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 DÉVELOPPEMENT 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 collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 42 pages numérotées de 1/42 à 42/42.

Constitution du sujet :

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

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet. Ces 2 parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Tous les documents réponses sont à rendre avec la copie.

Dans la partie commune, le candidat doit choisir entre traiter la partie 3 (choix 1) ou la partie 5 (choix 2).
Les parties 1, 2 et 4 sont à traiter obligatoirement.

PARTIE COMMUNE (12 points)

L'hydrogène, vecteur énergétique d'avenir ?





- **Présentation de l'étude et questionnement**..... pages 3 à 10
- **Documents techniques**..... pages 11 à 24
- **Documents réponses** ..... pages 25 à 26

Mise en situation



La Poste expérimente en Franche-Comté des véhicules légers à hydrogène, sans émission polluante, spécialement conçus pour s'adapter aux tournées des facteurs.

Ces dix véhicules à quatre roues, appelés **MobyPost**, fonctionnent uniquement avec une pile à combustible et de l'hydrogène, et sont actuellement utilisés par les facteurs des plateformes d'Audincourt (Doubs) et de Lons-le-Saunier (Jura). Ils sont conçus pour ne pas polluer et améliorer les conditions de travail des postiers.

« Nous cherchons à maîtriser la technologie de l'hydrogène pour construire notre réflexion économique du futur : l'autonomie des véhicules électriques normaux est vite limitée, alors que les véhicules à hydrogène peuvent avoir une autonomie prolongée », précise Frédéric DELAVAL, le directeur technique à la Poste, soulignant « l'intérêt économique » de cette nouvelle technologie.

Imaginés pour remplacer les deux-roues motorisés des facteurs, les véhicules MobyPost, conçus par un consortium européen, sont munis d'un réservoir à hydrogène très basse pression (3 bars) et d'une pile à combustible qui leur confère une autonomie de 40 à 50 km.

Un système de production d'hydrogène, alimenté en énergie par des panneaux photovoltaïques implantés sur les plateformes d'Audincourt et de Lons-le-Saunier, permet de recharger le réservoir à hydrogène du véhicule. Lorsque ce dernier est en marche, **la pile à combustible** recombine l'hydrogène en électricité pour faire avancer le quadricycle.

Silencieux et ergonomiques, les nouveaux véhicules à quatre roues disposent d'un toit et ont été conçus sans portière pour faciliter la descente des facteurs. Frédéric DELAVAL souligne notamment l'absence de boîte de vitesse pour « réduire les risques de tendinite du genou des facteurs qui font entre 300 et 400 points de distribution par tournée ».

La Poste ambitionne de devenir un acteur majeur de la distribution du courrier en Europe dans les années à venir.

Elle s'est fixée pour objectif de réduire ses émissions de CO_2 de 20 % d'ici 2025.

Problématique générale : Comment l'entreprise La Poste s'inscrit-elle dans une démarche de développement durable pour son activité de distribution du courrier ?

Travail demandé

Partie 1 : Pourquoi utiliser la technologie à hydrogène dans une démarche de développement durable ?

Question 1.1

DT1.1
Mise en situation

Indiquer quel est l'objectif mondial de réduction du CO_2 à horizon 2050.

Expliquer en quoi la technologie hydrogène peut permettre à La Poste de réduire ses émissions de CO_2.

Question 1.2

DT1.2

Relever la demande mondiale en hydrogène pur dédiée à la mobilité à l'horizon 2050 et **calculer** sa proportion par rapport à la demande mondiale toutes applications confondues.

En comparaison avec un gisement de charbon ou de pétrole, il n'y a pas de mine d'hydrogène : l'hydrogène doit être fabriqué. Il faut pour cela une matière première et une source d'énergie : la production d'hydrogène commence toujours par une consommation d'énergie.

Question 1.3

DT1.3

À partir du document technique, **lister** les sources d'énergie possibles de production d'hydrogène.

Expliquer quel est l'inconvénient à utiliser une énergie primaire de type carbonée.

Partie 2 : Quels sont les éléments à prendre en compte pour satisfaire le déploiement de la technologie hydrogène de l'entreprise La Poste ?

Dans le cadre du déploiement de la technologie hydrogène, l'entreprise La Poste a dû installer des infrastructures de production d'hydrogène sur les plateformes d'Audincourt et de Lons-le-Saunier. La production d'hydrogène sur place a été retenue et les plateformes ont été équipées de stations MAHYTEC.

Question 2.1

DT1.4

Identifier les deux technologies de stockage de l'hydrogène que propose la société qui a fabriqué la station MAHYTEC de production d'hydrogène.

Question 2.2

DT1.5

Pour chaque technologie, **relever** le volume de stockage disponible et la pression de chaque réservoir.

Question 2.3 DT1.5	**Identifier** l'équipement permettant de produire de l'hydrogène à l'intérieur de la station MAHYTEC.

Partie 3 (choix 1) : Quel est le rendement de la chaîne d'hydrogène « Power-to-H2-to-Power » ?

Le vecteur hydrogène est l'une des solutions de stockage et d'utilisation de l'énergie envisagée pour accompagner la transition énergétique. […]

On dénomme « Power-to-H_2-to-Power » le fait de recourir à l'hydrogène pour stocker momentanément de l'électricité lors de la production, pour en restituer en phase d'usage. Or, la question de l'efficacité de cette chaîne est régulièrement posée, la production puis l'utilisation de l'hydrogène supposant en effet une succession de transformations et donc des pertes énergétiques.

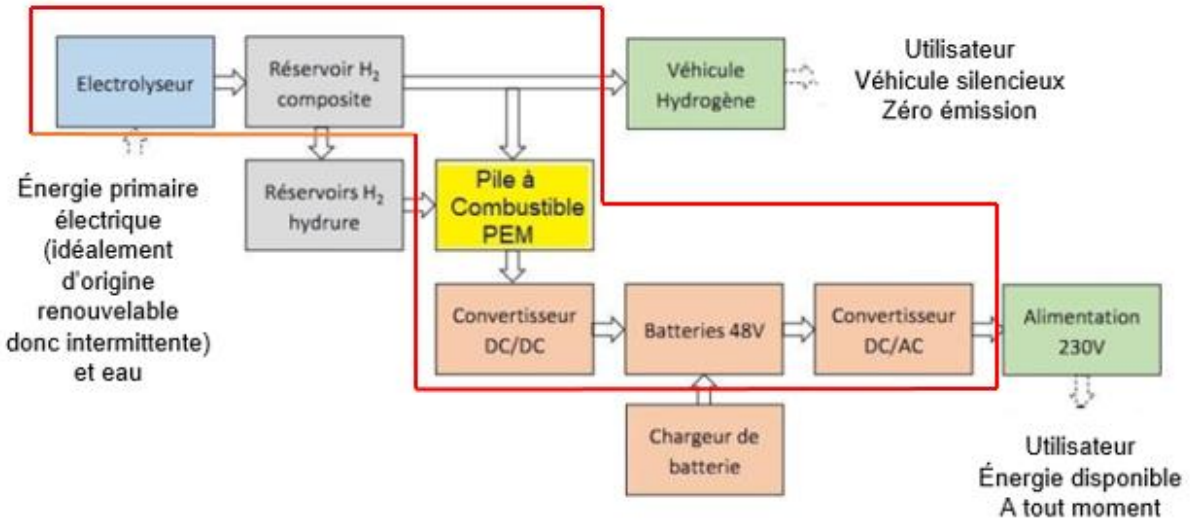
Cette question du rendement est parfois même posée comme controverse, dans un débat opposant frontalement le stockage par batterie - réputé avoir un meilleur rendement [de l'ordre de 70 %] - au vecteur hydrogène, jusqu'à la disqualification de celui-ci. […]

Les méthodes d'analyse d'impact environnemental incitent à considérer l'impact d'un service rendu, et pas uniquement d'un système technique. […]

Plus que concurrentes, les solutions de stockage batterie et hydrogène sont complémentaires et leur hybridation peut apporter de la flexibilité. Pour les systèmes électriques isolés, l'insertion de la chaîne hydrogène dans un système électrique peut même améliorer son rendement vis-à-vis d'un système tout batterie. Cela traduit le fait que le stockage batterie présente des limites en termes de capacité de stockage, et que l'introduction d'une chaîne hydrogène permet d'éviter une perte conséquente d'énergie primaire. […]

Source : document technique produit par l'ADEME – Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie intitulé « Rendement de la chaîne hydrogène cas du « Power-to H_2-to Power »

Cadre d'étude de la partie 3 : schéma synoptique du système



La pile à combustible PEM présente dans la station est un système qui permet de convertir en électricité de l'hydrogène qui est déjà stocké dans le réservoir composite ou dans les réservoirs à hydrure. Pour cela, l'oxygène de l'air est mis en réaction avec l'hydrogène afin de former des molécules d'eau et ainsi, profiter de l'énergie libérée par la réaction pour produire de l'électricité.

Détermination des pertes des différents constituants de la chaîne « Power-to H2-to Power »

Question 3.1
DT1.6

Relever sur la fiche technique de l'électrolyseur HyProvide P1 la capacité de production de l'hydrogène et la puissance de l'équipement et **déduire** l'énergie nécessaire à son fonctionnement durant 1 heure.

Déterminer ensuite l'énergie électrique $E_{électrolyseur}$ nécessaire afin d'obtenir 1 kg d'hydrogène exprimée en kW·h/kgH_2.

Question 3.2
DR1.1

On supposera dans la suite de l'étude que l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'électrolyseur est $E_{électrolyseur}$ = 61,2 kW·h/kgH_2. On estime les pertes liées au détendeur situé en sortie de l'électrolyseur à 0,7 kW·h/kgH_2.

Reporter, dans les cadres prévus à cet effet, ces deux valeurs dans le diagramme de Sankey.

Question 3.3
DT1.7
DR1.1

Relever sur la fiche technique de la pile à combustible AIRCELL 1000 ACS la consommation d'H_2 nécessaire à la production d'un kW·h d'électricité, on la notera C_{PAC} exprimée en gH_2/kW·h.

Exprimer cette valeur en kgH_2/kW·h et **déduire** la production d'énergie par kg d'hydrogène consommé en kW·h/kgH_2 que l'on notera E_{PAC}.

Reporter cette valeur sur le diagramme de Sankey.

Question 3.4
DT1.8
DR1.1

Relever le rendement de la pile à combustible (PàC) à 100 % de la puissance nominale et **vérifier** que les pertes sont de 14,2 kW·h.

Reporter cette valeur sur le diagramme de Sankey.

Détermination du rendement global de la chaîne d'hydrogène

Dans la majorité des utilisations actuelles de l'hydrogène comme vecteur énergétique, le système est couplé avec une batterie. La nécessaire compatibilité du bus DC avec le voltage des deux équipements demande l'utilisation d'un convertisseur DC/DC. À la sortie de la pile à combustible, un convertisseur a un rendement d'environ 98 %, un onduleur et un transformateur, d'un rendement de 95 % complètent la chaîne d'hydrogène.

Question 3.5
DR1.1

L'expression du rendement global est $\eta = (E_{PAC} \cdot \eta_{DC/DC} \cdot \eta_{DC/AC}) / E_{électrolyseur}$

Calculer le rendement global η et **vérifier** qu'il concorde avec celui obtenu à l'aide du diagramme de Sankey.

À partir du diagramme de Sankey**, repérer** les deux éléments aux responsables des pertes énergétiques et conclure.

Partie 4 : Quelle est l'autonomie d'un véhicule à hydrogène MobyPost et quels sont ses avantages ?

Comme le montre le graphique du document technique DT1.9, en France près d'un tiers des émissions de gaz à effet de serre provient du transport.

D'ici 2035, l'Europe prévoit d'interdire la vente des véhicules à moteur essence et diesel. Dans ce contexte, le déploiement de solutions alternatives pour le transport est nécessaire : véhicules électriques à batteries ou véhicules électriques à pile à combustible par exemple.

Mais le véhicule électrique à pile à combustible est-il compétitif face au véhicule à batteries ? Les questions suivantes vont permettre de comparer l'autonomie de deux véhicules équivalents, l'un à pile à combustible, l'autre à batteries afin d'identifier les avantages et inconvénients de la solution Hydrogène dans le secteur de la mobilité.

La comparaison se fera à partir de l'énergie utile d'un véhicule à batteries (type Twizy) pour un parcours de 100 km.

Question 4.1

DT1.10, DT1.11

Déterminer l'énergie utile E_u (en MJ pour 100 km) à fournir à un véhicule de type Renault Twizy ou MobyPost lors d'un cycle WLTP, sachant que 1 J = 1 W·s.

Convertir cette énergie utile en kW·h pour 100 km.

Afin de comparer les performances des deux types de véhicules à masse équivalente, on remplace la chaîne de puissance à batteries par une chaîne de puissance à pile à combustible.

Question 4.2

DT1.12

DR1.2

Compléter le document réponses recensant les masses des différents constituants et en **déduire** la masse disponible pour les réservoirs à hydrures.

La capacité moyenne de stockage de H_2 dans les réservoirs à hydrures est de 9 gH_2/kgHydrure.
Le pouvoir énergétique de l'hydrogène est de 33 kW·h/kgH_2.
Le rendement global de la chaîne de puissance des réservoirs à hydrures jusqu'aux roues est de $\eta = 0,32$.

Question 4.3

À partir de la masse de réservoirs à hydrures définie à la question 4.2, **calculer** la masse d'hydrogène correspondante en gH_2 sachant que la masse des réservoirs vides est négligeable par rapport à celle de l'hydrure.

En déduire l'énergie stockée dans les réservoirs à hydrures en kW·h ainsi que l'énergie utile disponible sur les roues en kW·h.

Quel que soit le résultat obtenu à la question 4.1, nous considérerons par la suite que l'énergie utile à fournir au véhicule pour un trajet de 100 km est de E_u = 7,5 kW·h.
Le véhicule MobyPost est équipé de batteries et d'une pile à combustible.

Question 4.4 | Quel que soit le résultat obtenu à la question 4.3, nous considérerons que l'énergie utile pour un véhicule électrique à pile à combustible est de 5 kW·h pour la pile à combustible et de 4,6 kW·h pour les batteries.

Calculer l'autonomie en km de ce véhicule à hydrogène.

Question 4.5 | À partir de l'étude réalisée et du document technique, **lister** les avantages de la technologie à hydrogène appliquée au transport.

DT1.13

Partie 5 (choix 2) : Quelles perspectives énergétiques apporte l'utilisation de cette station à hydrogène sur un site isolé ?



Comme tous les refuges de haute montagne, le refuge du Col du Palet, situé à 2600 mètres d'altitude dans le parc de la Vanoise, était confronté à l'absence de réseau électrique ainsi qu'à une consommation énergétique concentrée sur la période de gardiennage.

