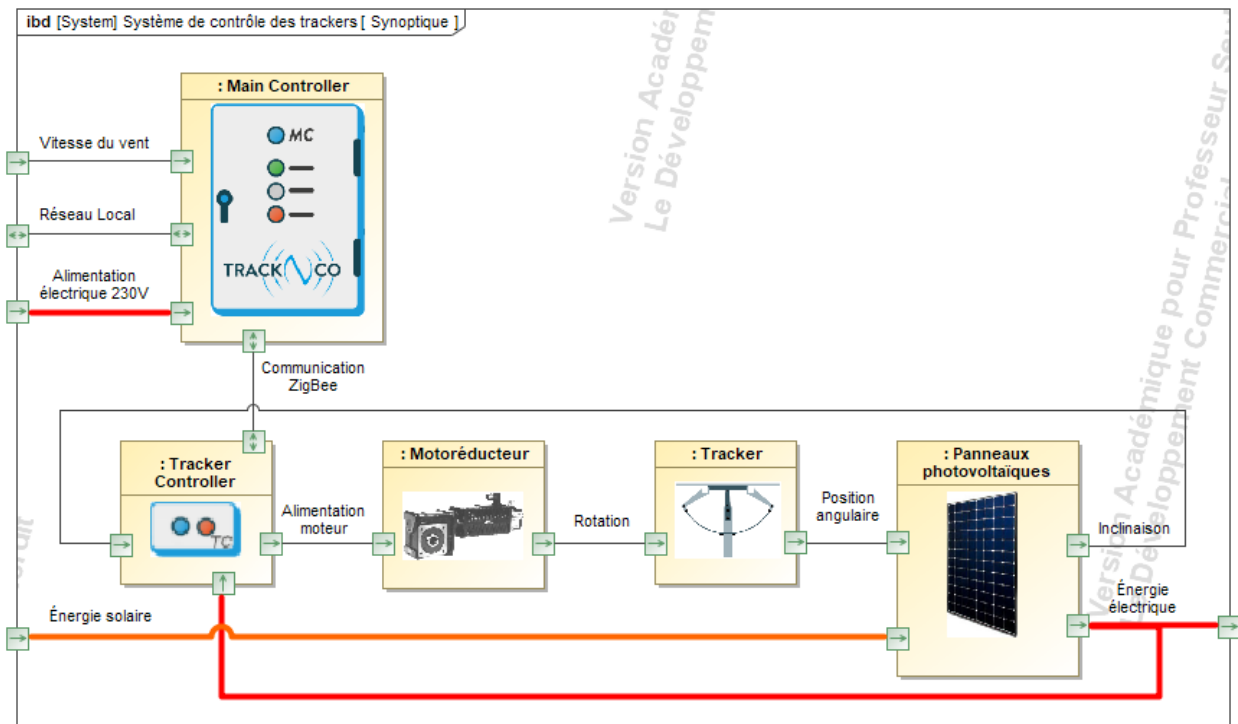
Question D.3 | En vous aidant du document technique DTS7, **relever** l'adresse IP du
DTS7 | destinataire du message. **Exprimer** cette adresse en hexadécimal et en
notation décimale pointée.

