

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 collègue » 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 questionnaire**..... 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.

Imagines 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 CO₂ 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 | **Indiquer** quel est l'objectif mondial de réduction du CO₂ à horizon 2050.
DT1.1 | **Expliquer** en quoi la technologie hydrogène peut permettre à La Poste de réduire ses émissions de CO₂.
Mise en situation

Question 1.2 | **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.
DT1.2

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 | À partir du document technique, **lister** les sources d'énergie possibles de production d'hydrogène.
DT1.3 | **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 | **Identifier** les deux technologies de stockage de l'hydrogène que propose la société qui a fabriqué la station MAHYTEC de production d'hydrogène.
DT1.4

Question 2.2 | Pour chaque technologie, **relever** le volume de stockage disponible et la pression de chaque réservoir.
DT1.5

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

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-H2-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.

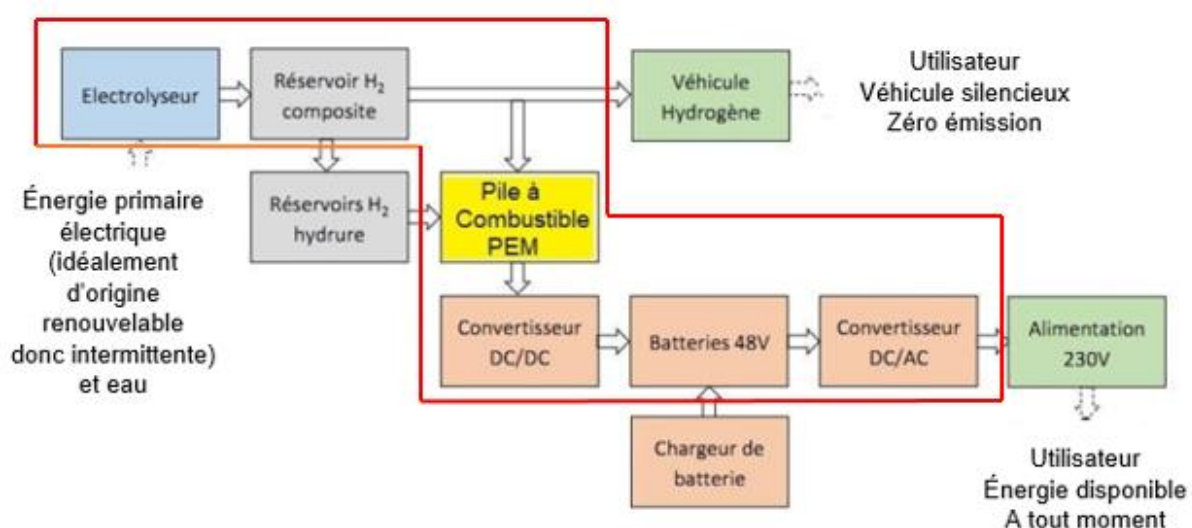
Cette question du rendement est parfois même posée comme controversée, dans un débat opposant frontalement le stockage par batterie - réputé avoir un meilleur rendement [de l'ordre de 70 %] - au vecteur hydrogène, jusqu'à la disqualification de celui-ci. [...]

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 H2-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 $E_{\text{électrolyseur}}$ nécessaire afin d'obtenir 1 kg d'hydrogène exprimée en kW·h/kgH₂.

Question 3.2
DR1.1 | On supposera dans la suite de l'étude que l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'électrolyseur est $E_{\text{électrolyseur}} = 61,2 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{kgH}_2$. On estime les pertes liées au détendeur situé en sortie de l'électrolyseur à 0,7 kW·h/kgH₂.
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'H₂ nécessaire à la production d'un kW·h d'électricité, on la notera C_{PAC} exprimée en gH₂/kW·h.
Exprimer cette valeur en kgH₂/kW·h et **déduire** la production d'énergie par kg d'hydrogène consommé en kW·h/kgH₂ 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 $\eta = (E_{\text{PAC}} \cdot \eta_{\text{DC/DC}} \cdot \eta_{\text{DC/AC}}) / E_{\text{électrolyseur}}$
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 | **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 $1 \text{ J} = 1 \text{ W}\cdot\text{s}$.
DT1.10, DT1.11

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 | **Compléter** le document réponses recensant les masses des différents constituants et en **déduire** la masse disponible pour les réservoirs à hydrures.
DT1.12
DR1.2

La capacité moyenne de stockage de H_2 dans les réservoirs à hydrures est de $9 \text{ gH}_2/\text{kgHydrure}$.

Le pouvoir énergétique de l'hydrogène est de $33 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{kgH}_2$.

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 $E_u = 7,5 \text{ kW}\cdot\text{h}$. 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 $5 \text{ kW}\cdot\text{h}$ pour la pile à combustible et de $4,6 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 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 :

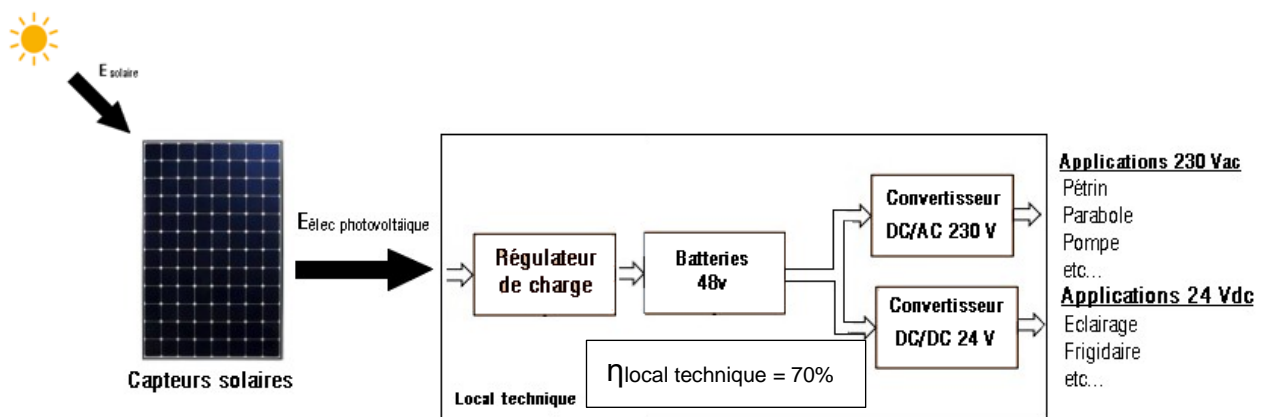
- période d'ouverture : 4 mois, de juin à septembre inclus ;
- période non gardée : 8 mois, d'octobre à mai inclus ;
- nombre de couchages : 47.

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·h·m⁻² par jour.

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

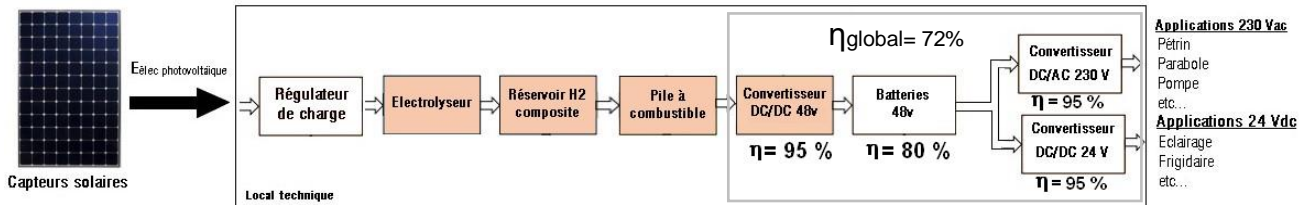
Calculer la quantité d'énergie produite par le système, en prenant en compte le rendement global des constituants du local technique.