Des panneaux photovoltaïques, sous réserve de soleil, permettaient de couvrir certains besoins tels que l'éclairage, la production de froid, le fonctionnement du petit électroménager, la connexion Internet, la téléphonie satellite, la recharge des mobiles, etc. De plus, un groupe électrogène était ponctuellement utilisé pour faire fonctionner la pompe de relèvement de l'eau potable.

En 2015, suite à un appel d'offre, MAHYTEC ainsi qu'un consortium de 5 entreprises françaises mettaient en place une station à hydrogène raccordée à l'installation électrique existante du refuge.

Données sur le refuge du Col du Palet :

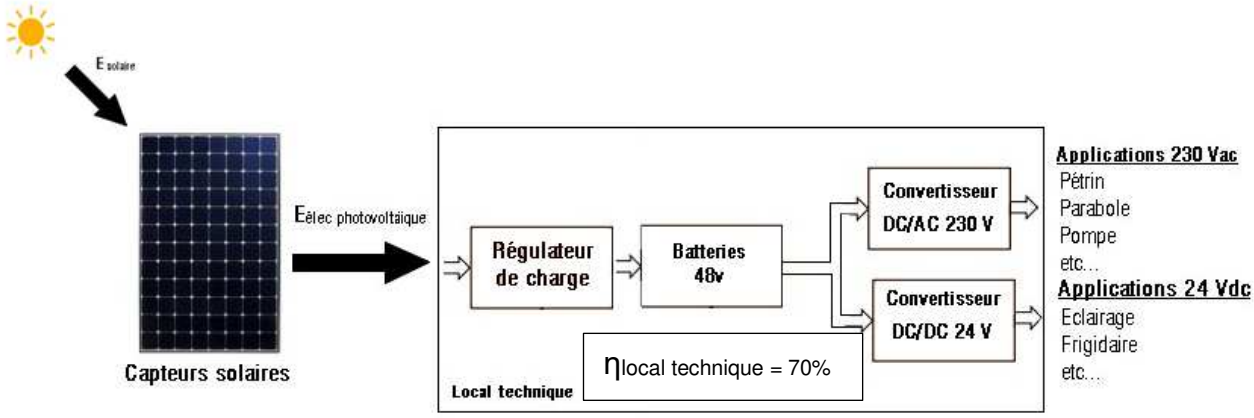
- période d'ouverture : 4 mois, de juin à septembre inclus ;
- période non gardée : 8 mois, d'octobre à mai inclus ;
- nombre de couchages : 47.

Besoins énergétiques en période d'ouverture : l'énergie journalière de 5,5 kW·h se décomposant ainsi :

- 2,5 kW·h sur la sortie 24 VDC (Appareils ou usages à alimenter en 24 VDC : éclairage, réfrigérateur, radio, etc.) ;
- 3 kW·h sur la sortie 230 VAC (Appareils à alimenter en 230 VAC : pompe de relevage, pétrin, parabole, etc.).

Le but de cette étude est de valider le choix d'une station à hydrogène dans ce cas de figure.

Analyse de la production d'électricité avant 2015 : Avant l'installation de la station d'hydrogène, l'apport en électricité était fourni par les panneaux solaires, couplés à des batteries par l'intermédiaire d'un régulateur.



Le document DT1.14 rapporte les résultats de la simulation de l'irradiation mensuelle au refuge du Col du Palet (en réalité dans la station proche de Bourg Saint Maurice), obtenus à l'aide du logiciel CALSOL.

Question 5.1

DT1.14, DT1.15

Déterminer l'irradiation solaire minimale sur la période d'ouverture en $kW \cdot h \cdot m^{-2}$ par jour.

À partir des caractéristiques des panneaux photovoltaïques, **définir** l'énergie solaire minimale restituée par les panneaux solaires sur une journée.

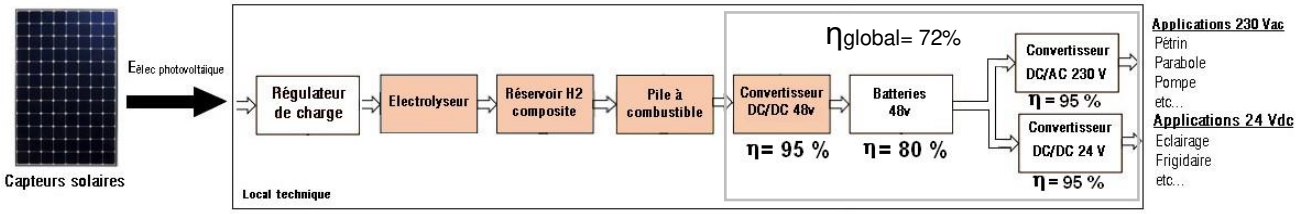
Calculer la quantité d'énergie produite par le système, en prenant en compte le rendement global des constituants du local technique.

Question 5.2

Indiquer si les besoins journaliers sont couverts par les apports solaires.

Conclure sur la pertinence d'augmenter la capacité de stockage d'énergie pour ce refuge, en cas de déficit d'ensoleillement sur plusieurs jours consécutifs.

Après 2015 : Mise en place d'une chaîne de production et de stockage d'hydrogène



Pour pallier le manque d'autonomie du refuge en période hivernale, qui obligeait l'appoint d'énergies non renouvelables et polluantes (exemple : gasoil pour le groupe électrogène), on insère dans la chaîne de production électrique existante un système de production et de stockage d'hydrogène, ainsi qu'une pile à combustible.

L'objectif est de stocker sous forme d'hydrogène l'énergie électrique produite pendant la période de fermeture, pour la restituer pendant la saison estivale. On espère ainsi atteindre 11 à 12 jours d'autonomie.

On suppose qu'en début de période estivale, les réservoirs d'hydrogène sont pleins.

Question 5.3

DT1.15

Relever sur le document technique, la masse totale d'hydrogène pouvant être stockée dans les réservoirs ainsi que la consommation en hydrogène de la pile à combustible.

En déduire l'énergie totale que pourra fournir la pile à combustible.

Question 5.4

Calculer l'énergie totale disponible que peut fournir la station.

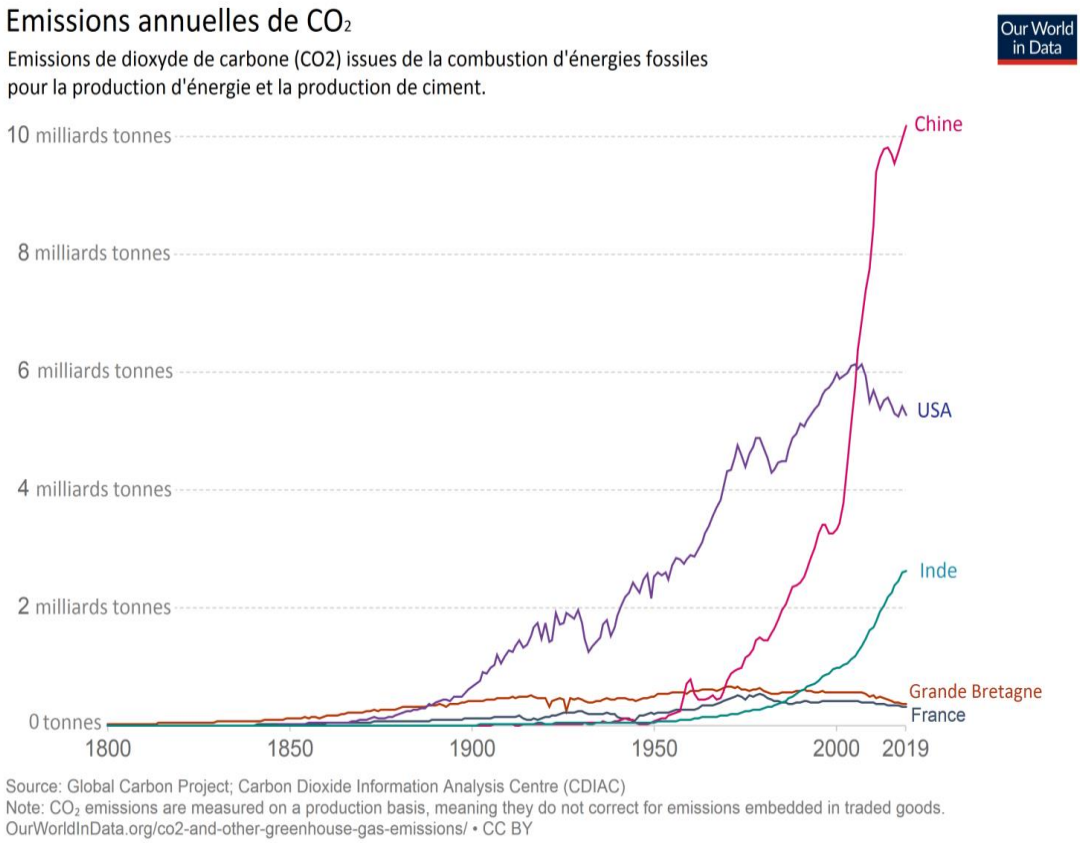
Conclure quant à l'objectif énergétique d'autonomie du refuge.

Question 5.5

Proposer une solution pour atteindre l'autonomie énergétique du refuge.

DT1.1 – Évolution des émissions annuelles de CO_2

Dans le mix énergétique mondial de 2019, seulement 5 % de l'énergie est issue des énergies renouvelables. Et en même temps, les émissions de CO_2 s'affolent.



Le 4 novembre 2016, l'Accord de Paris (COP21) est entré en vigueur et a fixé des objectifs ambitieux : d'ici 2050, il faudra baisser les émissions de CO_2 de 60 %, tout en comptant 2 milliards de personnes en plus.

Cela implique des changements importants de notre système énergétique : une forte augmentation de l'efficacité énergétique, une transition vers les énergies renouvelables et les énergies bas carbone. Certains états imposeront des décisions drastiques avec notamment l'interdiction des véhicules essence et diesel en France en 2040, en Norvège en 2025 et aux Pays-Bas en 2030 et le développement des solutions alternatives, comme les véhicules électriques à batteries et les véhicules FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle ou véhicules électriques à pile à combustible).

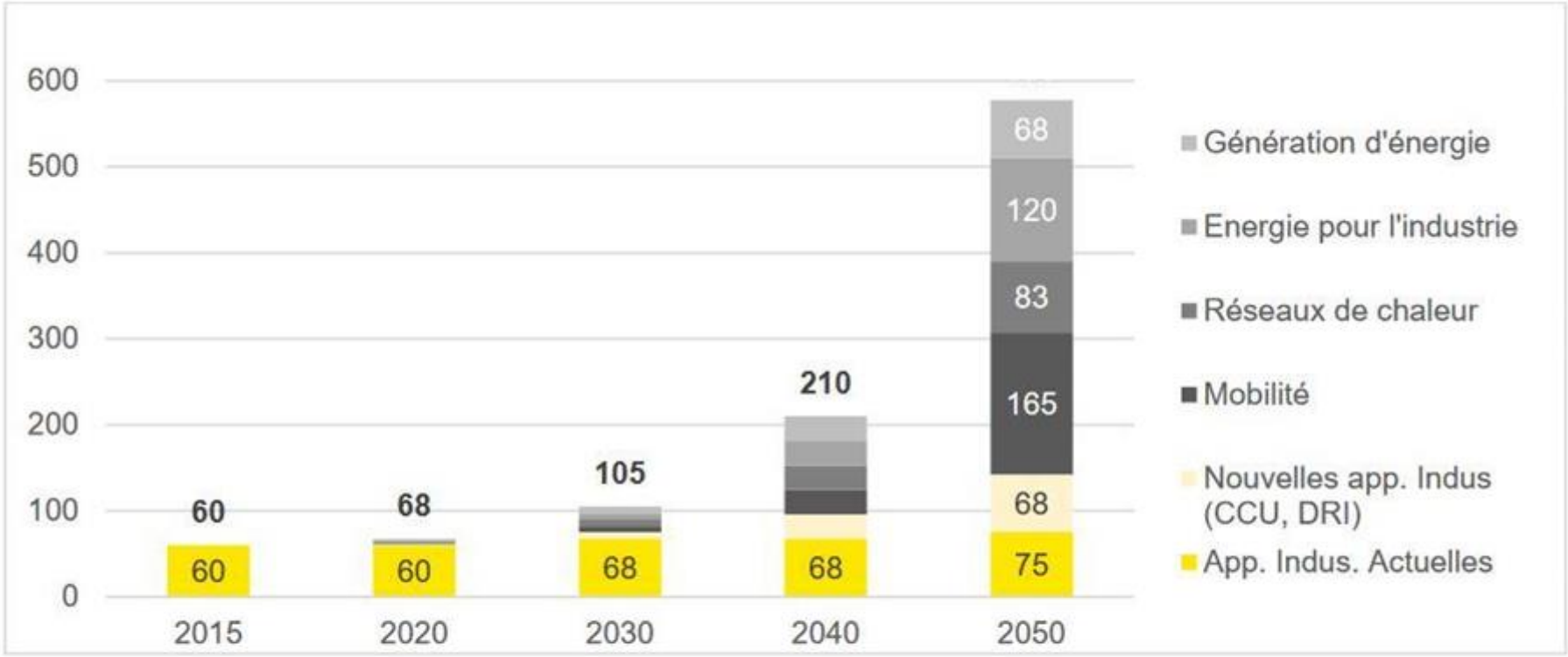
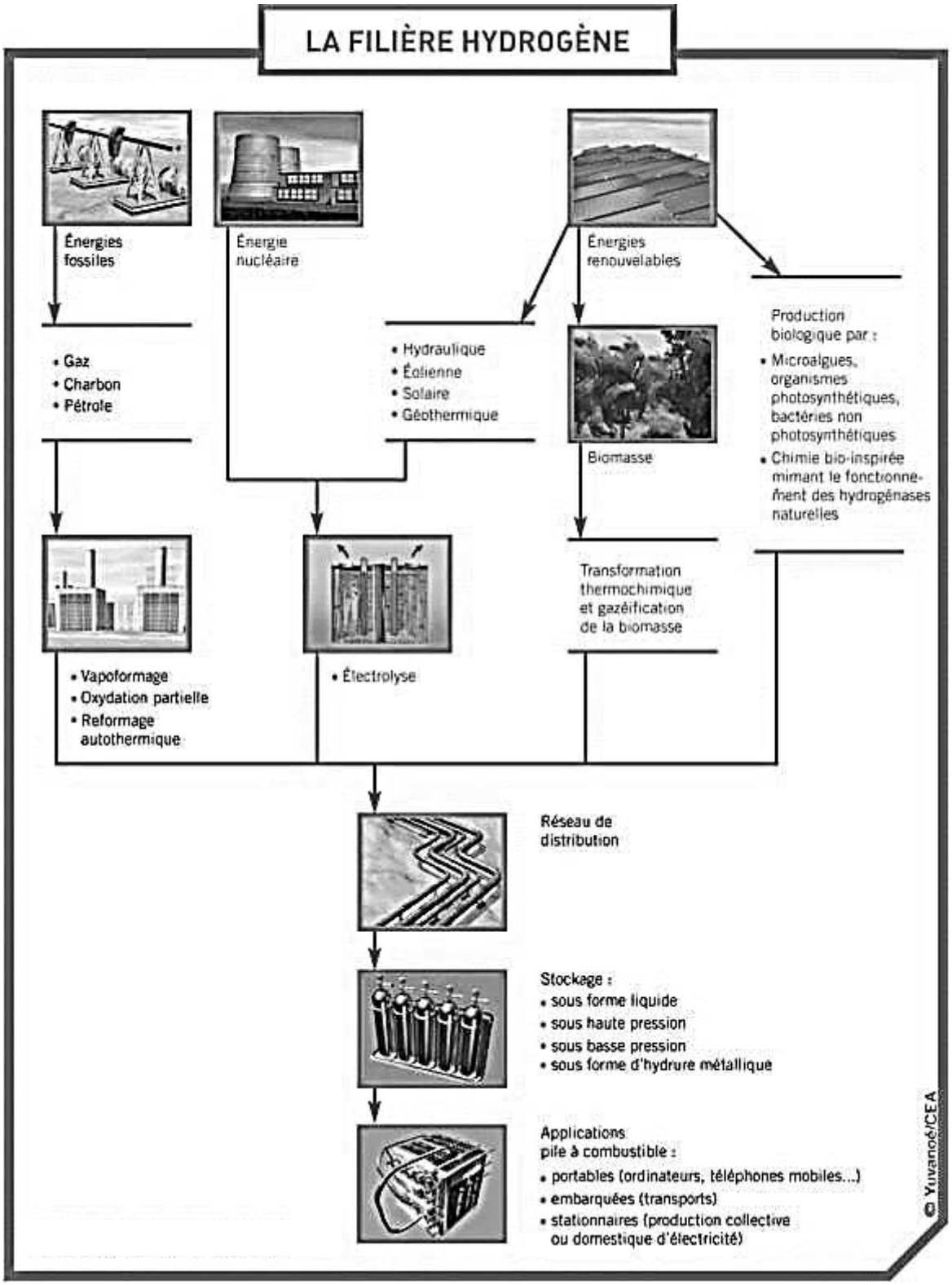