Partie E : conclusion de l'étude

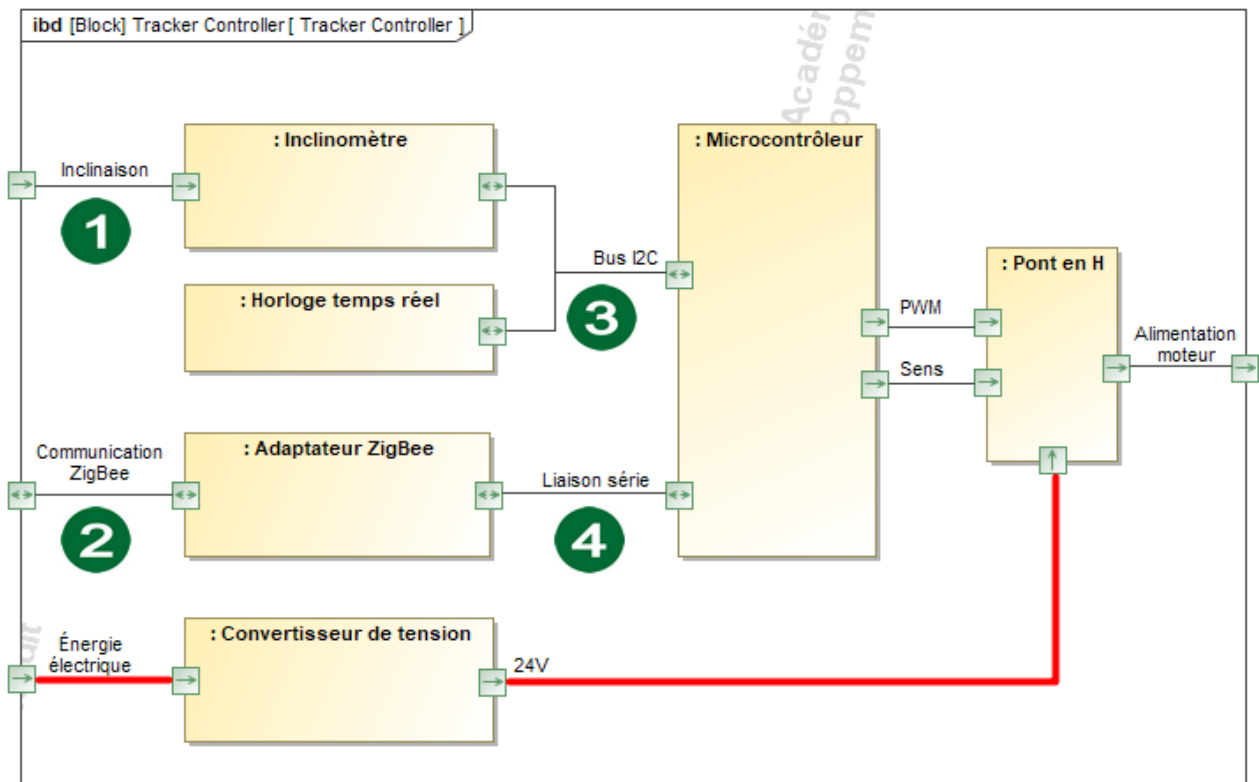
Le serveur SCADA interroge régulièrement tous les équipements du site de production (onduleurs, poste de transformation, Main Controller...) afin de centraliser toutes les données qui seront récupérées par le PC de supervision de l'exploitant.

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 :

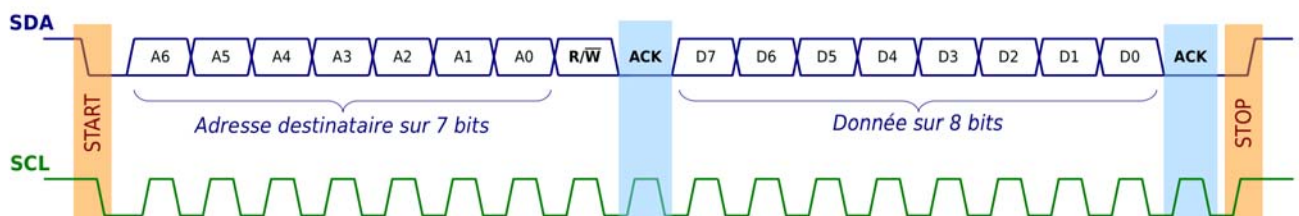
- Standard-mode : 100 kbit·s⁻¹
- Fast-mode : 400 kbit·s⁻¹
- Fast-mode Plus : 1 Mbit·s⁻¹
- High-speed mode : 3,4 Mbit·s⁻¹

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.

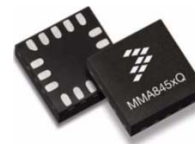
Principe de la communication :

- 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** : le 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.



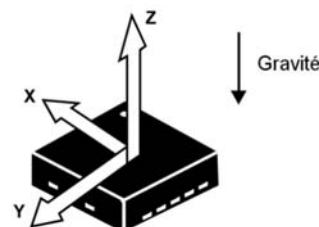
Caractéristiques :

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

Remarque : les documentations des accéléromètres expriment en « g » (environ $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) 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 :

$$\text{angle} = \text{asin}(\text{accélération})$$

avec :

- angle en °
- accélération en g

Rappel : $\text{asin}(\text{accélération})$ 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 :

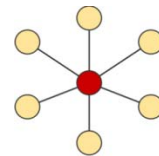
MSB								LSB							
D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	0	0

Document technique DTS5 : comparatif des technologies sans fil

	 Bluetooth	 WiFi	 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

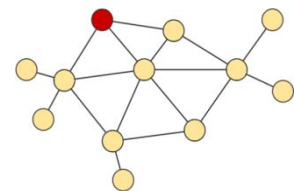
Topologie en étoile :