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

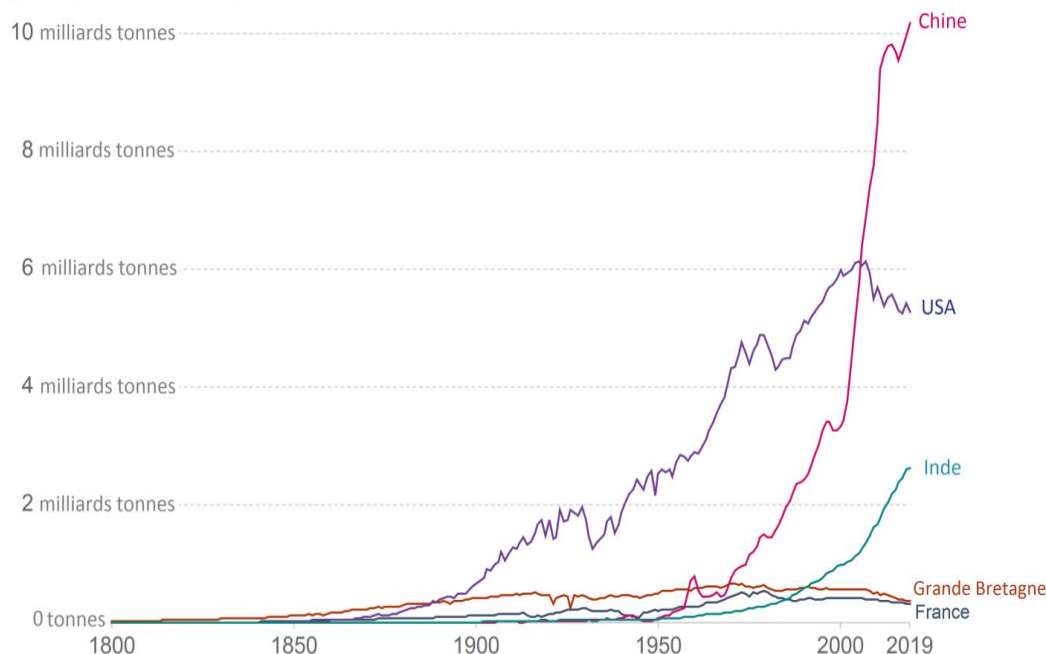
Proposer une solution pour atteindre l'autonomie énergétique du refuge.

DT1.1 – Évolution des émissions annuelles de CO₂

Dans le mix énergétique mondial de 2019, seulement 5 % de l'énergie est issue des énergies renouvelables. Et en même temps, les émissions de CO₂ s'affolent.

Emissions annuelles de CO₂

Emissions de dioxyde de carbone (CO₂) issues de la combustion d'énergies fossiles pour la production d'énergie et la production de ciment.



Source: Global Carbon Project; Carbon Dioxide Information Analysis Centre (CDIAC)

Note: CO₂ emissions are measured on a production basis, meaning they do not correct for emissions embedded in traded goods.
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

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 CO₂ 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).

DT1.2 – Demande en hydrogène par application

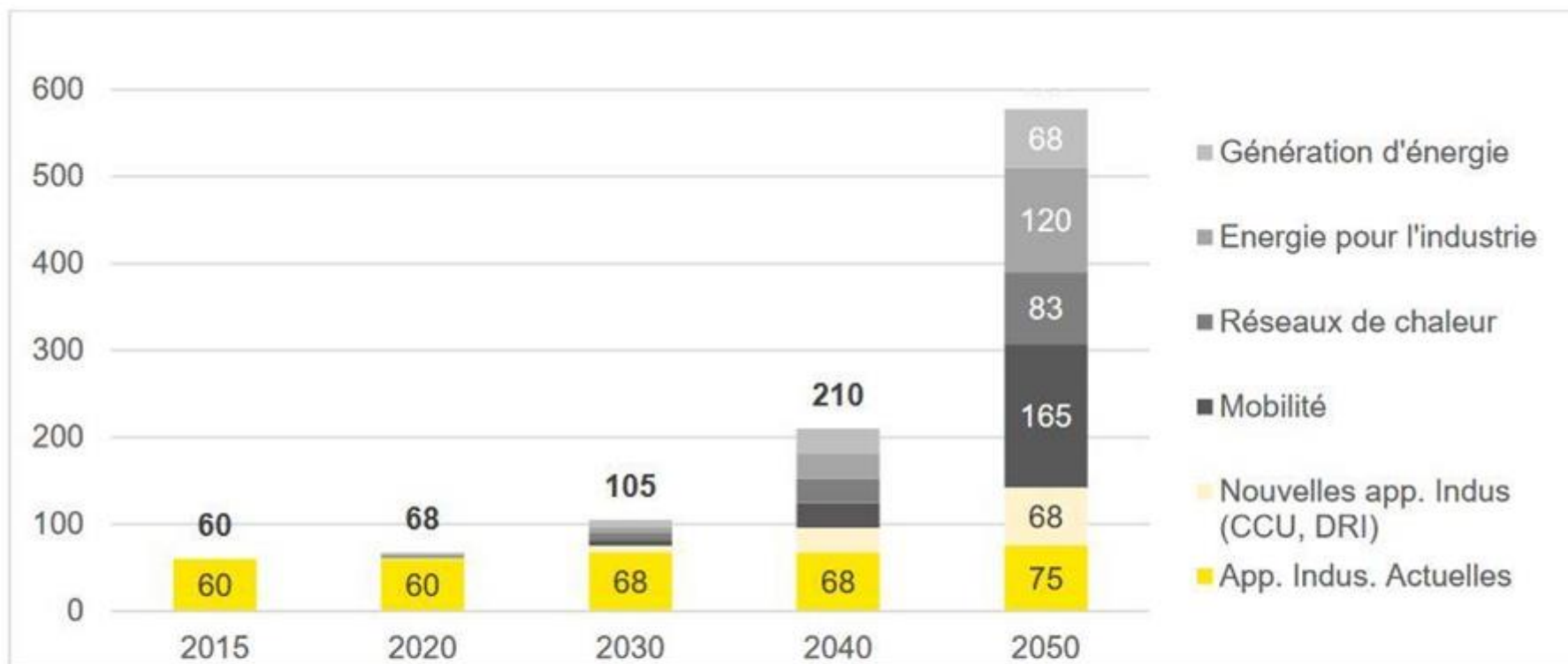
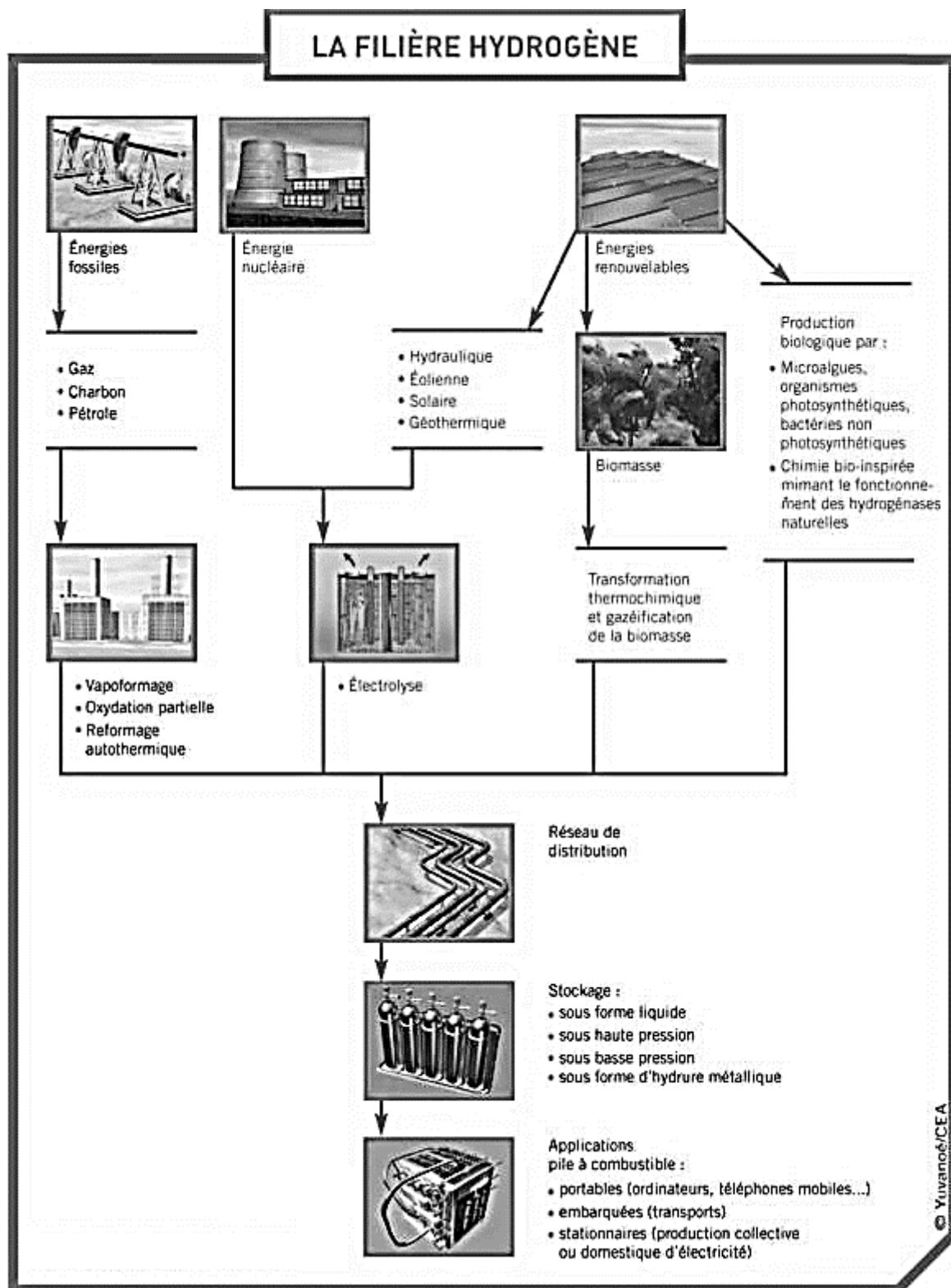


Figure 11. Demande mondiale en Hydrogène pur, par application, en millions de tonnes par an, d'après l'Hydrogen Council.