Figure 11. Demande mondiale en Hydrogène pur, par application, en millions de tonnes par an, d'après l'Hydrogen Council.

Source : Hydrogen Council 2017


LA FILIÈRE HYDROGÈNE
Énergies fossiles
Énergie nucléaire
Énergies renouvelables
• Gaz
• Charbon
• Pétrole
• Hydraulique
• Éolienne
• Solaire
• Géothermique
Biomasse
Production biologique par :
• Microalgues, organismes photosynthétiques, bactéries non photosynthétiques
• Chimie bio-inspirée mimant le fonctionnement des hydrogénases naturelles
Transformation thermochimique et gazéification de la biomasse
• Vapoformage
• Oxydation partielle
• Reformage autothermique
• Électrolyse
Réseau de distribution
Stockage :
• sous forme liquide
• sous haute pression
• sous basse pression
• sous forme d'hydrure métallique
Applications pile à combustible :
• portables (ordinateurs, téléphones mobiles...)
• embarquées (transports)
• stationnaires (production collective ou domestique d'électricité)
© Yuyanoé/CEA

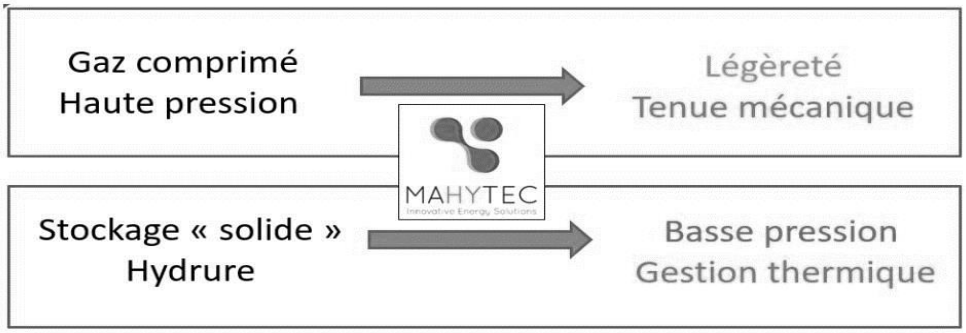
DT1.4 – Société MAHYTEC et ses produits

Présentation :

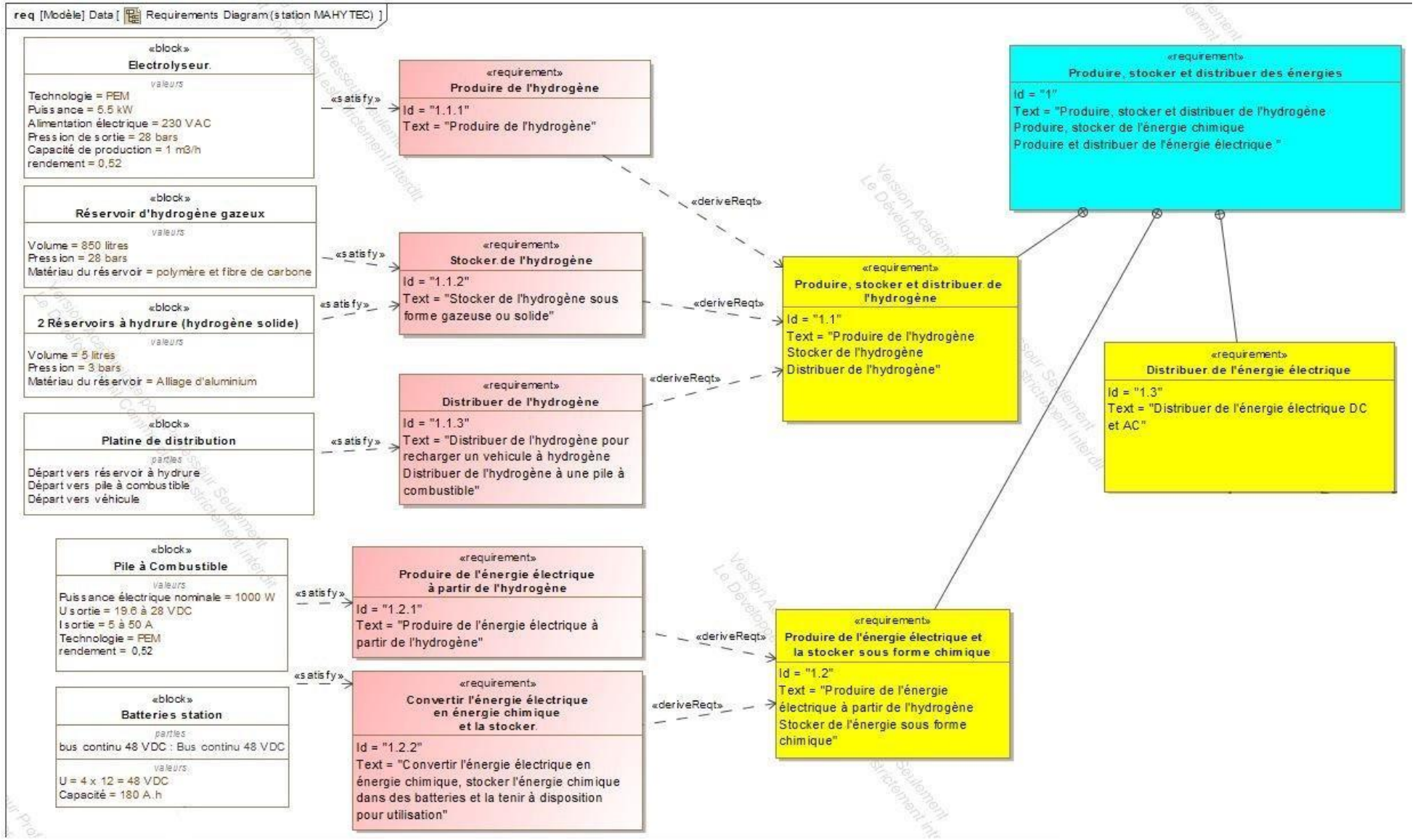
MAHYTEC : Matériaux Hydrogène TEChnologie
- Fondée en 2008 par 4 enseignants-chercheurs de l'UFC
- 25 employés
- Activité principalement en Europe

2 grandes activités:
- Fabrication de réservoirs d'hydrogène
- Conception et intégration de systèmes de stockage d'énergie

Produits :



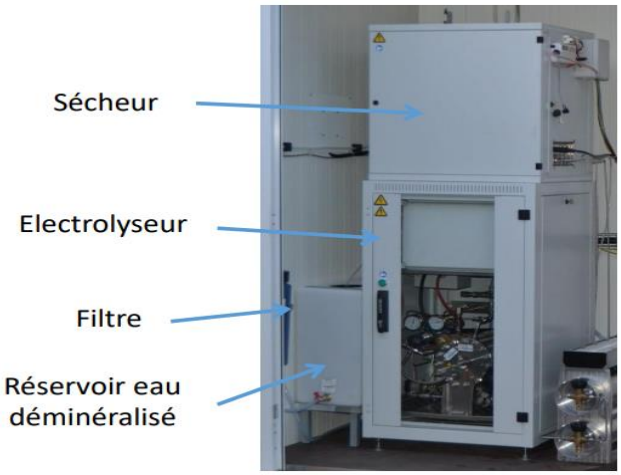
DT1.5 – Diagramme des exigences de la station MAHYTEC

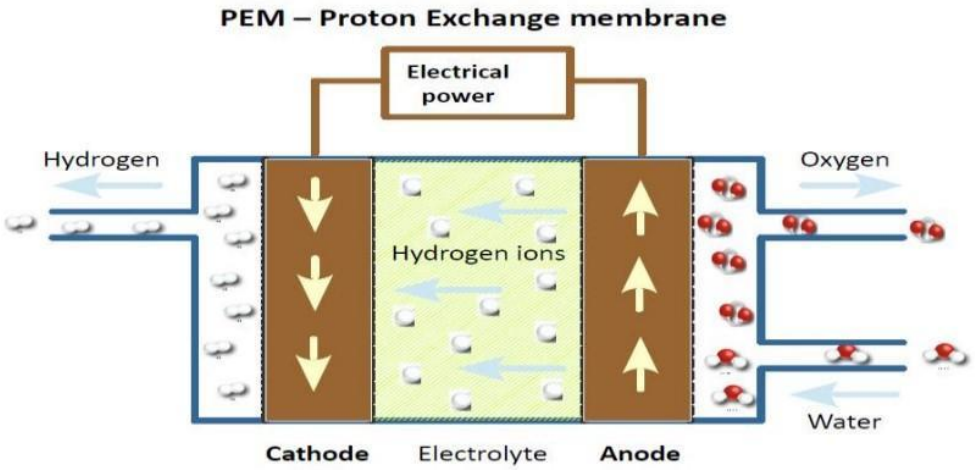


DT1.6 – Caractéristiques techniques de l'électrolyseur HyProvide P1

L'électrolyseur utilisé dans la station MAHYTEC produit de l'hydrogène en utilisant le procédé d'électrolyse de l'eau à l'aide de PEM (Proton Exchange Membrane).

Le courant électrique passe dans un électrolyte (substance conductrice) afin de déclencher la réaction de décomposition de l'eau en hydrogène et oxygène.





DONNEES TECHNIQUES	
Technologie	PEM
Puissance	5,5 kW
Alimentation électrique	Électrolyseur : 400 Vca ou 230 Vca Sécheur : 230 Vca
Pression de sortie de l'hydrogène	50 bar
Capacité de production de l'hydrogène	0,08988 $kgH_2.h^{-1}$
Pureté de l'hydrogène	>99,995 %
Conformité	CE
Type d'interface de communication	Ethernet
Contrôle à distance	Interface web / MOD-bus
CONDITIONS D'UTILISATION	
Alimentation en eau distillée	1 L/h avec un système de recyclage (5 L/h sans)
Température ambiante	2 °C à 40 °C
Dimensions (cm)	Électrolyseur : 60 x 60 x 110 Sécheur : 60 x 50 x 63

DT1.7 – Caractéristiques techniques de la pile à combustible

AIRCELL / Performances	600 ACS	1000 ACS	2000 ACS	3000 ACS
Puissance Nominale (W)	600	1000	2000	3000
Puissance Maximale (W)	750	1200	2350	3400
Tension de sortie (V)	12 – 18	18 – 28	36,5 – 56	52 – 80
Courant Min./ Max. (A)	5 – 50 / max. 65A dur. 30 s			
Dimensions (mm): L x l x h [1]	392 x 214 x 330	436 x 158 x 330	441 x 122 x 550	445 x 122 x 634
Masse (kg) [1]	10	13	20	24

[1] *Dimensions et masse susceptibles d'ajustement en fonction des projets.*

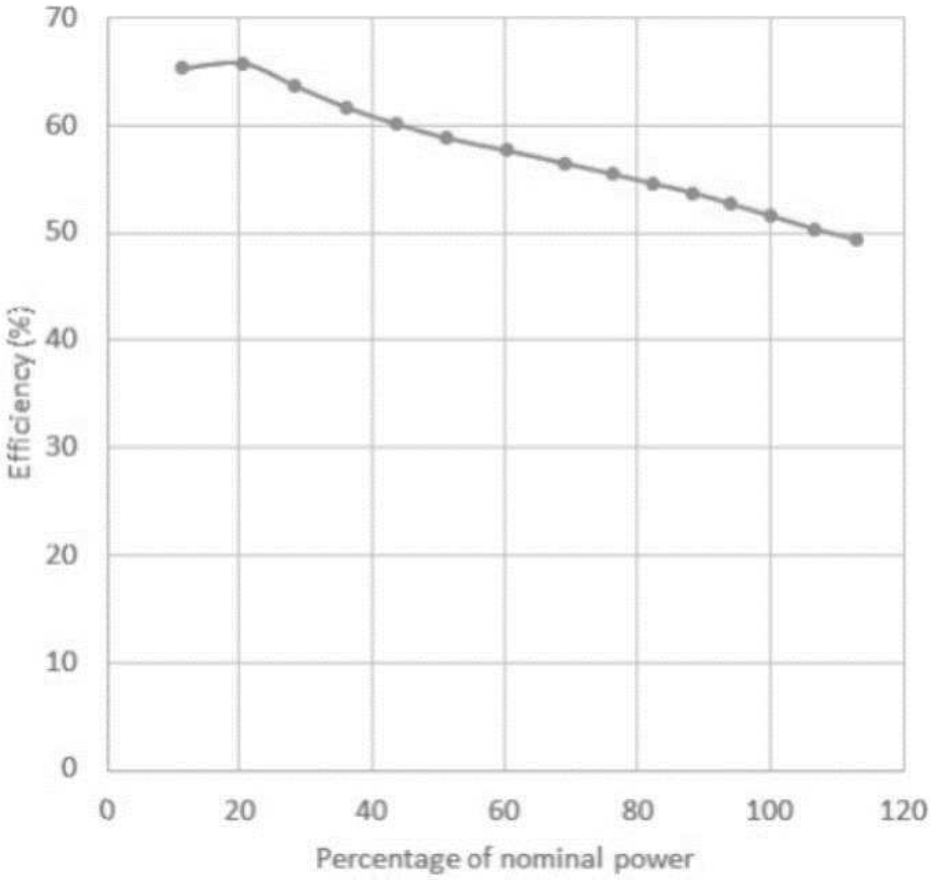
Hydrogène				
Qualité H2	Grade de qualité 3,5 (99,95%) [2]			
Pression d'entrée système	2 – 10 bar			
Consommation H2 (g/kWh)	65 g/kWh			
Consommation nominale H2(Nl/min)	6 Nl/min	10 Nl/min	20 Nl/min	30 Nl/min