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

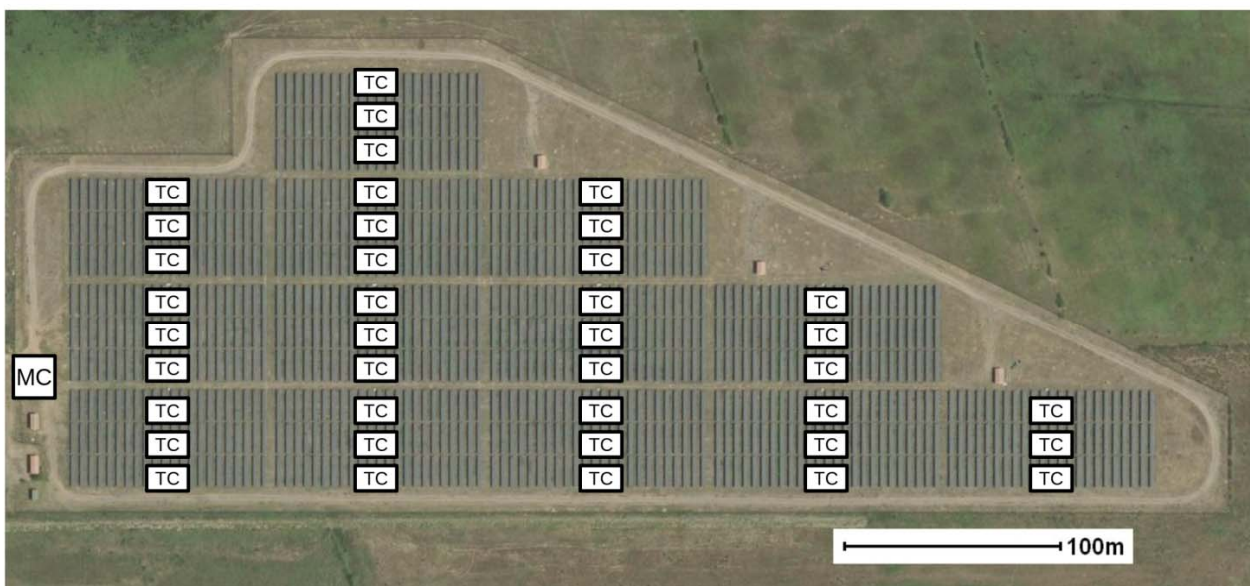


Topologie en réseau maillé :

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



 Main Controller

 Tracker Controller

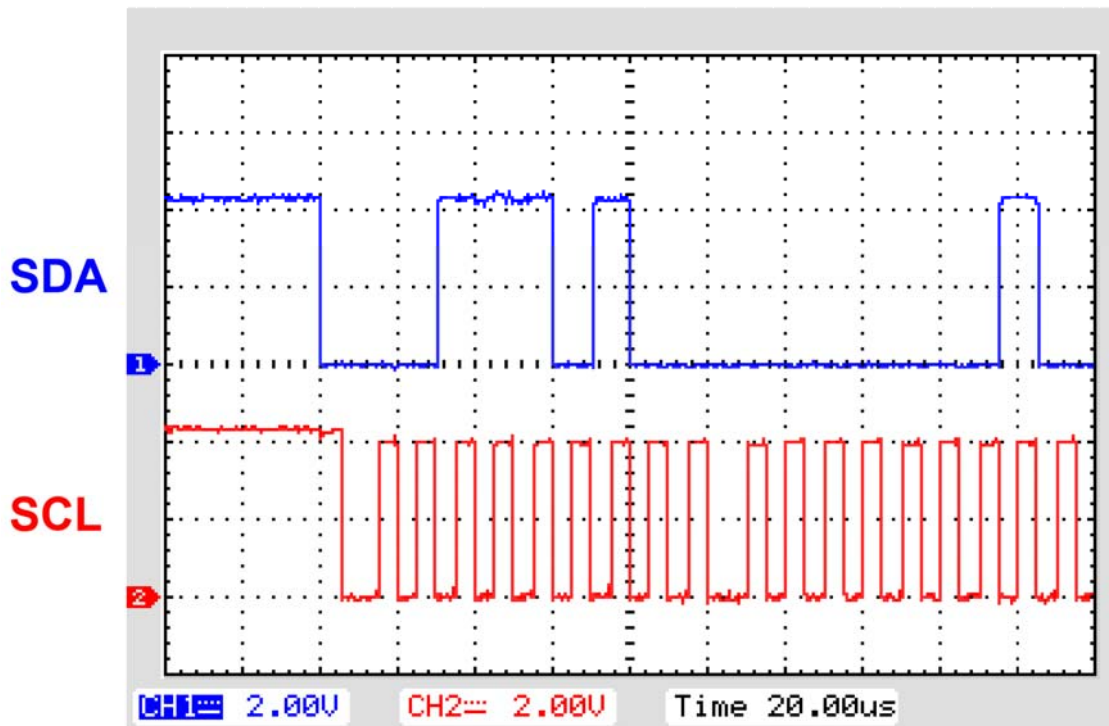
Document technique DTS7 : structure d'une trame MODBUS TCP-IP

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 : 20 μ s 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 :