Source : Hydrogen Council 2017



DT1.4 – Société MAHYTEC et ses produits

Présentation :

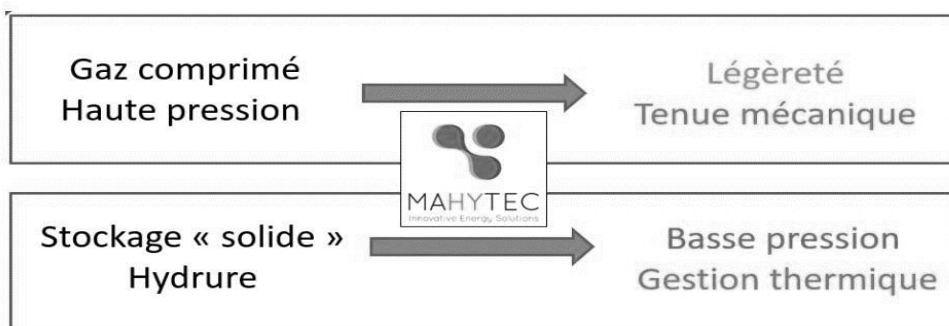
MAHYTEC : Matériaux Hydrogène TEChnologie

- Fondée en 2008 par 4 enseignants-chercheurs de l'UFC
- 25 employés
- Activité principalement en Europe

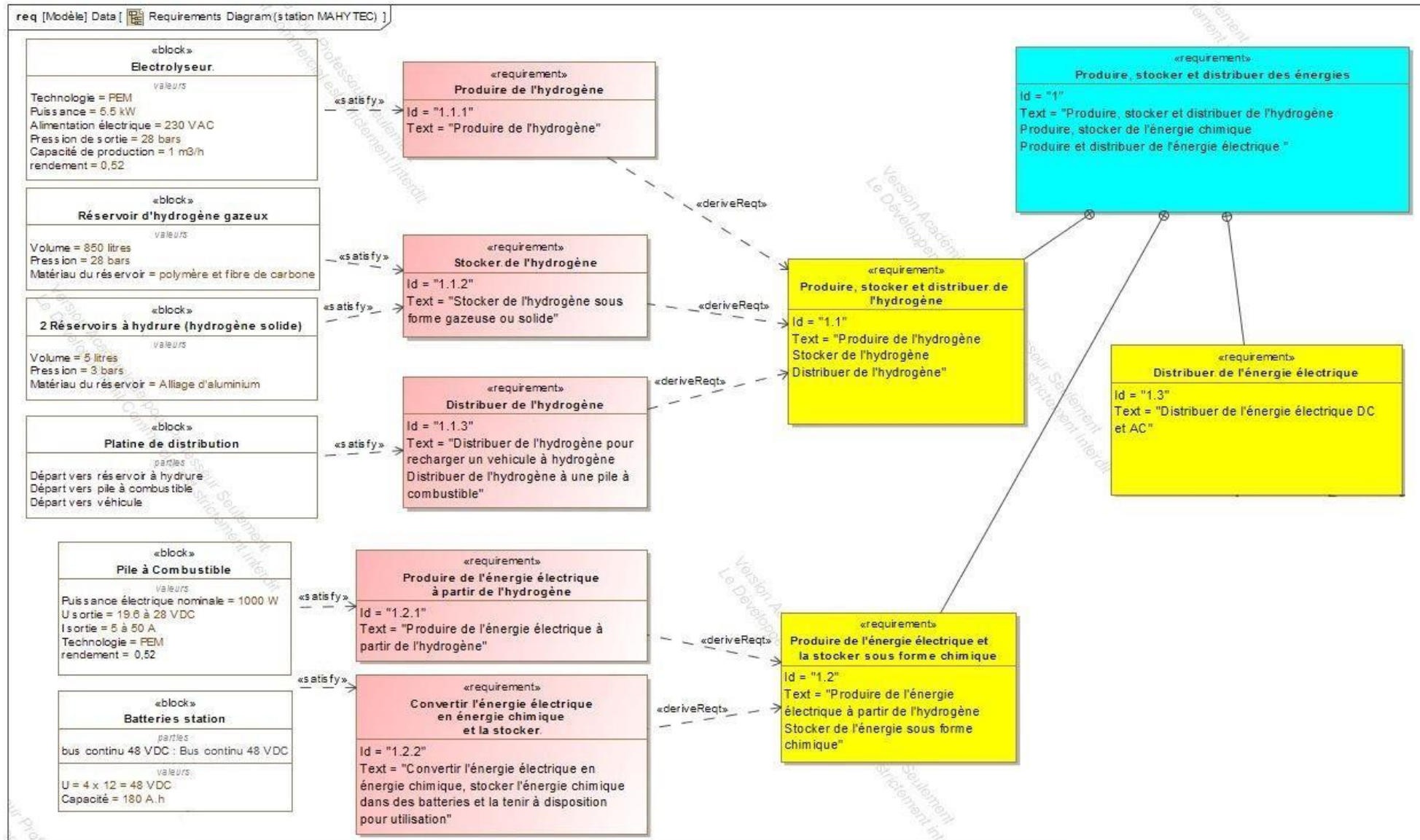
2 grandes activités:

- Fabrication de réservoirs d'hydrogène
- Conception et intégration de systèmes de stockage d'énergie

Produits :



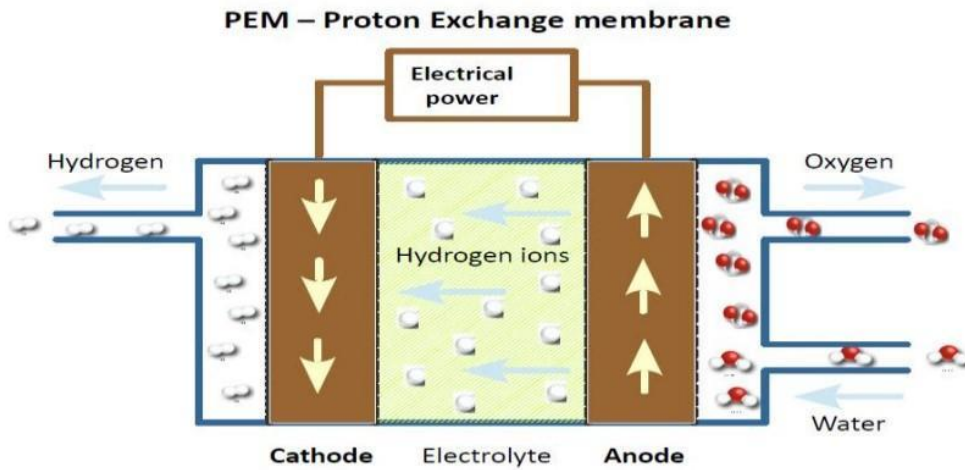
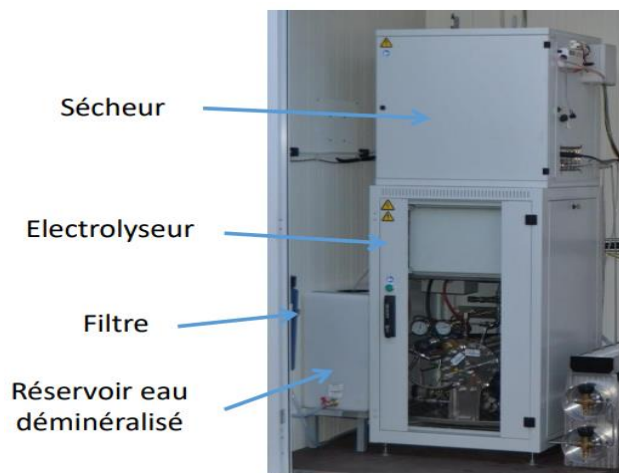
DT1.5 – Diagramme des exigences de la station MAHYTEC



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.