[2] *Caractéristique selon norme ISO 14687-3:2014.*

Fonctionnement	
Tension requise au démarrage	24 Vdc (@start-up 200W)
Mise en service	Bouton de démarrage + interface CanBus (en option: soft utilisateur)
Durée procédure de lancement	Inférieure à 5 s
Protocole de communication	CANbus – ISO 11989
Plage T°C de fonctionnement	+5°C to + 45°C [3]
Données collectables	Tension – Courant – Consommation H2 – Rendements – Température
En option	Protocole Modbus – RTC ou TCP/IP Données des cellules du stack avec carte FCVM

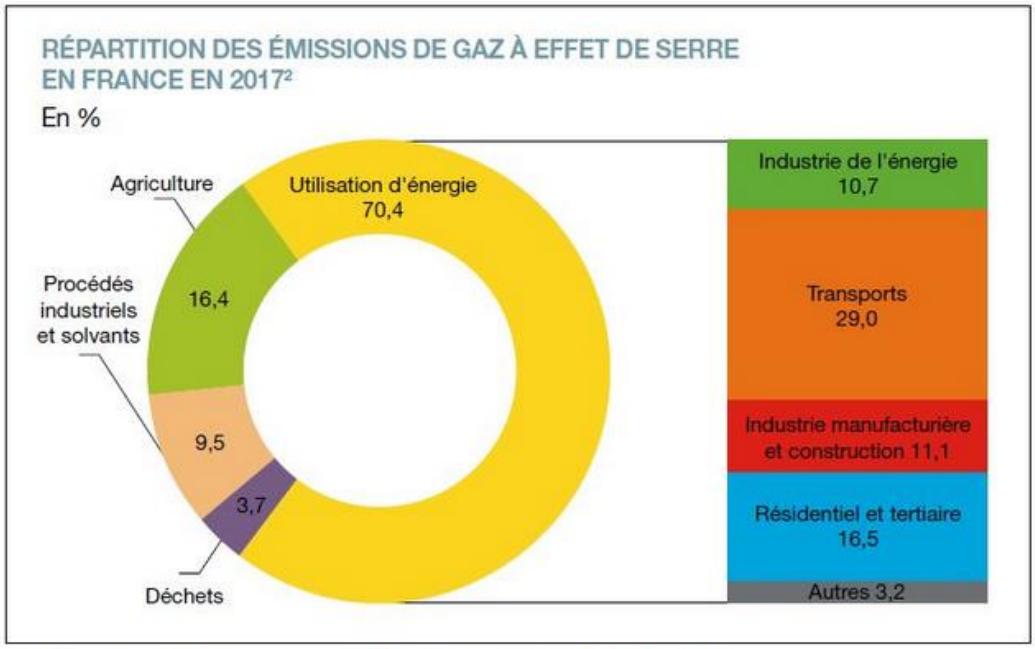
[3] *Données à titre indicatif. Le fonctionnement en plage négative nécessite une procédure spécifique. Nous contacter pour plus d'infos.*

DT1.8 – Rendement de la pile à combustible



Efficiency → Efficacité ou rendement
Percentage of nominal power → Pourcentage de puissance nominale

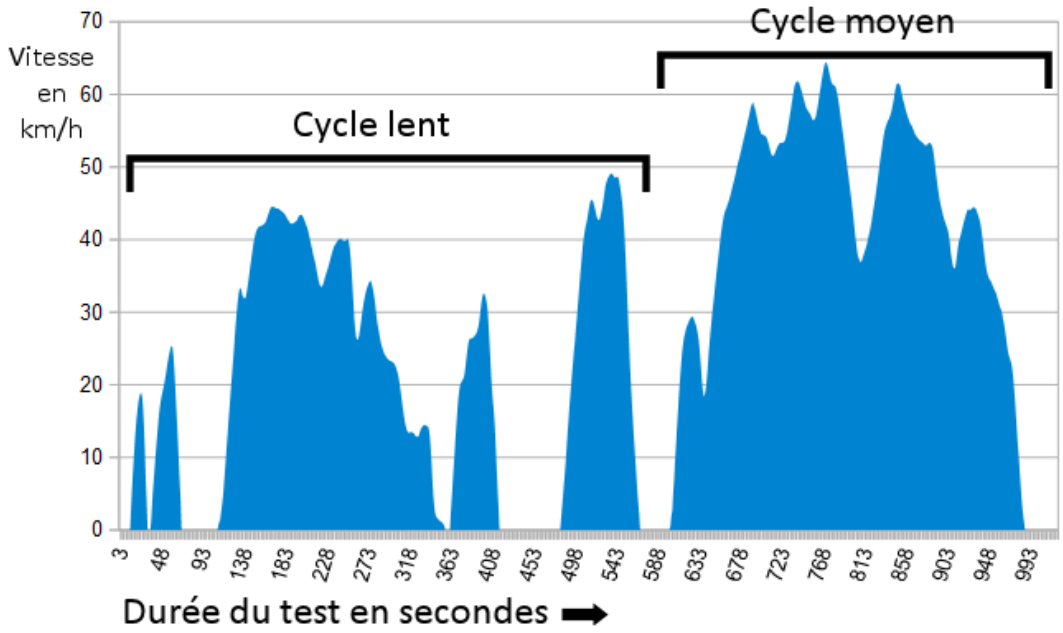
DT1.9 – Répartition des gaz à effet de serre en France en %



Répartition des émissions de gaz à effet de serre en France en 2017 - © SDES

DT1.10 – Cycle WLTP

Depuis 2018 en Europe, l'autonomie et la consommation d'énergie des nouveaux véhicules mis sur le marché sont déterminées par un cycle d'homologation commun baptisé WLTP (Worldwide Light Vehicles Test Procedures), que l'on peut traduire par « procédure d'essai mondiale harmonisée pour les véhicules légers ». Lors du test, le véhicule est placé sur bancs à rouleaux dans un laboratoire, puis est soumis à différents cycles (accélération, vitesse constante, décélération) censés reproduire des conditions de conduite réelle.



La puissance utile à fournir à un véhicule pour un cycle WLTP peut être estimée mathématiquement à partir de la relation suivante :

$$P_u = 0{,}5 \cdot \rho \cdot V^3 \cdot S \cdot C_x + V \cdot g \cdot \cos\alpha \cdot C_r \cdot m + V \cdot \gamma \cdot m$$

$0{,}5 \cdot \rho \cdot V^3 \cdot S \cdot C_x$: représente la puissance utile aérodynamique

$V \cdot g \cdot \cos\alpha \cdot C_r \cdot m$: représente la puissance utile de roulement

$V \cdot \gamma \cdot m$: représente la puissance utile d'accélération

L'énergie utile est obtenue par intégration de cette puissance utile en fonction du temps sur les différentes phases du cycle WLTP (ρ, V, g, γ sont alors connus) et s'exprime mathématiquement sous la relation suivante :

$$E_u = 19{,}2 \cdot S \cdot C_x + 0{,}82 \cdot C_r \cdot m + 0{,}011 \cdot m$$

E_u : énergie utile en MJ pour 100 km

$S \cdot C_x$: paramètre aérodynamique du véhicule en m²

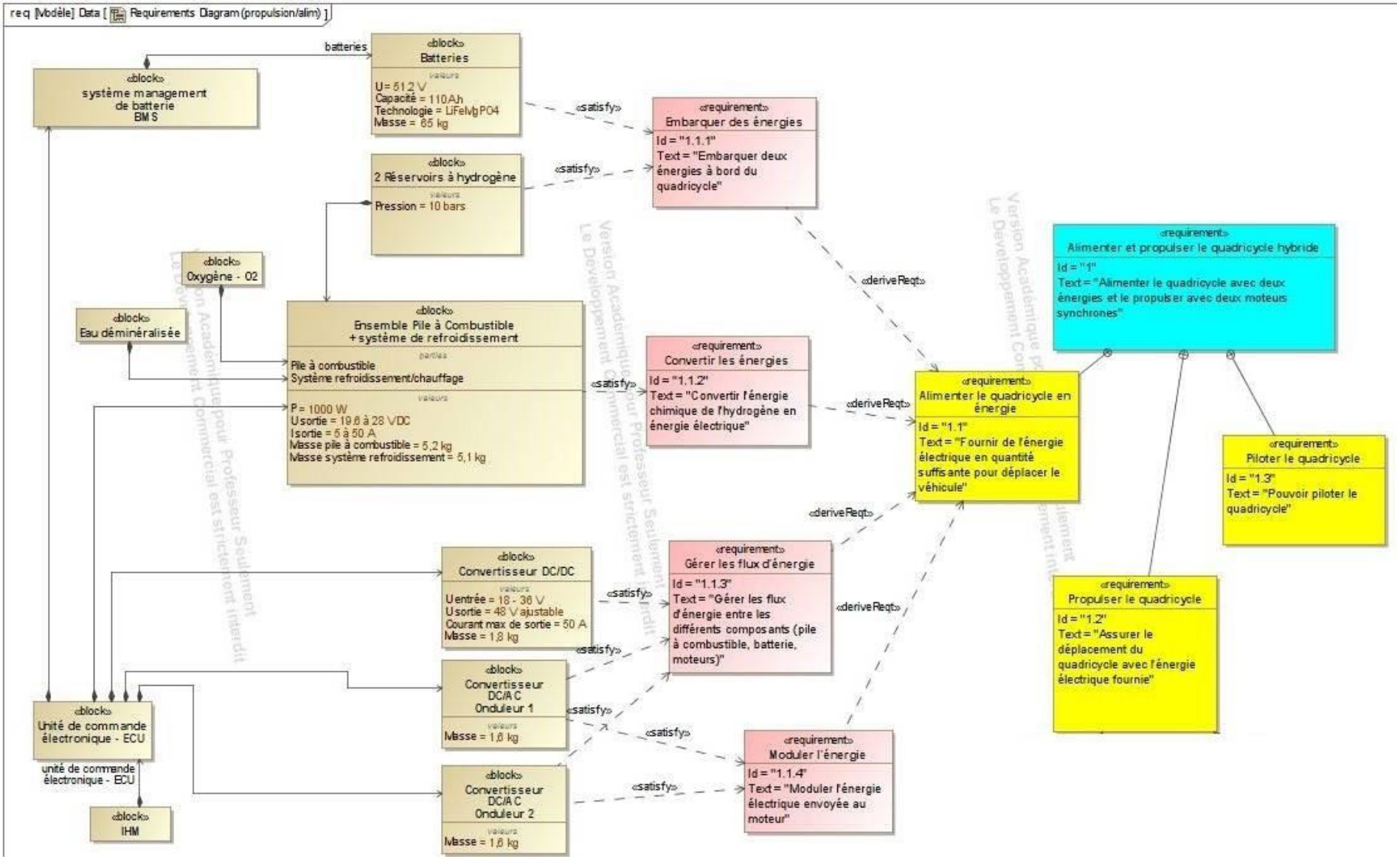
C_r : coefficient de résistance au roulement

m : masse totale roulante [MTR] du véhicule en kg

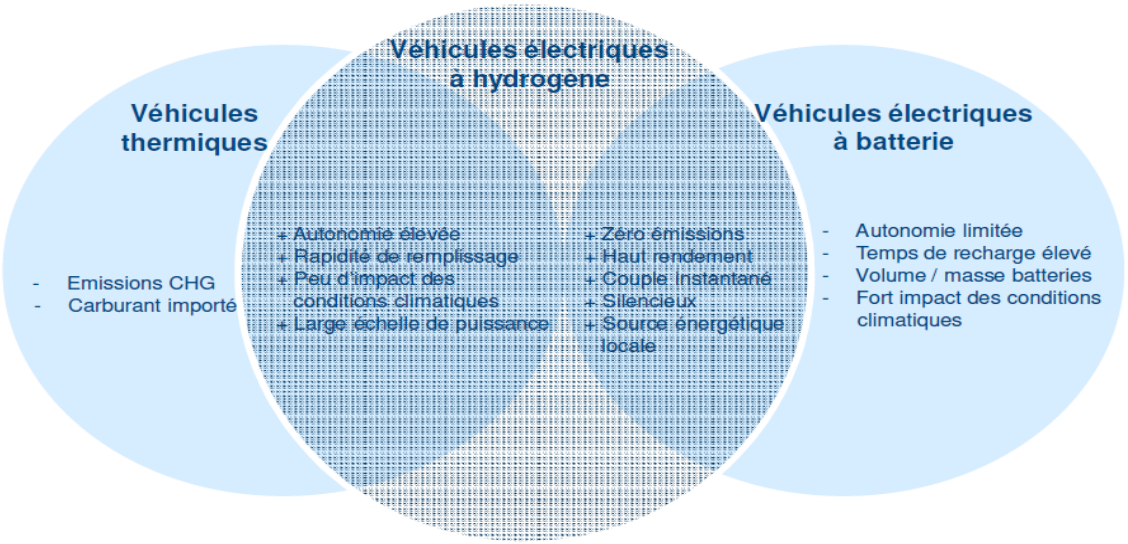
DT1.11 – Données caractéristiques des véhicules Twizy et MobyPost

		
Dénomination	Renault Twizy	MobyPost
Type	Électrique à batteries	Électrique à pile à combustible
MTR	685 kg	
$S \cdot C_x$	0,65 m²	
Cr	0,012	