DONNÉES 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

Performances	AIRCELL	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

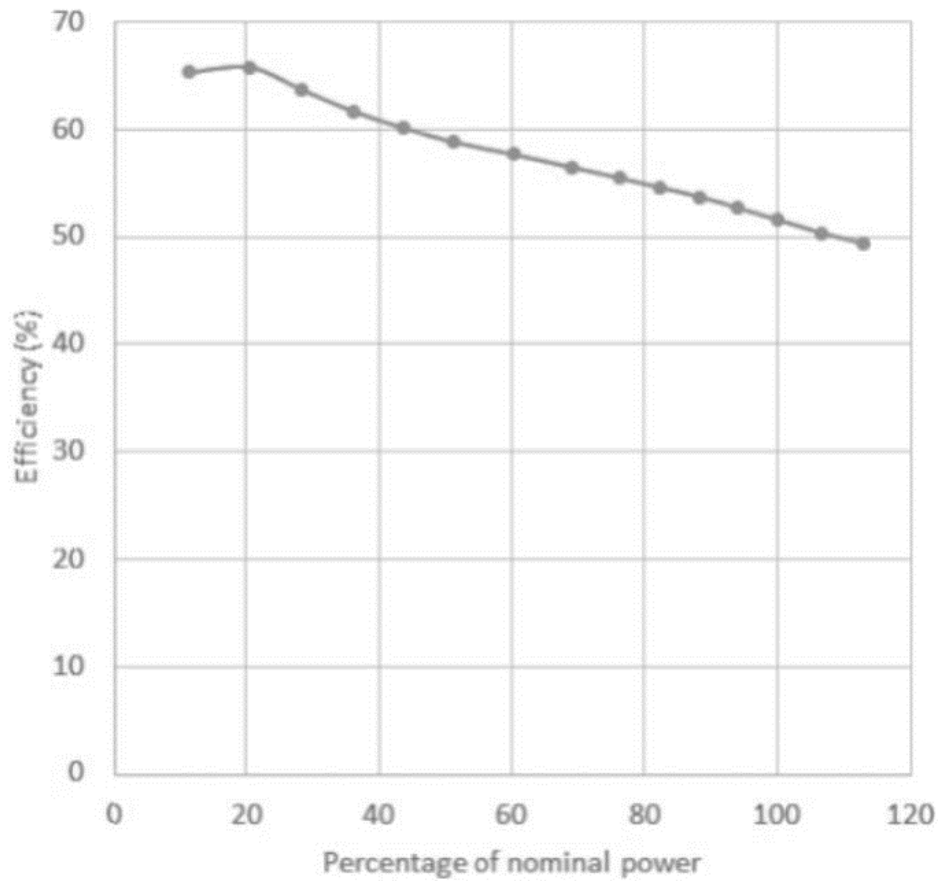
² Caractéristique selon norme ISO 14687-3:2014.

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.

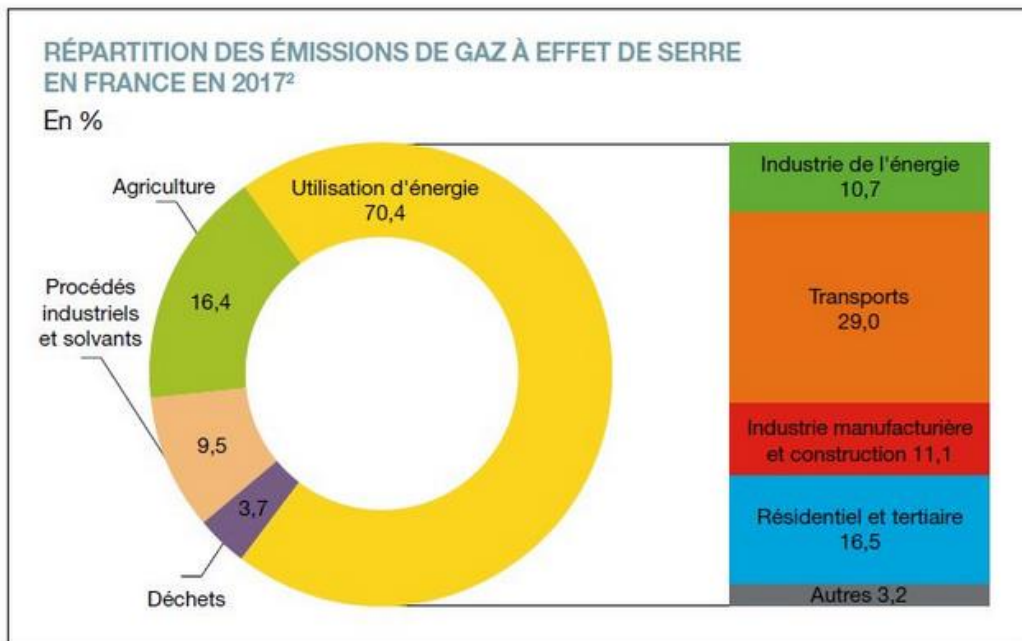
DT1.8 – Rendement de la pile à combustible



Efficiency → Efficacité ou rendement

Percentage of nominal power → Pourcentage de puissance nominale

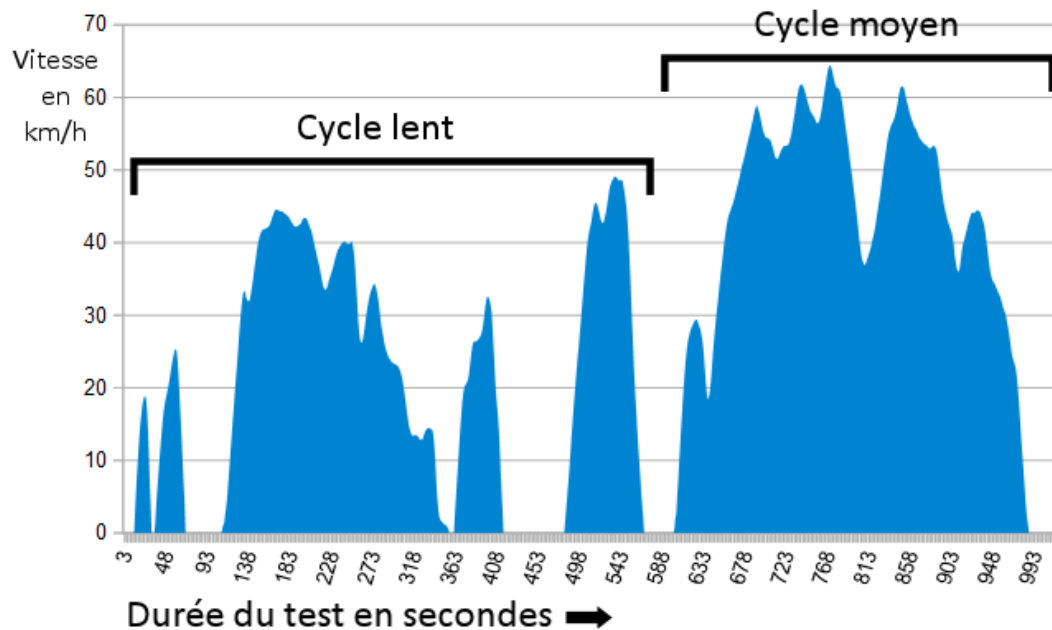
DT1.9 – Répartition des gaz à effet de serre en France en %



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 :

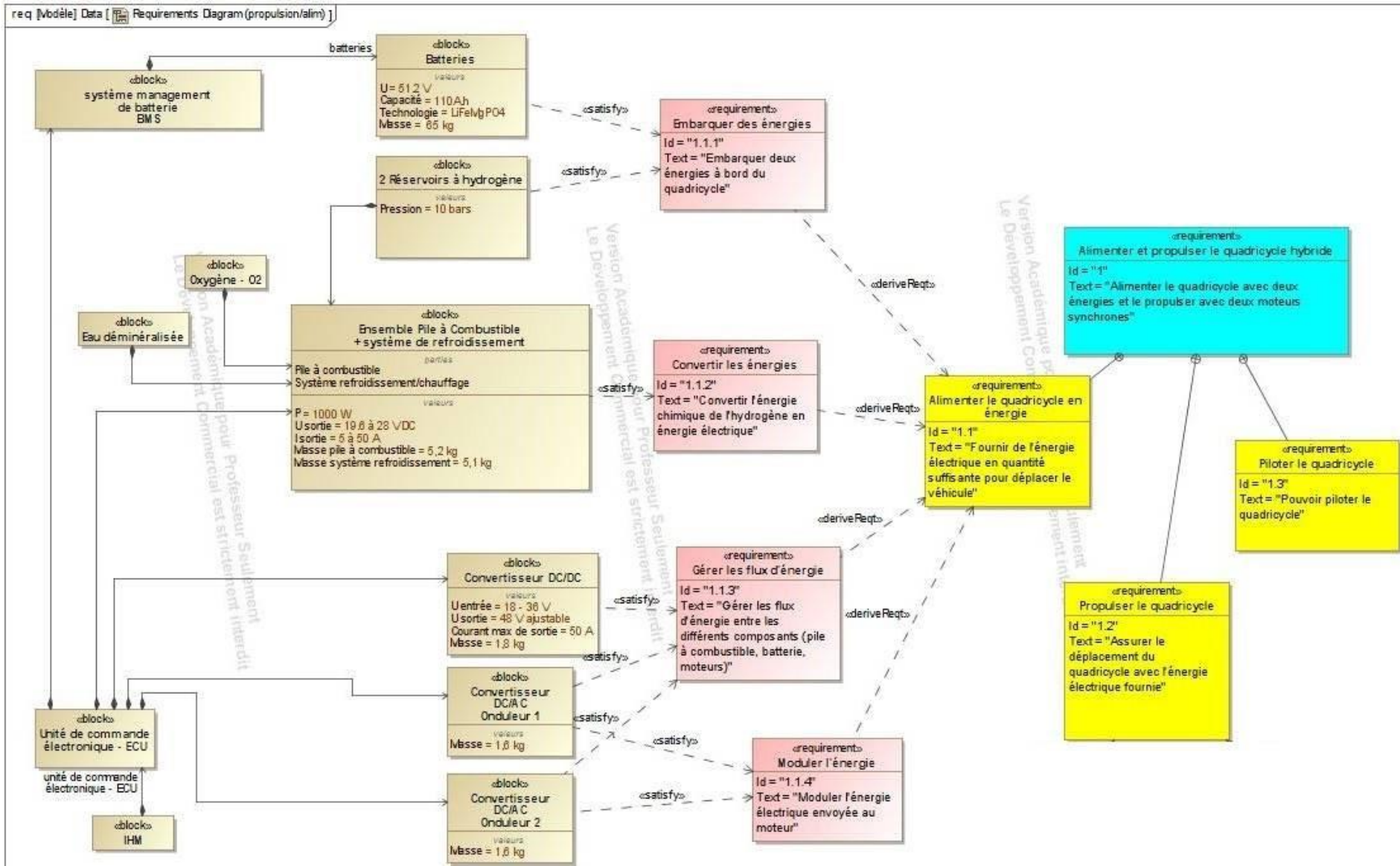
$$E_u = 19,2 \cdot S \cdot C_x + 0,82 \cdot C_r \cdot m + 0,011 \cdot m$$

E_u : énergie utile en MJ pour 100 km
 $S \cdot C_x$: paramètre aérodynamique du véhicule en m^2
 C_r : coefficient de résistance au roulement
 m : masse totale roulante [MTR] du véhicule en kg

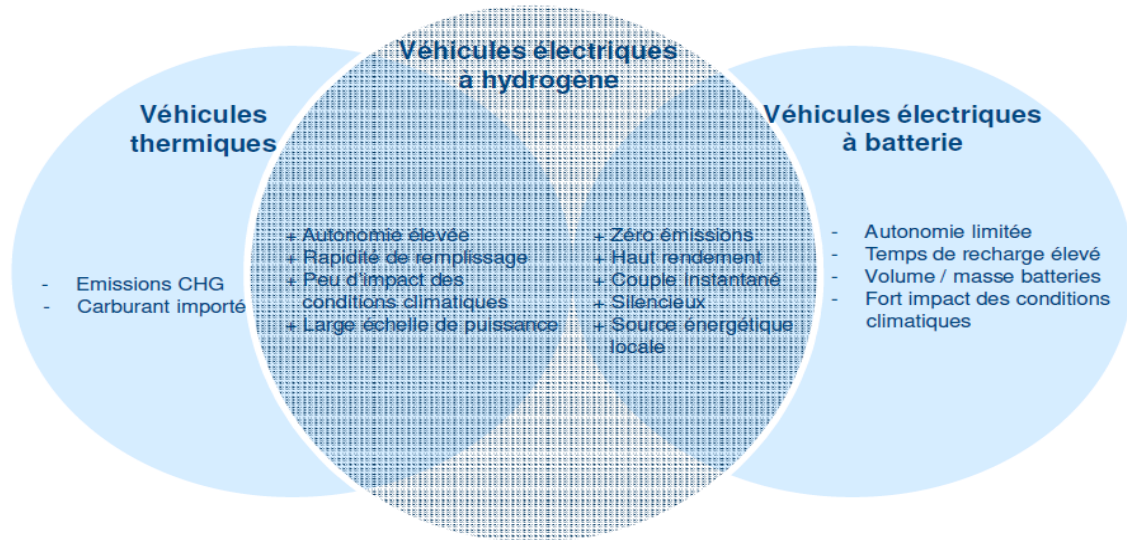
DT1.11 – Données caractéristiques des véhicules Twizy et MobyPost

		
Dénomination	Renault Twizy	MobyPost
Type	Électrique à batteries	Électrique à pile à combustible
MTR		685 kg
S · C _x		0,65 m ²
Cr		0,012


DT1.12 – Diagramme des exigences du véhicule MOBYPOST




DT1.13 – Avantages de la technologie H₂ pour l'application transport



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



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



Choix de la ville : Prendre en compte un masque :

[Inclinaison du plan :](#) [Orientation du plan :](#) [Albédo du sol :](#)

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 x panneaux photovoltaïques connectés en série ($S_{\text{totale}} = 9,8 \text{ m}^2$)
- Rendement = 20,4 %
- $V_{\text{mpp}} = 328 \text{ VDC}$



Stockage d'hydrogène

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



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

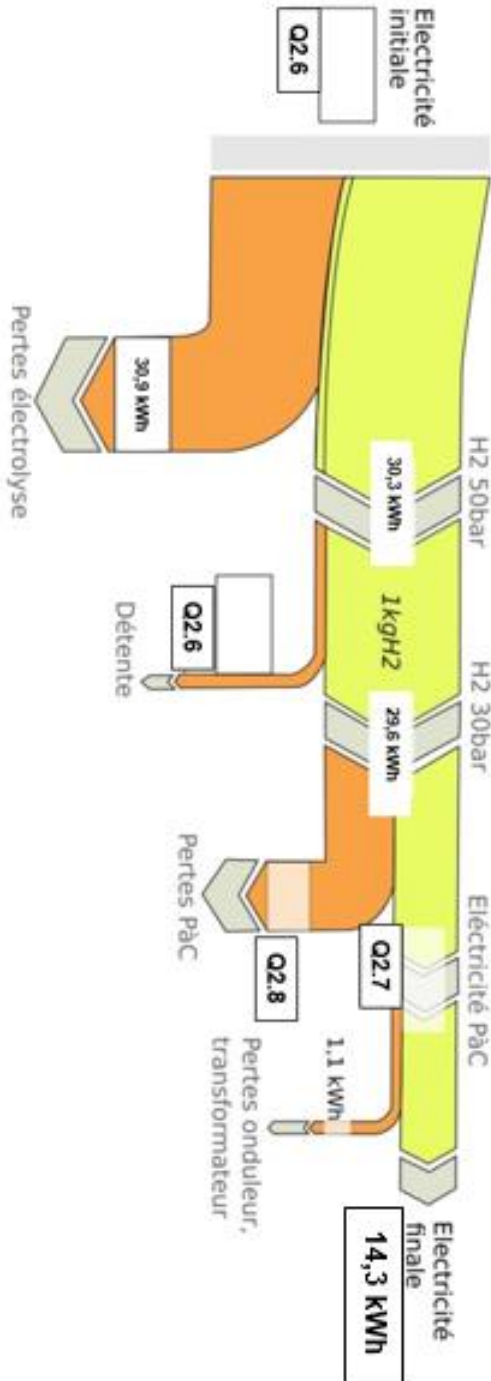


DR1.1 – Diagramme de Sankey



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

$$\eta = \text{Énergie massique finale} / \text{Énergie massique initiale}$$

$$\eta = 14,3 / 61,2 = 0,234 = 23,4 \%$$



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

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 :