DT1.12 – Diagramme des exigences du véhicule MOBYPOST



DT1.13 – Avantages de la technologie H_2 pour l'application transport



DT1.14 – Simulation de l'irradiation solaire au Col du Palet

CalSol

INES Education - Logiciel CALSOL - Gisement solaire estimation de l'énergie solaire disponible avec masque

ines INSTITUT NATIONAL DE L'ENERGIE SOLAIRE

Choix de la ville : Bourg St Maurice — Prendre en compte un masque : non

Inclinaison du plan : 15° — Orientation du plan : Sud — Albédo du sol : 0.2

Cliquer ici pour valider votre choix et lancer les calculs

Irradiation sur un plan d'inclinaison 15° et d'orientation 0° en kWh/m² par jour

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
Globale (IGP)	1.22	1.86	3.21	4.12	4.93	5.62	5.37	4.91	4.03	2.36	1.45	1	3.35

DT1.15 – Caractéristiques techniques de l'installation du refuge du Col du Palet

Modules photovoltaïques



- 6 × panneaux photovoltaïques connectés en série (S_{totale} = 9,8 m²)
- Rendement = 20,4 %
- Vmpp = 328 VDC

Stockage d'hydrogène



- 2 × réservoirs de type IV de capacité 850 l chacun
- Pression : 30 bars
- Stockage : 2 × 2,3 = 4,6 kg d'hydrogène
- Température de service : - 40 °C à + 65 °C

Pile à combustible

Performances	AIRCELL 2000 ACS
Puissance Nominale (W)	2 000
Puissance Maximale (W)	2 350
Tension de sortie (V)	36,5 – 56
Courant Min./ Max. (A)	5 – 50 / max.
Dimensions (mm): L x l x h(*)	441 x 122 x 550
Poids (kg)	20

Hydrogène	
Qualité H_2	99,95%
Pression d'entrée système	2 – 10 bar
Consommation H_2 (g/kWh)	65 g/kWh

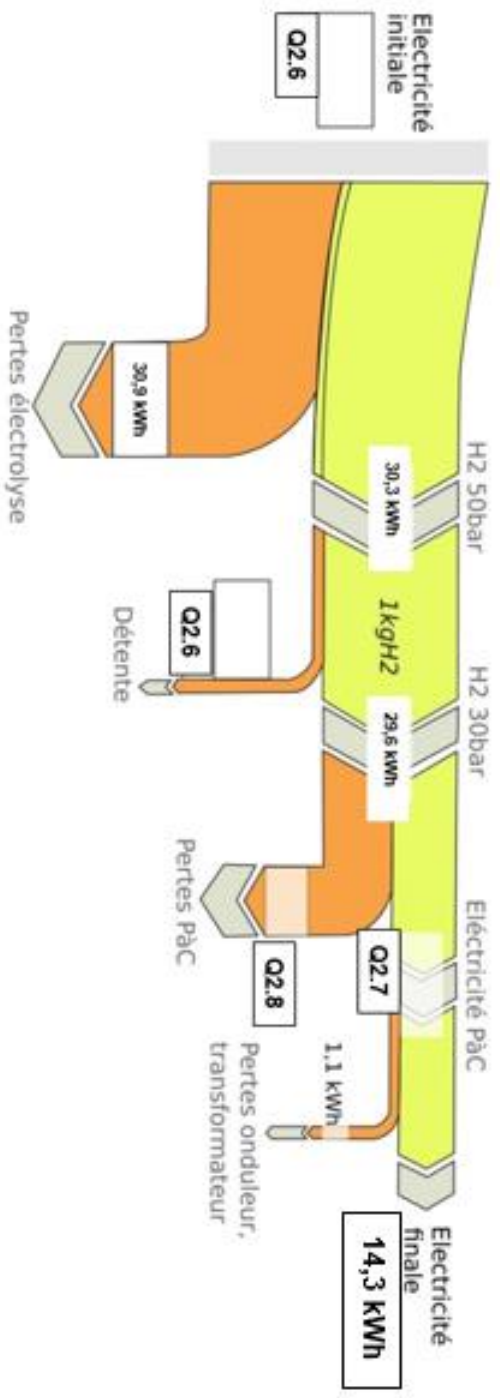


DR1.1 – Diagramme de Sankey

Diagramme de Sankey visualisant le flux d'énergie nécessaire pour produire un kg d'hydrogène

η = Énergie massique finale / Énergie massique initiale

η = 14,3 / 61,2 = 0,234 = 23,4 %



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

DR1.2 – Masse des équipements embarqués

		
Type de véhicule	Électrique à batteries	Électrique à pile à combustible
Batteries	130 kg	....
Réservoirs à hydrures	Non équipé	....
Pile à combustible + système de refroidissement	Non équipé	....
Convertisseurs DC/AC	Équipements identiques	Équipements identiques
Convertisseur DC/DC	Non équipé	....
Total	130 kg	130 kg

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 SPÉCIFIQUE (8 points)

ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

Centre de dialyse de Guinée



Constitution du sujet :

- **Dossier sujet et questionnement**..... pages 28 à 32
- **Dossier technique**..... pages 33 à 39
- **Documents réponses** ..... pages 40 à 42

Mise en situation

La société MAHYTEC a été retenue via un appel à Projet « Solutions Innovantes pour la ville durable en Afrique » de la direction Générale du Trésor pour construire un centre de dialyse pour les malades chroniques de la région de Kamsar en Guinée.



En effet, la République de Guinée ne possède qu'un centre de traitement de dialyse public à Conakry, la capitale, située dans l'extrême ouest du pays, obligeant les malades à migrer vers la capitale au risque de périr.

L'implantation d'un centre de dialyse nécessite une source d'énergie stable. Bien que le réseau électrique soit plutôt stable dans la ville de Kamsar, le traitement par dialyse nécessite une sécurisation supplémentaire du réseau électrique.

Pour répondre à cela, la proposition de MAHYTEC s'appuie sur 3 éléments :

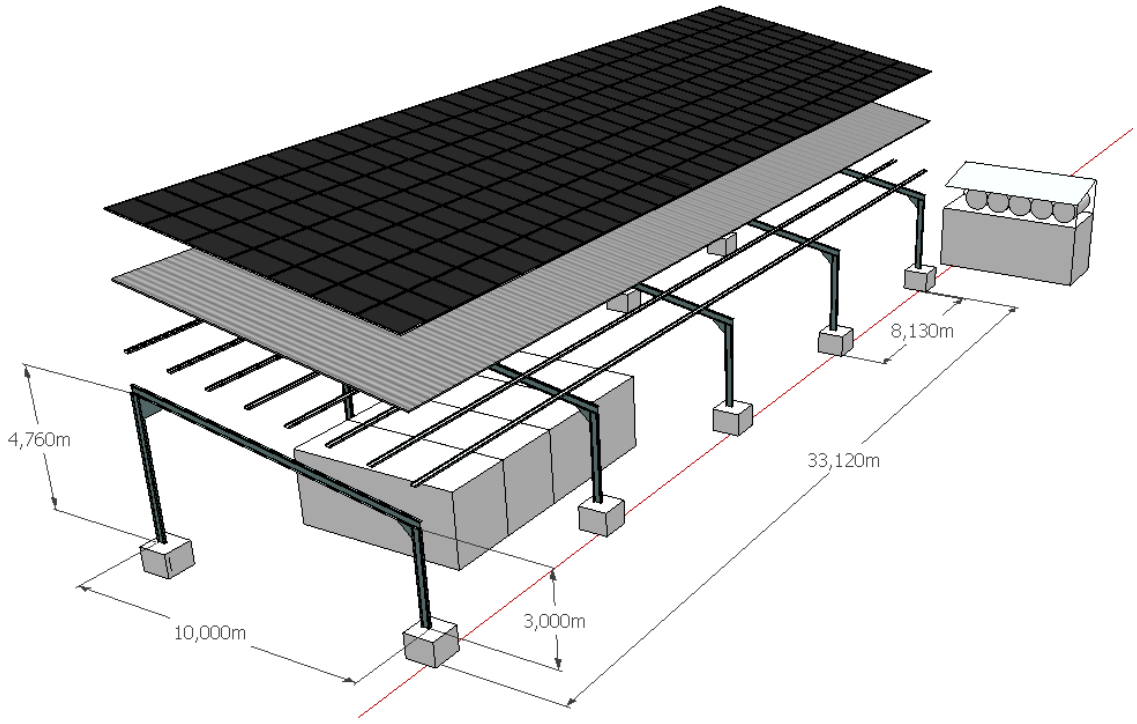
- une solution conteneurisée – des conteneurs aménagés en différents espaces – l'un d'entre eux servant de salle de dialyse avec des équipements tropicalisés et une climatisation adaptée, les autres servant au système de stockage d'énergie, aux salles de réception et de préparation pour le personnel. Cela permet de mettre directement en œuvre à moindre frais par rapport à une construction et de transporter sur place le système avec un minimum d'impact d'infrastructure ainsi qu'une maintenance facilitée.
- une source d'énergie renouvelable solaire par l'intermédiaire de panneaux solaires installés sur une ombrière comportant 200 panneaux photovoltaïques couvrant les conteneurs. Cette ombrière participe aussi à la réduction de température du centre tout en fournissant l'énergie au système de stockage et de régulation.
- une solution de stockage hybride hydrogène/batteries, qui permettra de faire fonctionner 24h/24 et 7j/7 le centre, de façon à le rentabiliser au maximum au bénéfice des malades, avec un très faible impact sur les OPEX*. L'hydrogène est produit sur place par électrolyse puis stocké sous forme gazeuse à moyenne pression et ensuite reconverti au besoin en électricité.

Ce centre permettra à terme de réaliser environ 80 séances de dialyse par semaine. Le retour d'expérience de ce premier projet permettra ensuite de diffuser cette solution à l'intérieur du pays et dans d'autres pays qui ont dans l'ensemble la même problématique.

* dépenses, frais d'exploitation

Travail demandé

Partie A : Validation du choix de l'ombrière et de ses caractéristiques



Question A.1 DR2.1	À partir des données listées dans la mise en situation, **localiser** les différentes parties du projet : ombrière, panneaux photovoltaïques, salle de dialyse, production d'énergie, réservoirs d'hydrogène.
Question A.2 DT2.1	**Déterminer** le code de classification climatique de Köppen de la région de Kamsar ainsi que la description du type de climat et du régime pluviométrique associée.
Question A.3	**Proposer** au moins 2 solutions pouvant répondre à l'exigence : se protéger du soleil.
Question A.4 DT2.2	Le principe d'une ombrière est de placer l'ensemble d'un bâtiment à l'ombre durant les mois les plus chauds de l'année. D'après les données climatiques, **justifier** que l'ombrière devra protéger le bâtiment durant toute l'année.

La suite de l'étude portera sur le tracé des rayons solaires à 13h au moment des changements de saisons (21 mars, 21 juin, 21 septembre, 21 décembre) afin de conclure sur la position optimale de l'ombrière pour protéger le centre de dialyse du soleil.

Question A.5

DT2.3

DR2.2

Le document technique montre la trajectoire du soleil à différents moments de l'année.

Identifier sur ce document à quelle heure se lève et à quelle heure se couche le soleil à la date du 21 juin et du 21 décembre et **reporter** ces valeurs sur le document réponses.

Le soleil se trouvant au zénith à 13h**, déterminer** à l'aide des courbes du DT2.3 la valeur de l'angle d'élévation des rayons solaires à cet horaire le 21 juin et le 21 décembre et **reporter** ces valeurs sur le document réponses.

Question A.6

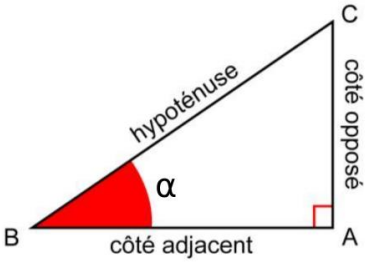
DR2.2

Tracer l'incidence du soleil sur la coupe pour la date du 21 décembre et **en déduire** la profondeur optimale du surplomb de l'ombrière par rapport au bâtiment c'est-à-dire la distance à partir de laquelle la façade sud de la salle de dialyse se trouvera toujours à l'ombre.

Reporter cette valeur sur le document réponses.

Il s'agit maintenant de trouver la valeur précise de la position de la salle de dialyse en utilisant les formules de trigonométrie qui sont rappelées ici.

$$cos \propto = \frac{côté\ adjacent}{hypoténuse} \ ; \ sin \propto = \frac{côté\ opposé}{hypoténuse} \ ; \ tan \propto = \frac{côté\ opposé}{côté\ adjacent}$$



Question A.7

DR2.2

À partir de l'angle d'incidence et de la hauteur de l'ombrière, **déterminer** la valeur exacte de la profondeur du surplomb noté L_s en réalisant un calcul de trigonométrie pour la date du 21 décembre. On prendra α = 55°.

Question A.8

DR2.2

DR2.3

Une simulation numérique présentée sur le DR2.3 permet de visualiser les ombres projetées à des dates différentes.

En vous aidant des valeurs d'angle inscrites sur le DR2.2, **compléter** le tableau de DR2.3 en indiquant le numéro de l'image correspondant à la date à laquelle la simulation a eu lieu.

Conclure sur la position optimale de l'ombrière par rapport aux conteneurs et aux diverses façades au regard de vos calculs et observations.

Partie B : Détermination de la descente de charges de l'ombrière dans le but de dimensionner les fondations

Le but de cette partie est de déterminer la valeur des efforts qui transitent dans les différents éléments de la structure porteuse de l'ombrière afin de dimensionner les fondations.
Pour ce faire, l'étude consiste à réaliser une descente de charges sur l'un des poteaux les plus sollicités de la structure.

Pour cette étude, on considère que les panneaux photovoltaïques et leur structure sont fixés au-dessus des tôles en bac acier.

Pour toute cette partie, faire les calculs et les relevés sur copie puis reporter les résultats sur le DR2.4.

Question B.1

DT2.4

DR2.4

À l'aide des caractéristiques techniques des panneaux photovoltaïques indiquées sur le document technique et en prenant une intensité de pesanteur g = 10 $m \cdot s^{-2}$, **calculer** leur masse surfacique en $kg \cdot m^{-2}$ et **déduire** leur poids surfacique en $kN \cdot m^{-2}$.

Sur le document technique, **relever** la valeur de la charge surfacique engendrée par les rails.

Question B.2

DT2.5, DT2.6

DT2.7

DR2.4

Relever la masse surfacique d'un bac acier de 1 mm d'épaisseur sur le DT2.5 et **déduire** son poids surfacique en $kN \cdot m^{-2}$.