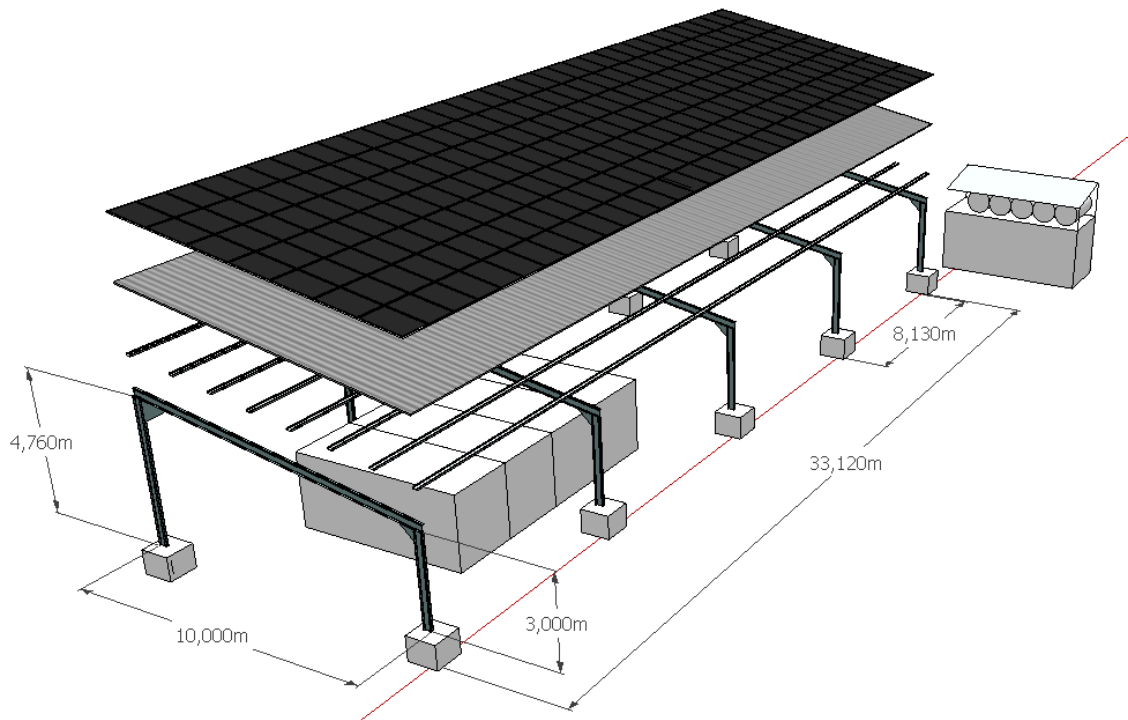
- une solution conteneurisée – des conteneurs aménagés en différents espaces – l'un d'entre eux servant de salle de dialyse avec des équipements tropicalisés et une climatisation adaptée, les autres servant au système de stockage d'énergie, aux salles de réception et de préparation pour le personnel. 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 | 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.
DR2.1

Question A.2 | **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.
DT2.1

Question A.3 | **Proposer** au moins 2 solutions pouvant répondre à l'exigence : se protéger du soleil.

Question A.4 | 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.
DT2.2
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 | Le document technique montre la trajectoire du soleil à différents moments de l'année.

DT2.3

DR2.2

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.

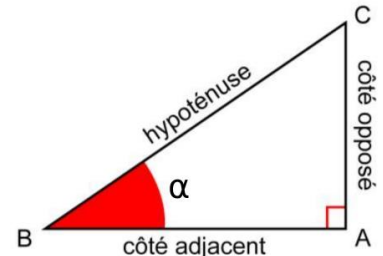
Question A.6 | **Tracer** l'incidence du soleil sur la coupe pour la date du 21 décembre et **en déduire** la profondeur optimale du surplomb de l'ombrière par rapport au bâtiment c'est-à-dire la distance à partir de laquelle la façade sud de la salle de dialyse se trouvera toujours à l'ombre.

DR2.2

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.

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



Question A.7 | 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 $\alpha = 55^\circ$.

DR2.2

Question A.8 | Une simulation numérique présentée sur le DR2.3 permet de visualiser les ombres projetées à des dates différentes.

DR2.2

DR2.3

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

DT2.4

DR2.4

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

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

DT2.5, DT2.6

DT2.7

DR2.4

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

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

Question B.3 | 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.

DT2.7

DR2.4

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 $0,16 \text{ kN}\cdot\text{ml}^{-1}$ pour les pannes en IPE 160 et un poids linéique de $0,31 \text{ kN}\cdot\text{ml}^{-1}$ 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 | Quels que soient les résultats obtenus précédemment, on prendra une valeur de surface d'influence sur le poteau P3 de 41 m^2 (valeur déjà indiquée sur le document réponses).
On considère que les charges d'exploitation sont de $1,5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$.

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

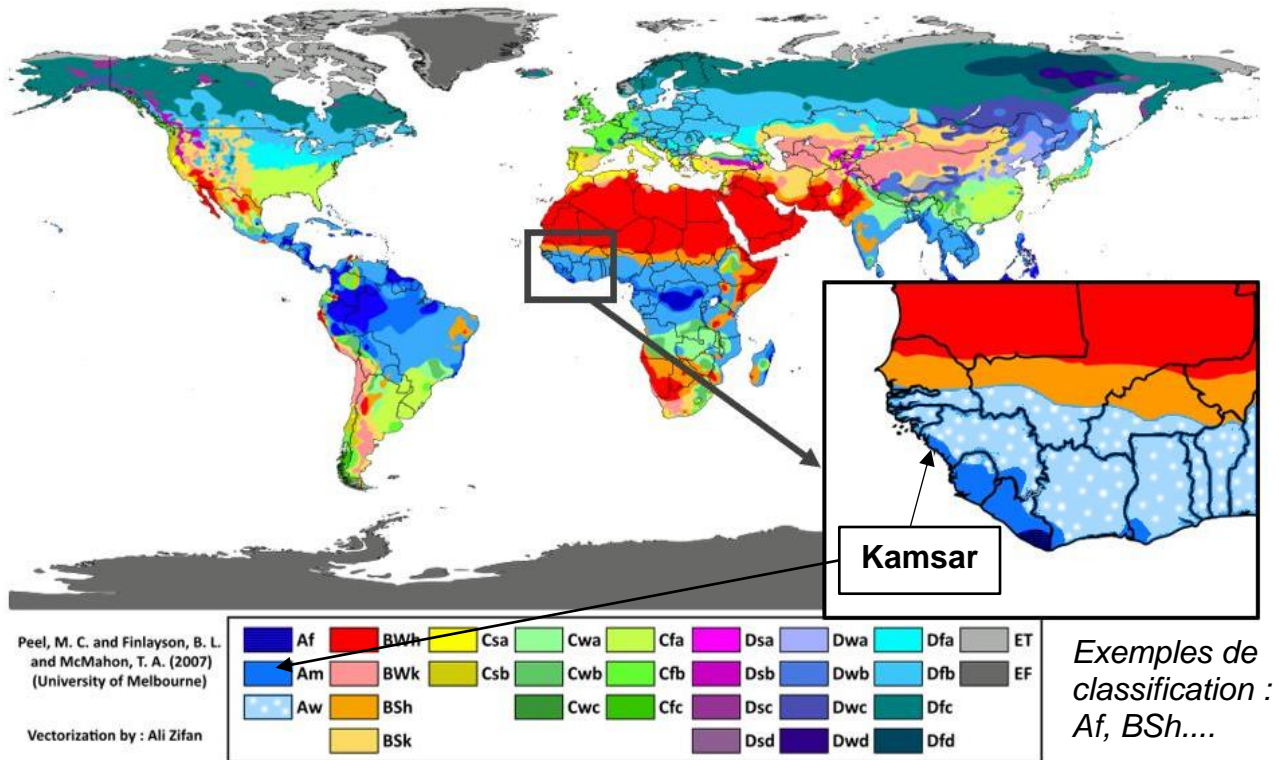
Calculer la charge F transmise par le poteau P3 à sa fondation.

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



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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> Evaporation annuelle supérieure aux précipitations annuelles Aucun cours d'eau permanent
C	Climat tempéré chaud	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> Climat de steppe Précipitations annuelles comprises entre 380 et 760 mm 	B
W	<ul style="list-style-type: none"> Climat désertique Précipitations annuelles < 250 mm 	B
f	<ul style="list-style-type: none"> Climat humide Précipitations tous les mois de l'année Pas de saison sèche 	A-C-D
w	<ul style="list-style-type: none"> Saison sèche en hiver 	A-C-D
s	<ul style="list-style-type: none"> Saison sèche en été 	C
m	<ul style="list-style-type: none"> Climat de mousson : Précipitations annuelles > 1500 mm Précipitations du mois le plus sec < 60 mm 	A
T	<ul style="list-style-type: none"> Température moyenne du mois le plus chaud comprise entre 0 et 10 °C 	E
F	<ul style="list-style-type: none"> Température moyenne du mois le plus chaud < 0 °C 	E
M	<ul style="list-style-type: none"> Précipitations abondantes Hiver doux 	E

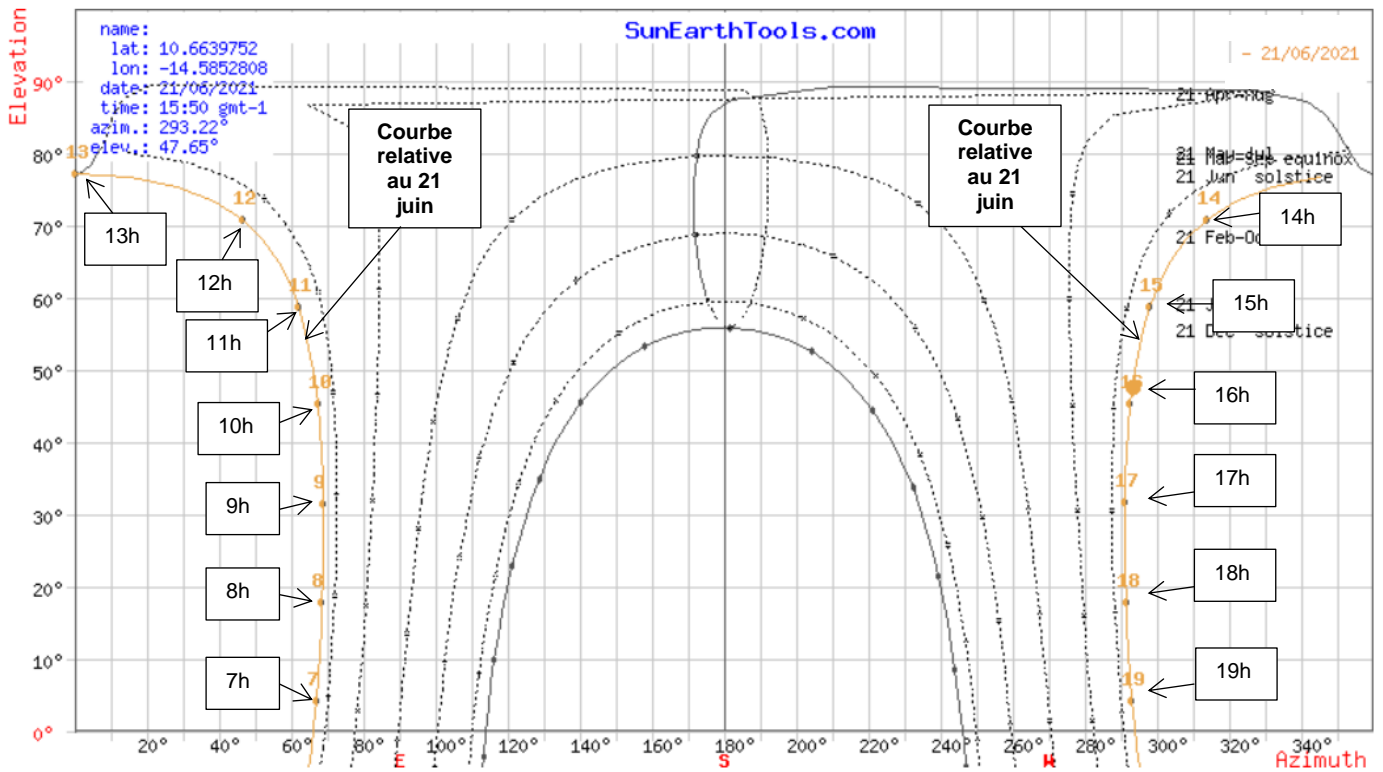
DT2.2 – Données climatiques

KAMSAR TABLEAU CLIMATIQUE

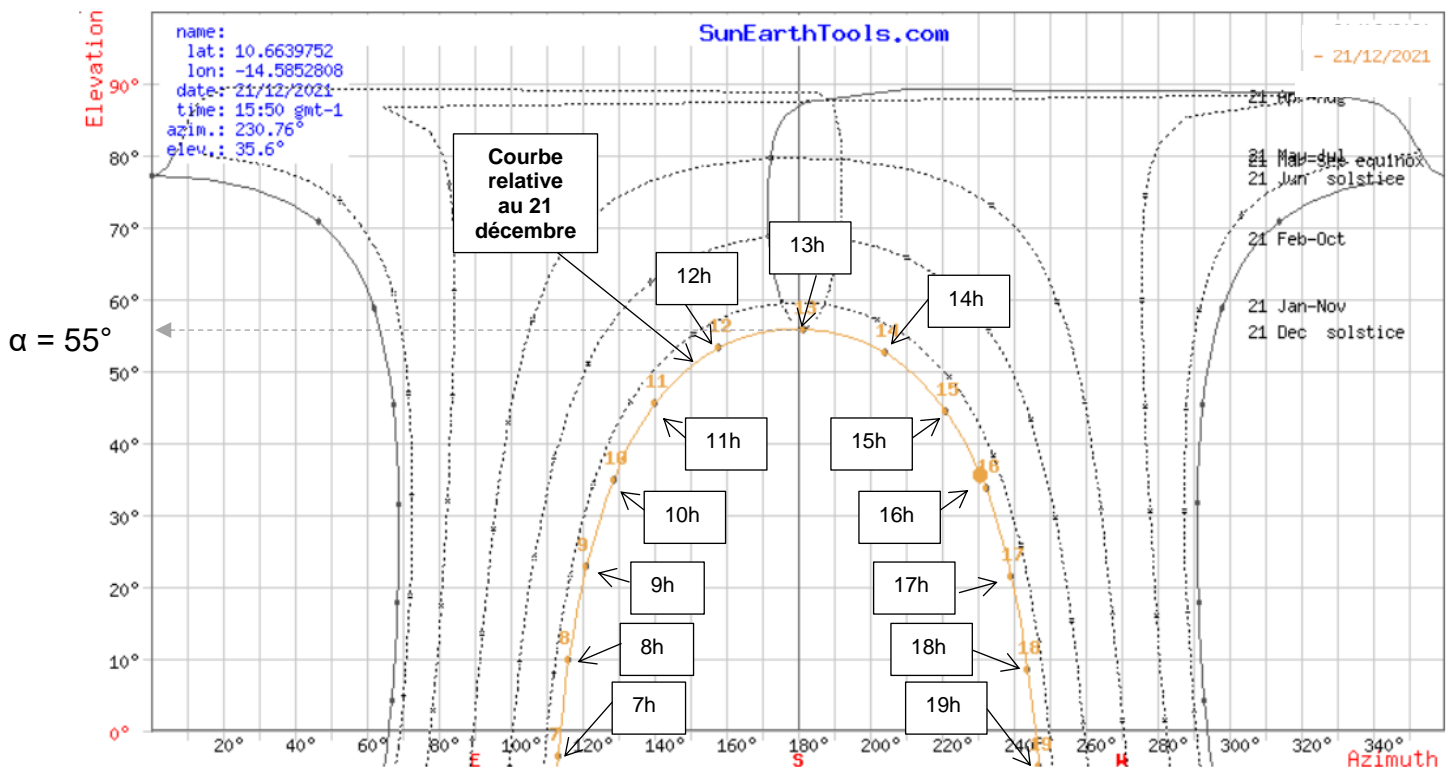
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep- tembre	Octobre	No- vembre	Dé- cembre
Température moyenne (°C)	26	26.4	26.6	26.8	27.4	26.9	25.7	25.3	25.8	26.5	27.1	26.5
Température minimale moyenne (°C)	21.6	22.2	23	23.8	25.1	25.1	24.1	24	24	24.4	24.7	22.7
Température maximale (°C)	31.2	31.7	31.4	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



DT2.4 – Caractéristiques techniques panneaux photovoltaïques

TARKA 120 VSMS

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

	320	325	330
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°)

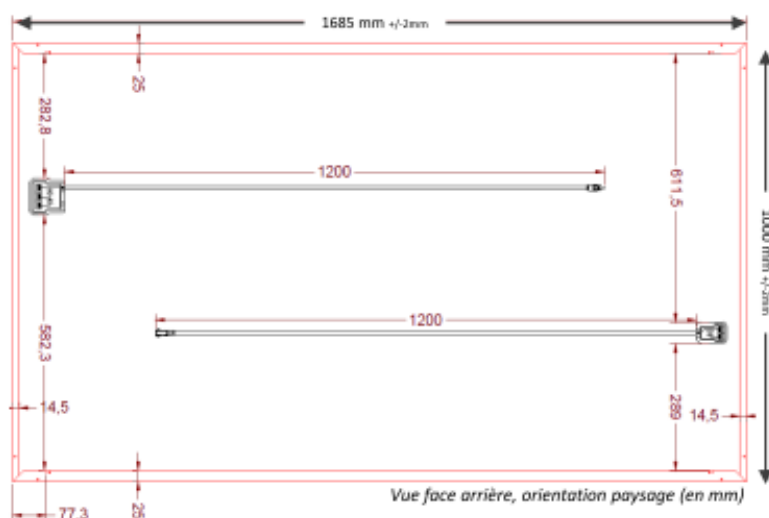
Puissance au NOCT (W)	237,4	241,2	244,9
Intensité au NOCT (A)	7,62	7,68	7,73
Tension au NOCT (V)	31,15	31,39	31,69