Relever la masse linéique des poteaux et des traverses sur le DT2.6 et **déduire** leur poids linéique en $kN \cdot ml^{-1}$.

Relever la masse linéique des pannes sur le DT2.6 et **déduire** leur poids linéique en $kN \cdot ml^{-1}$.

Question B.3

DT2.7

DR2.4

Sur le croquis en vue de dessus de l'ombrière du document réponses, **représenter** les surfaces d'influence agissant sur les poteaux 1 et 3.

À l'aide des dimensions indiquées sur le document technique, **coter** ces surfaces d'influence puis **calculer** l'aire de chacune.

Déterminer quels poteaux reprennent le plus de charges.

Question B.4

Pour la suite du sujet, on prendra un poids linéique de 0,16 $kN \cdot ml^{-1}$ pour les pannes en IPE 160 et un poids linéique de 0,31 $kN \cdot ml^{-1}$ pour les pannes en IPE 240.
Sur le DR2.4, les longueurs cumulées sont notées ml pour les pannes, les traverses et le poteau P3.

À partir des dimensions obtenues précédemment pour la surface d'influence agissant sur le poteau P3 et des cotations indiquées sur la perspective fournie en début de partie A, **justifier** ces longueurs.

Question B.5

DT2.7

DR2.4

Quels que soient les résultats obtenus précédemment, on prendra une valeur de surface d'influence sur le poteau P3 de 41 m² (valeur déjà indiquée sur le document réponses).
On considère que les charges d'exploitation sont de 1,5 $kN \cdot m^{-2}$.

Calculer la charge transmise en kN par chaque élément de la structure au pied du poteau P3 et **déduire** le total charges permanentes G en kN et les charges d'exploitation Q en kN.

Question B.6

DR2.4

Pour dimensionner les fondations on applique des coefficients aux charges permanentes et aux charges d'exploitations de la manière suivante : $\boxed{F = 1{,}35 \cdot G + 1{,}50 \cdot Q}$

Calculer la charge F transmise par le poteau P3 à sa fondation.

La formule permettant de dimensionner les fondations superficielles est : $\boxed{\sigma = F / S}$ avec la pression admissible du sol σ en $N \cdot mm^{-2}$, la charge exercée sur le sol F en N et la section de la fondation S en mm².
Calculer la section de la fondation S en mm² sachant que $\sigma = 0{,}1$ $N \cdot mm^{-2}$.

Question B.7

La hauteur du plot de fondation est fixée à 850 mm, **calculer** le volume de béton nécessaire à la semelle de fondation d'un poteau.

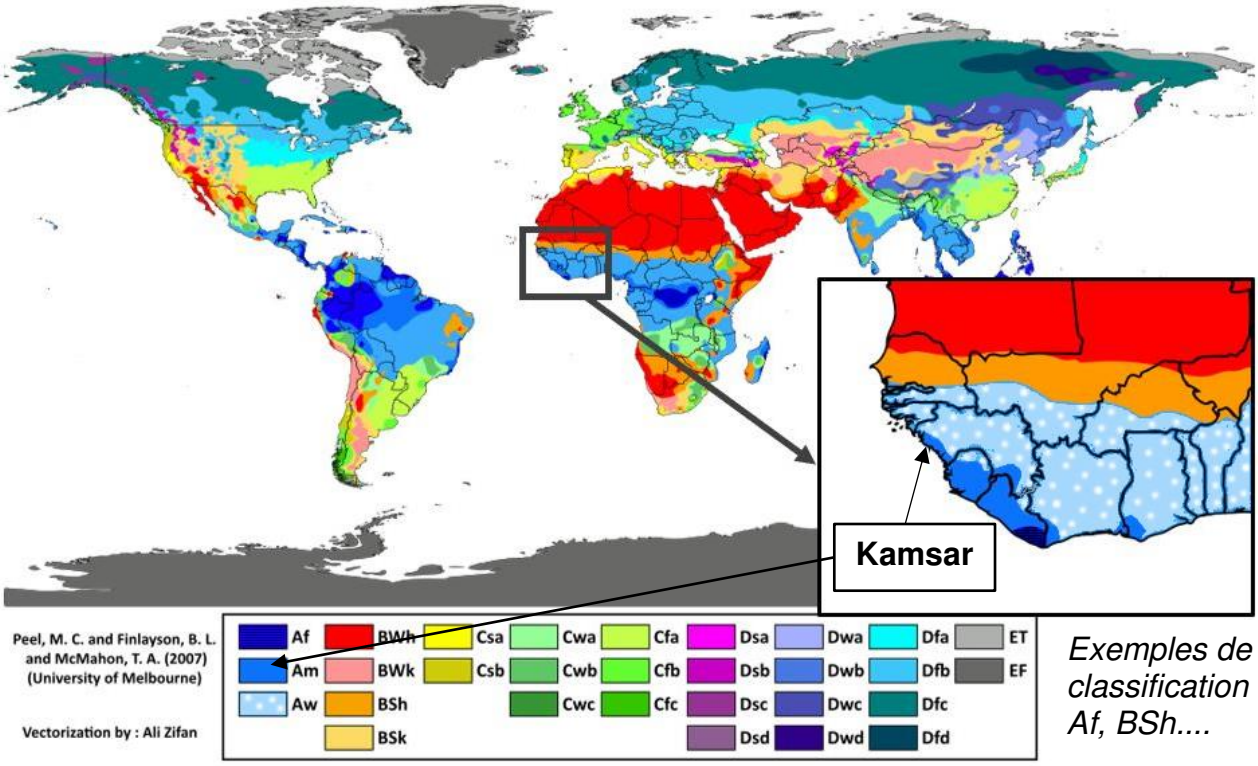
En supposant que les fondations sont identiques pour tous les poteaux, **déduire** le volume de béton nécessaire pour les fondations de l'ensemble de l'ombrière.

Question B.8

On souhaite réduire le volume de béton nécessaire pour les fondations et par voie de conséquence réduire l'impact environnemental.

Proposer au moins 2 solutions permettant de satisfaire cette exigence.

DT2.1 – Classification climatique de Köppen



Exemples de classification : Af, BSh....

Wladimir Peter Köppen a mis au point dans les années 1920 un système de classification des climats, basée uniquement sur les précipitations et les températures. Un climat est ainsi repéré par un code de deux ou trois lettres :

1ère lettre : type de climat

Code	Type	Description
A	Climat tropical	• Température moyenne de chaque mois de l'année > 18°C • Pas de saison hivernale • Fortes précipitations annuelles (supérieure à l'évaporation annuelle)
B	Climat sec	• Evaporation annuelle supérieure aux précipitations annuelles • Aucun cours d'eau permanent
C	Climat tempéré chaud	• Températures moyennes des 3 mois les plus froids comprises entre -3 °C et 18 °C • Température moyenne du mois le plus chaud > 10 °C • Les saisons été et hiver sont bien définies
D	Climat tempéré froid	• Température moyenne du mois le plus froid < -3 °C • Température moyenne du mois le plus chaud > 10 °C • Les saisons été et hiver sont bien définies
E	Climat polaire	• Température moyenne du mois le plus chaud < 10 °C • La saison d'été est très peu marquée

2ème lettre : régime pluviométrique

Code	Description	S'applique à
S	• Climat de steppe • Précipitations annuelles comprises entre 380 et 760 mm	B
W	• Climat désertique • Précipitations annuelles < 250 mm	B
f	• Climat humide • Précipitations tous les mois de l'année • Pas de saison sèche	A-C-D
w	• Saison sèche en hiver	A-C-D
s	• Saison sèche en été	C
m	• Climat de mousson : • Précipitations annuelles > 1500 mm • Précipitations du mois le plus sec < 60 mm	A
T	• Température moyenne du mois le plus chaud comprise entre 0 et 10 °C	E
F	• Température moyenne du mois le plus chaud < 0 °C	E
M	• Précipitations abondantes • Hiver doux	E

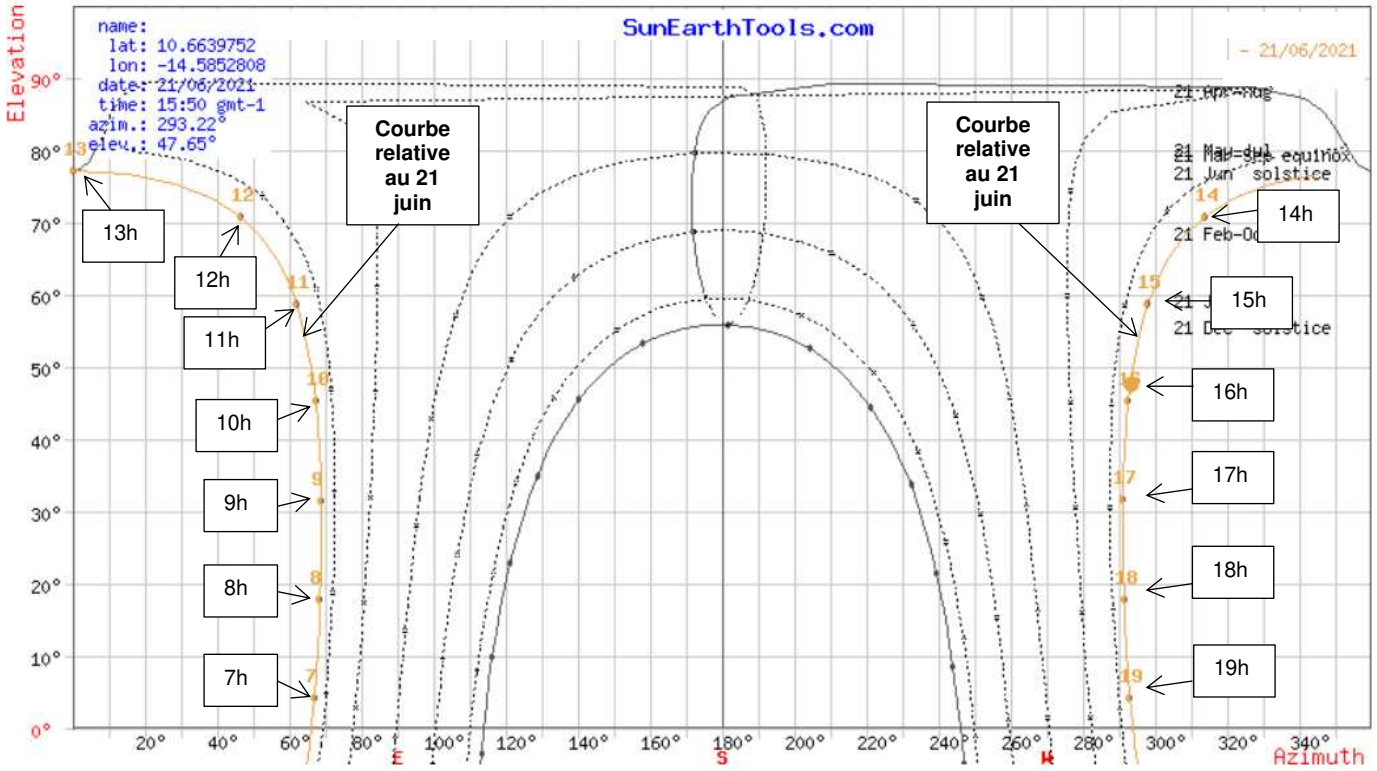
DT2.2 – Données climatiques

KAMSAR TABLEAU CLIMATIQUE

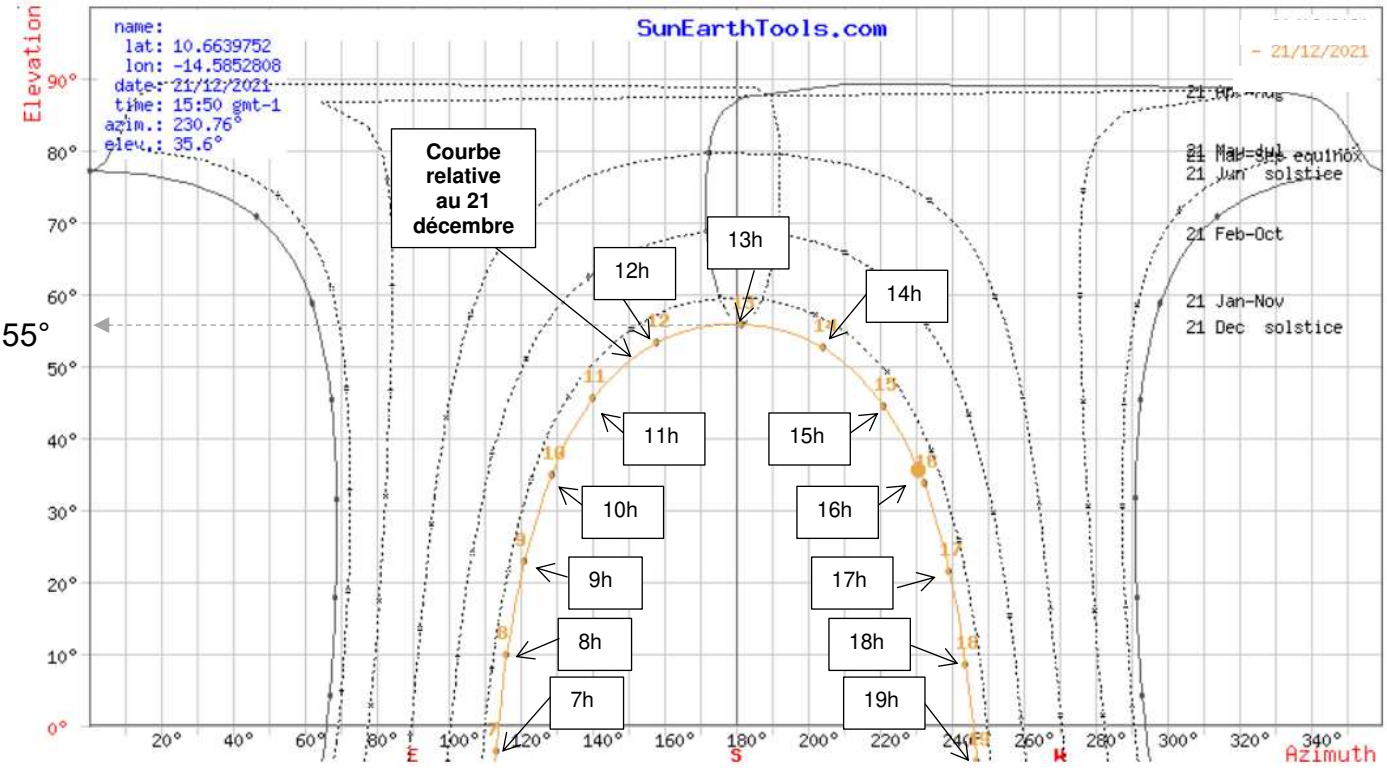
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep-tembre	Octobre	No-vembre	Dé-cembre
Température moyenne (°C)	26	26.4	26.6	26.8	27.4	26.9	25.7	25.3	25.8	26.5	27.1	26.5
Température minimale moyenne (°C)	21.6	22.2	23	23.8	25.1	25.1	24.1	24	24	24.4	24.7	22.7
Température maximale (°C)	31.2	31.7	31.4	31	30.8	29.3	27.7	27.3	28.1	29.2	30	30.8
Précipitations (mm)	0	0	0	1	37	209	487	596	413	235	66	5
Humidité(%)	62%	64%	69%	71%	74%	82%	86%	87%	87%	85%	82%	69%
Jours de pluie (jrée)	0	0	0	0	5	17	22	22	21	21	10	1

DT2.3 – Trajectoires du soleil

Trajectoire du soleil le 21 juin



Trajectoire du soleil le 21 décembre



α = 55°

TARKA 120 VSMS

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES AUX CONDITIONS STC (Standard Test Conditions, 1000W/m², 25°C, AM1,5)

Gamme de puissance (Wc)	320	325	330
Rendement surfacique	19,0%	19,3%	19,6%
Tensions à puissance max. Vpmax (V)	34,01	34,27	34,59
Intensité à puissance max. Ipstc (A)	9,42	9,49	9,54
Tension circuit ouvert Voc (V)	39,78	40,02	40,20
Courant de court-circuit Isc (A)	10,09	10,17	10,31

La charge des rails supportant les panneaux est estimée à 0,12 kN·m^{-2}

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES AUX CONDITIONS NOCT (Normal operating cell temperature, 800 W/m², 45°)

Puissance au NOCT (W)	237,4	241,2	244,9
Intensité au NOCT (A)	7,62	7,68	7,73
Tension au NOCT (V)	31,15	31,39	31,69

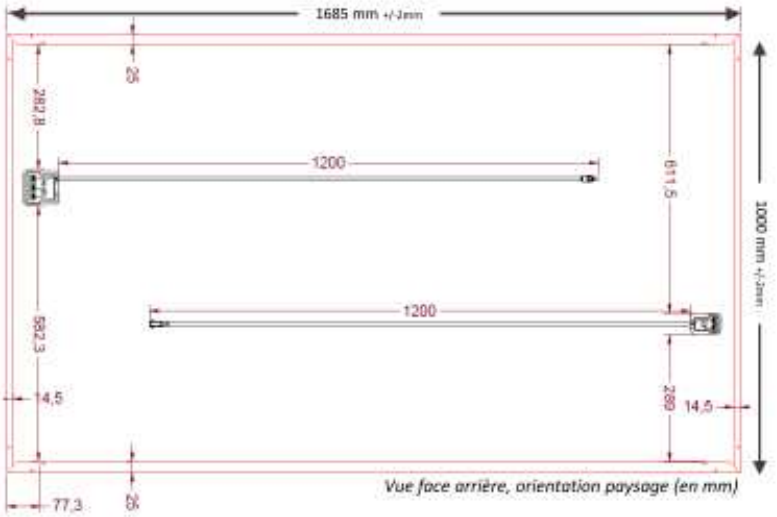
VALEURS NOMINALES DE TEMPERATURE

Température nominale cellule (NOCT)	45°C
Coefficient de temp. sur Pmax	-0,37%/°C
Coefficient de temp. sur Voc	-0,32%/°C
Coefficient de temps. sur Isc	0,05%/°C

CARACTERISTIQUES STANDARDS DES PANNEAUX

Dimensions	1685x1000x42 mm
Masse	18,6 kg
Type de cellules	Mono PERC
Dimensions et quantité/panneau	120 demi-cellules
Verre solaire	Verre trempé 3,2mm antireflets
Connecteurs	MC4 EVO2 STAUBLI
Longueur des câbles	2x 1,2m
Cadre	Aluminium (option finition noire)
Couleur de backsheet	Blanc
Tolérance en puissance	0 /+5W
Températures d'utilisation	-40 °C à +85 °C
Charge maximum par vent/neige	2400 Pa / 5400 Pa
Résistance à la grêle	Ø 25mm à 80 km/h
Sécurité électrique	Classe II
Tension maximale du système (V)	1500
Courant inverse max. IRM (A)	15





Vue face arrière, orientation paysage (en mm)



Vue en coupe du cadre, champ long

Retour cadre arrière, côté long : 25 mm
Retour cadre arrière, côté court : 14.5mm
(retour cadre de cadre 30mm selon modèle)

ISO 9001
ISO 14001
BUREAU VERITAS Certification

VOLTEC solar
L'avenir a un sens

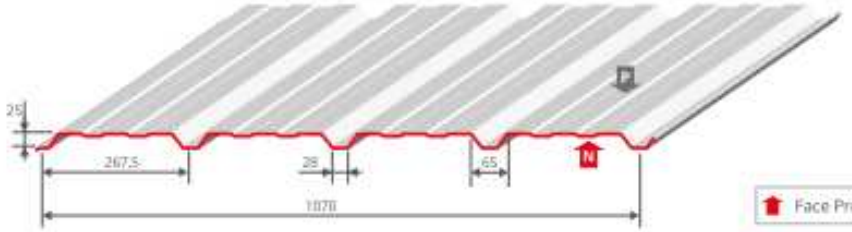
IEC

PV CYCLE

Voltec Solar SAS
1 rue des Prés • 67190 DINSHEIM-SUR-BRUCHE • FRANCE
Tél : +33 (0)3 88 49 49 84 • Fax : +33 (0)3 88 49 49 85
info@voltec-solar.com • **www.voltec-solar.com**

DT2.5 – Caractéristiques techniques du support bac acier

ALTEO 25.1070



Épaisseur **mm**	Masse surfacique **Kg·m^{-2}**
0.75	**6.71**
0.88	**7.88**
1	**8.95**

REVÊTEMENTS STANDARDS ›

Acier S 320 GD	Épaisseur mm	Normes
Galva	0,75/0,88/1,00	NF EN 10346 / NF P 34-310
Polyester 15µ	0,75/0,88/1,00	NF EN 10169 / NF P 34-301
Autres revêtements	sur demande	NF EN 10169 / NF P 34-301

BUREAU VERITAS

RAPPORT D'ESSAIS › N°1841430/1B

Essais de flexion suivant NF P 34-503 de novembre 1995. DTU 43.3 (NF P 84-206 Avril 2008)

VALEURS DE CALCUL › épaisseurs nominales en mm

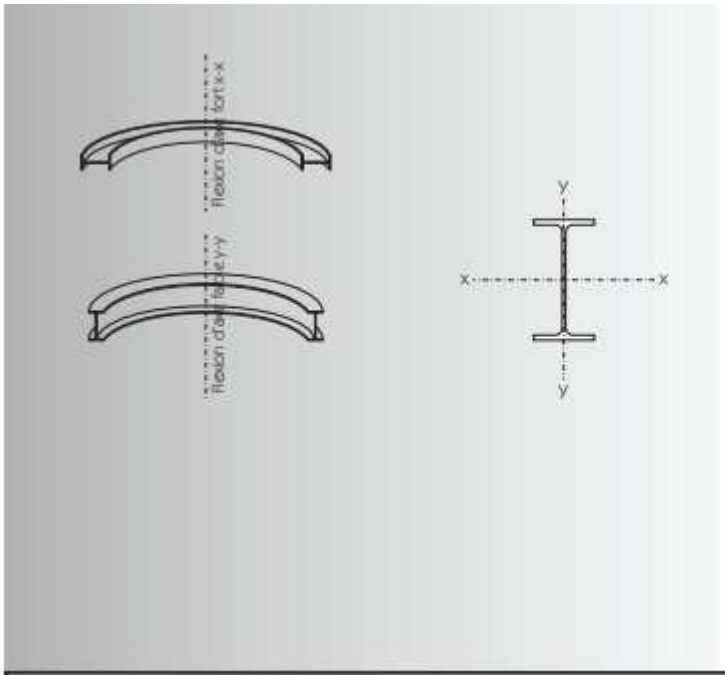
		symbole	unités	0,75	0,88	1,00
Limite d'élasticité minimale garantie			MPa	320	320	320
Charge due au poids du profil			daN/m²	6,59	7,73	8,79
Moments d'inertie	travée simple	I_2	cm⁴/m	6,10	7,16	8,14
	2 travées égales	I_3	cm⁴/m	6,07	7,12	8,09
	en continuité	I_m	cm⁴/m	6,09	7,14	8,11
Moments de flexion	en travée *système élastique*	M_{2T}	m.daN/m	103,0	120,9	137,4
	en travée *système élasto-plastique*	M_{3T}	m.daN/m	118,6	139,1	158,1
	sur appui	M_{3A}	m.daN/m	97,7	114,6	130,2
	sous charge concentrée	M_C	m.daN/m	76,1	89,3	101,4

TABLEAU DES PORTÉES D'UTILISATION EN FONCTION DES CHARGES NOMINALES › épaisseurs nominales en mm

CHARGES kN/m²			PORTÉES D'UTILISATION m		
CHARGES D'EXPLOITATION (s)	CHARGES PERMANENTES (p)	TOTAL DES CHARGES	TRAVÉE 0,75	TRAVÉE 0,88	TRAVÉE 1,00
1,00	0,15	1,15	1,35	1,55	1,65
1,00	0,20	1,20	1,35	1,55	1,65
1,00	**0,25**	**1,25**	**1,35**	**1,55**	**1,65**
1,00	0,50	1,50	1,35	1,55	1,60
1,00	1,00	2,00	1,35	1,40	1,45
1,25	0,15	1,40	1,35	1,55	1,60
1,25	0,25	1,50	1,35	1,55	1,60
1,50	0,15	1,65	1,35	1,45	1,50
1,50	0,25	1,75	1,35	1,45	1,50
1,50	1,20	2,70	1,20	1,30	1,35
1,75	0,15	1,90	1,30	1,40	1,45
1,75	0,25	2,00	1,30	1,40	1,45
2,00	0,15	2,15	1,25	1,30	1,40
2,00	0,25	2,25	1,25	1,30	1,40

*Pour toutes demandes de notes de calculs selon les EUROCODES, rapprochez-vous de votre contact commercial ou de notre service technique.

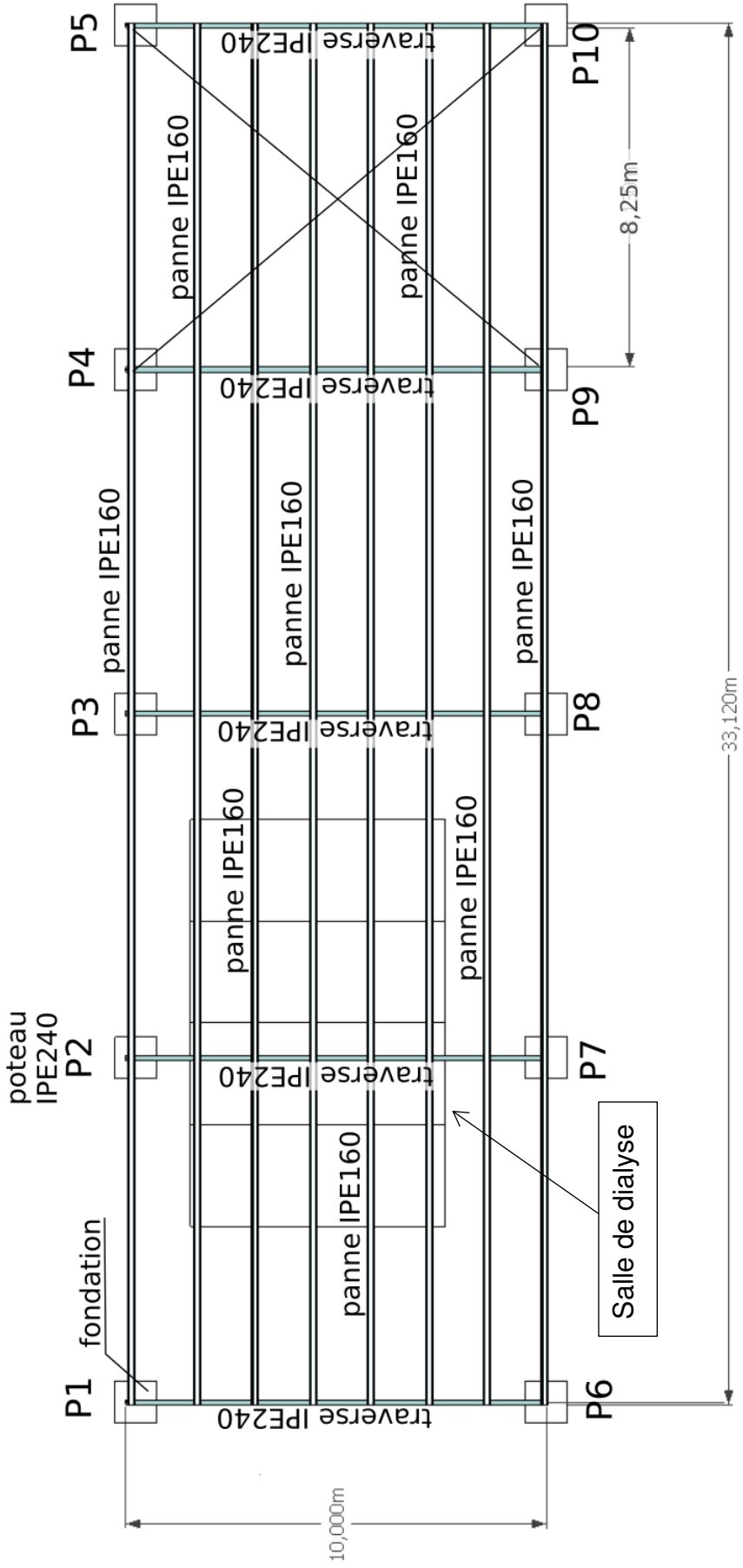
DT2.6 – Caractéristiques techniques des profilés IPE



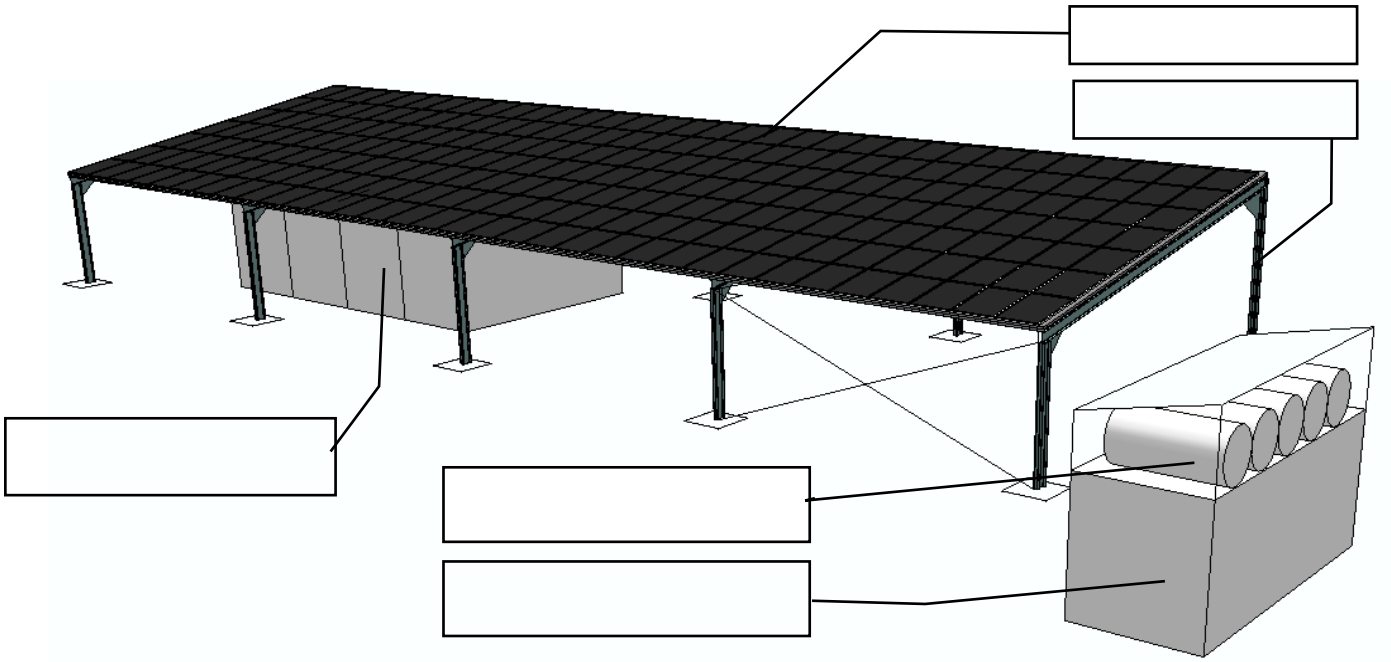
EURONORM 19-57 DIN 1025

IPE	Poids (Kg/m)	Dimensions (mm) h	b	a	e	r	V (m²/m)	F (cm²)	Ix-x (cm⁴)	Wx-x (cm³)	ix-x (cm)	Iy-y (cm⁴)	Wy-y (cm³)	iy-y (cm)
80	6,2	80	46	3,8	5,2	5	0,328	7,6	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05
100	8,3	100	55	4,1	5,7	7	0,400	10,3	171,0	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24
120	10,6	120	64	4,4	6,3	7	0,475	13,2	318,0	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45
140	13,2	140	73	4,7	6,9	7	0,551	16,4	541,0	77,3	5,74	44,9	12,30	1,65
160	16,1	160	82	5,0	7,4	9	0,623	20,1	869,0	109,0	6,58	68,3	16,70	1,84
180	19,2	180	91	5,3	8,0	9	0,698	23,9	1317,0	146,0	7,42	101,0	22,20	2,05
200	22,9	200	100	5,6	8,5	12	0,768	28,5	1943,0	194,0	8,26	142,0	28,50	2,24
220*	26,7	220	110	5,9	9,2	12	0,848	33,4	2772,0	252,0	9,11	205,0	37,30	2,48
240*	31,3	240	120	6,2	9,8	15	0,922	39,1	3892,0	324,0	9,97	284,0	47,30	2,69
270*	36,8	270	135	6,6	10,2	15	1,041	45,9	5790,0	429,0	11,20	420,0	62,20	3,02
300	43,1	300	150	7,1	10,7	15	1,160	53,8	8356,0	557,0	12,50	604,0	80,50	3,35
330	50,1	330	160	7,5	11,5	18	1,250	62,6	11770,0	713,0	13,70	788,0	98,50	3,55
360	58,2	360	170	8,0	12,7	18	1,350	72,7	16270,0	904,0	15,00	1043,0	123,00	3,79
400	67,6	400	180	8,6	13,5	21	1,470	84,5	23130,0	1160,0	16,50	1318,0	146,00	3,95
450	79,1	450	190	9,4	14,6	21	1,610	98,8	33740,0	1500,0	18,50	1676,0	176,00	4,12
500	92,5	500	200	10,2	16,0	21	1,740	116,0	48200,0	1930,0	20,40	2142,0	214,00	4,31
550	108,1	550	210	11,1	17,2	24	1,880	134,0	67120,0	2440,0	22,30	2668,0	254,00	4,45
600	124,4	600	220	12,0	19,0	24	2,010	156,0	92080,0	3070,0	24,30	3387,0	308,00	4,66

DT2.7 – Plan de la structure de l'ombrière



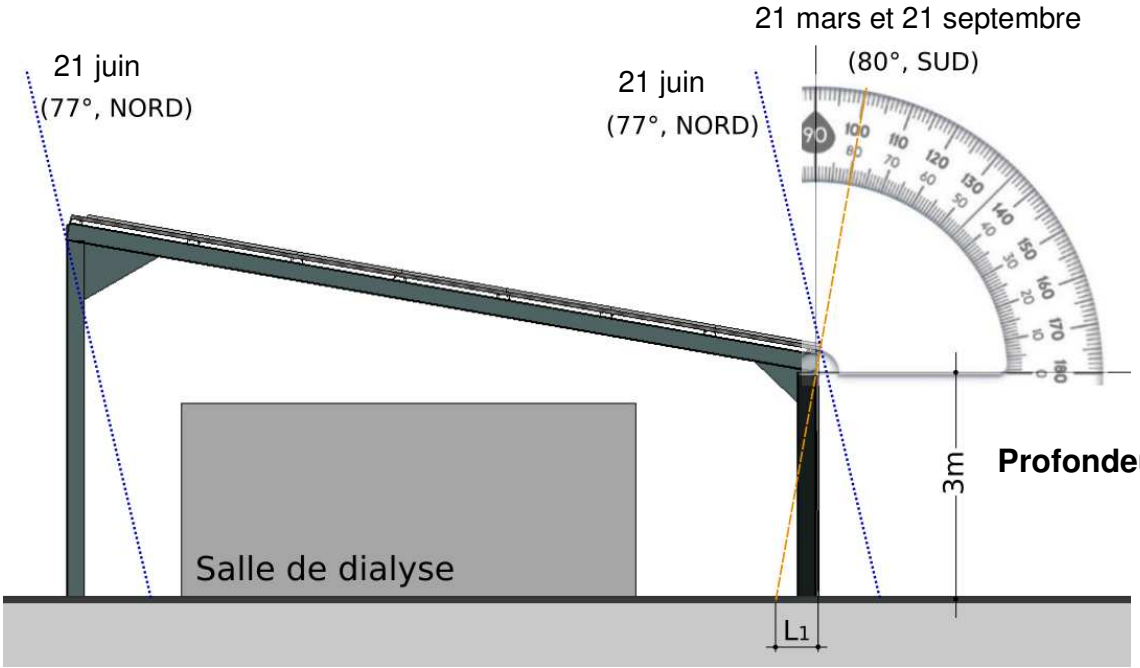
DR2.1 – Centre de dialyse de Kamsar



DR2.2 – Tracé des rayons solaires

	21 juin	21 décembre
Heure de lever du soleil		
Heure de coucher du soleil		
Incidence (angle) solaire		

Coupe de la salle de dialyse et de l'ombrière, échelle 1/100



Profondeur optimale :

Exemple : on note L1 la profondeur du surplomb de l'ombrière nécessaire au 21 mars et au 21 septembre.

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.)

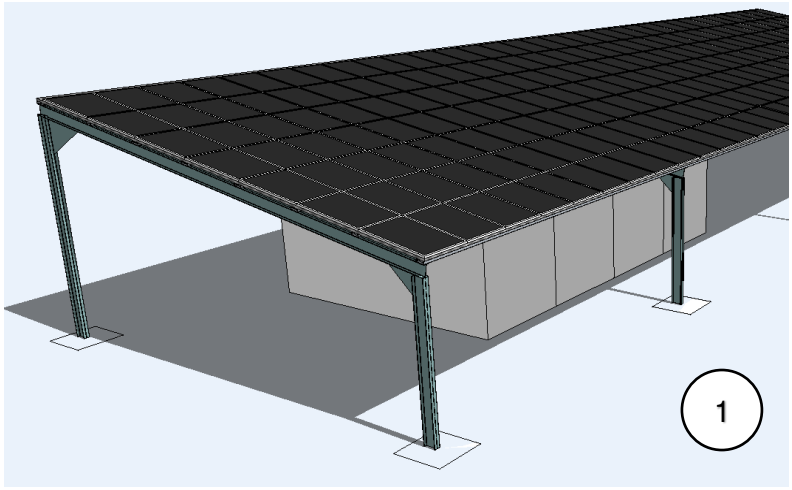
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

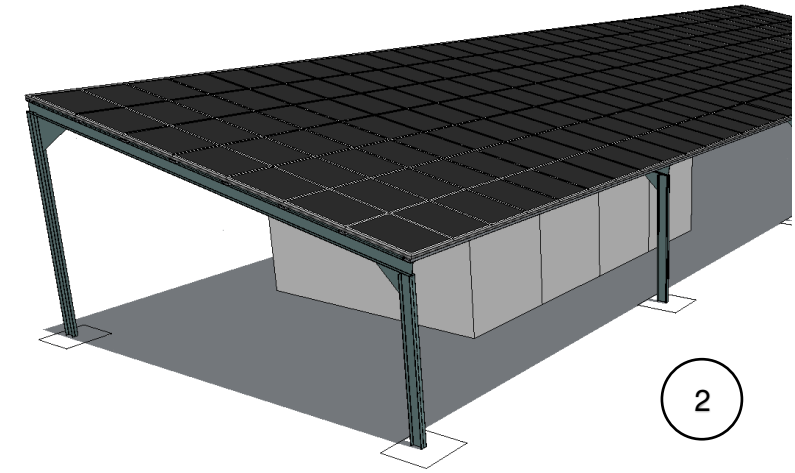
Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

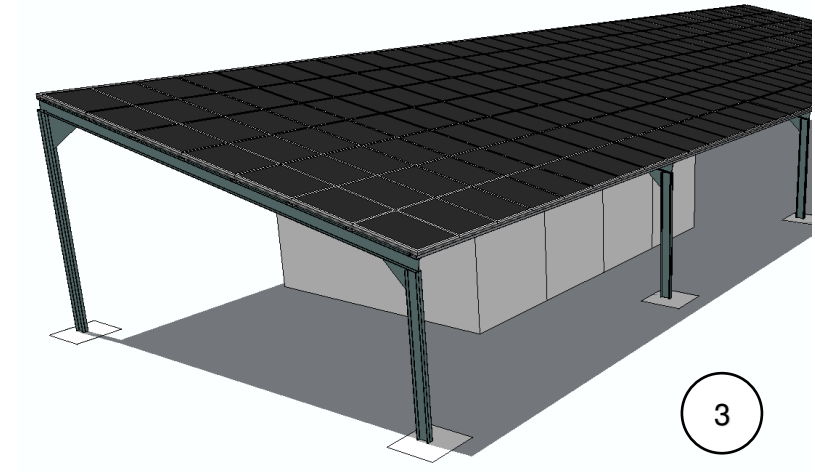
1.2

DR2.3 – Simulation d'ombres de l'ombrière sur la salle de dialyse

Date de la simulation	Numéro de l'image
21 mars et 21 septembre	
21 juin	
21 décembre	







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

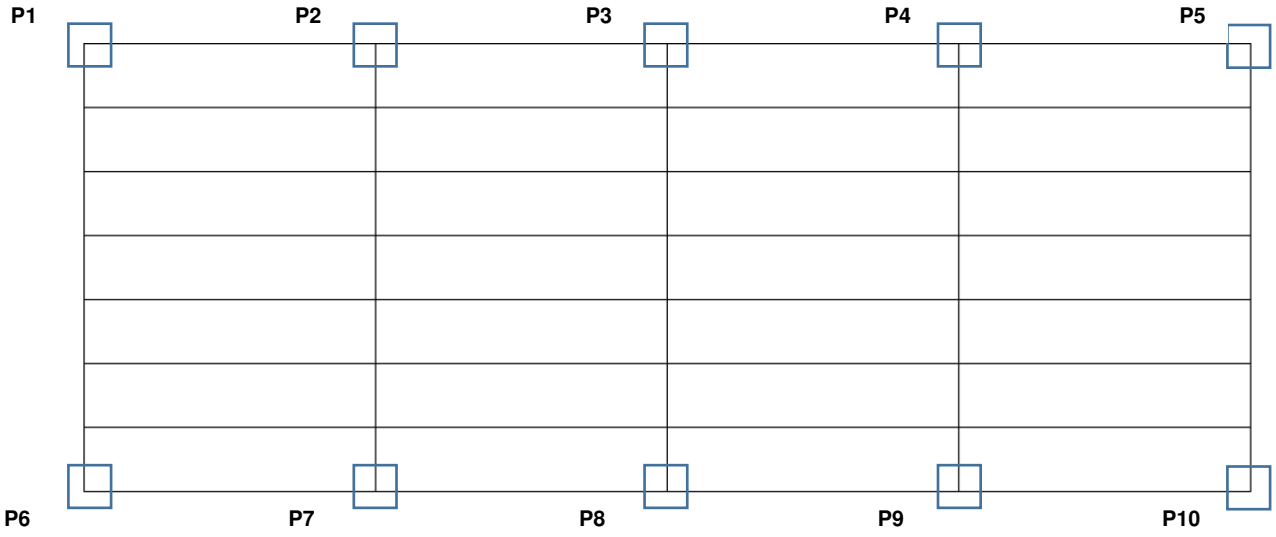
Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DR2.4 – Descente de charge

	Poids surfacique ($kN \cdot m^{-2}$)	Surface (m^2)	Poids linéique ($kN \cdot ml^{-1}$)	Longueur (ml)	Total (kN)
Panneaux photovoltaïques	B.1 ----------	41			----------
Rails supportant les panneaux	B.1 ----------	41			----------
Bac acier	B.2 ----------	41			----------
Pannes IPE 160			B.2 ----------	33	----------
Traverse IPE 240			B.2 ----------	5,07	----------
Poteau IPE 240			B.2 ----------	4,76	----------
Total charges permanentes G					----------
Charges d'exploitation Q	B.5 ----------	41			----------
Cas de charges ELU **F = 1,35 · G + 1,50 · Q**					----------

B.3 Surfaces d'influence :



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.