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 en coupe du cadre, champ long

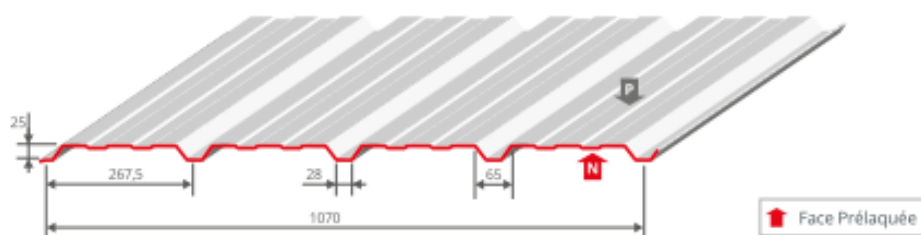
Retour cadre arrière, côté long : 25 mm
Retour cadre arrière, côté court : 14,5 mm
(retour cadre de cadre 30mm selon modèle)



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/m ²	6,59	7,73	8,79
Moments d'inertie	travée simple	I ₂	6,10	7,16	8,14
	2 travées égales	I ₃	6,07	7,12	8,09
	en continuité	I _m	6,09	7,14	8,11
Moments de flexion	en travée système élastique	M _{2T}	103,0	120,9	137,4
	en travée système élasto-plastique	M _{3T}	118,6	139,1	158,1
	sur appui	M _{3A}	97,7	114,6	130,2
	sous charge concentrée	M _c	76,1	89,3	101,4

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

CHARGES kN/m ²			PORTÉES D'UTILISATION m		
CHARGES D'EXPLOITATION (s)	CHARGES PERMANENTES (p)	TOTAL DES CHARGES	TRAVÉE		
			0,75	0,88	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

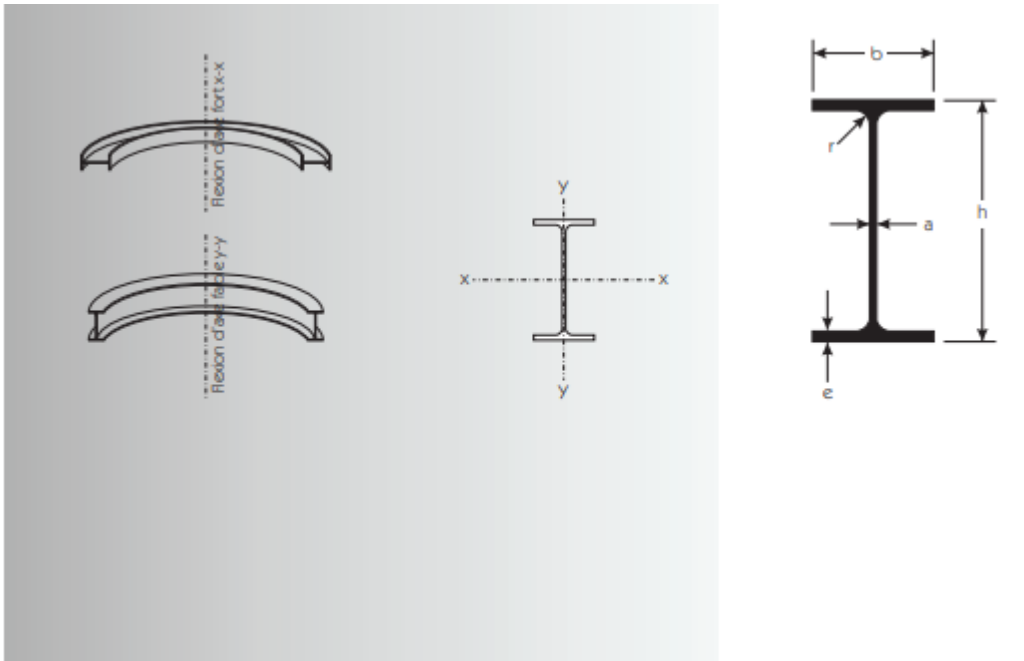
*Pour toutes demandes de notes de calculs selon les EUROCODES, rapprochez-vous de votre contact commercial ou de notre service technique.

BACACIER®

01/2020

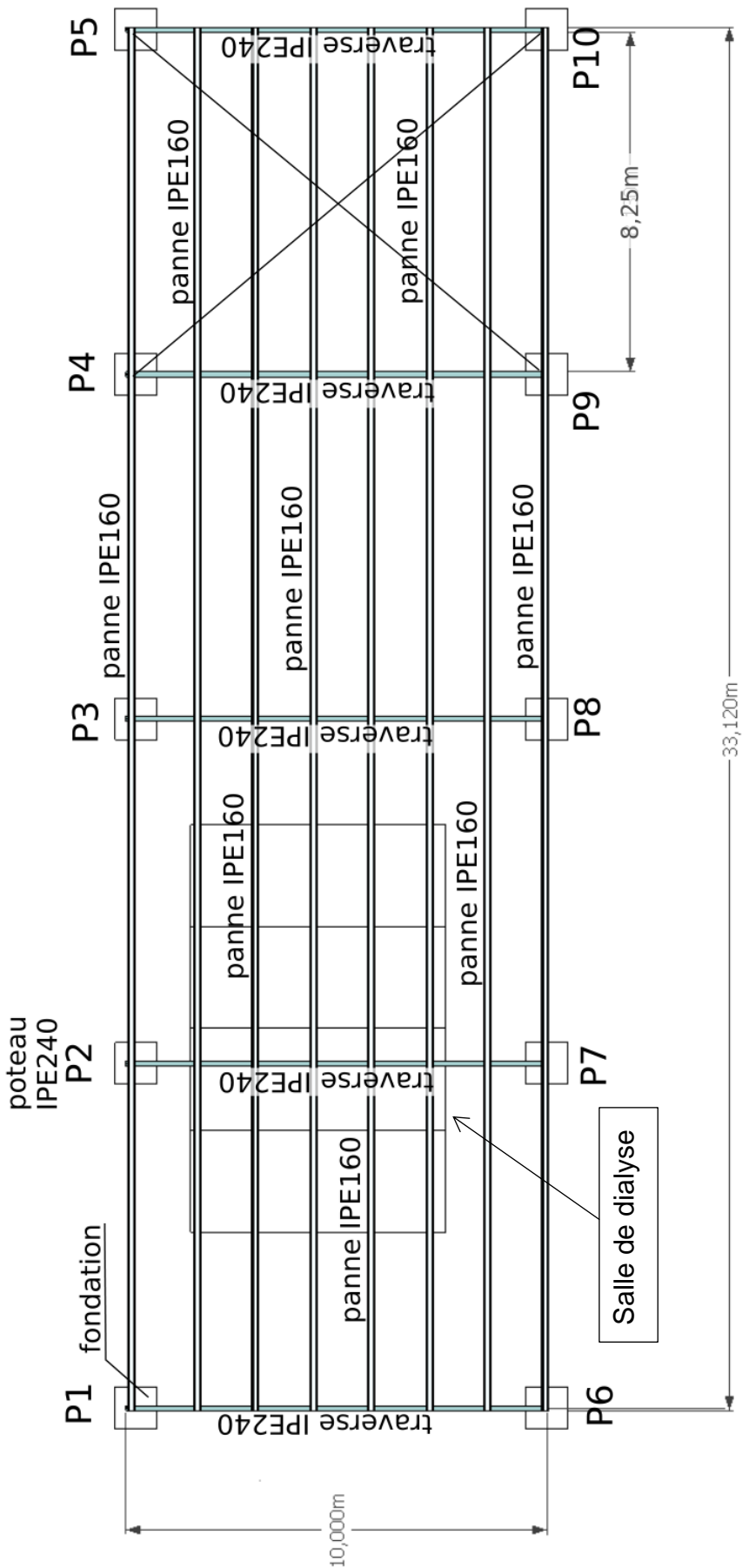
TOITURE & COUVERTURE

DT2.6 – Caractéristiques techniques des profilés IPE

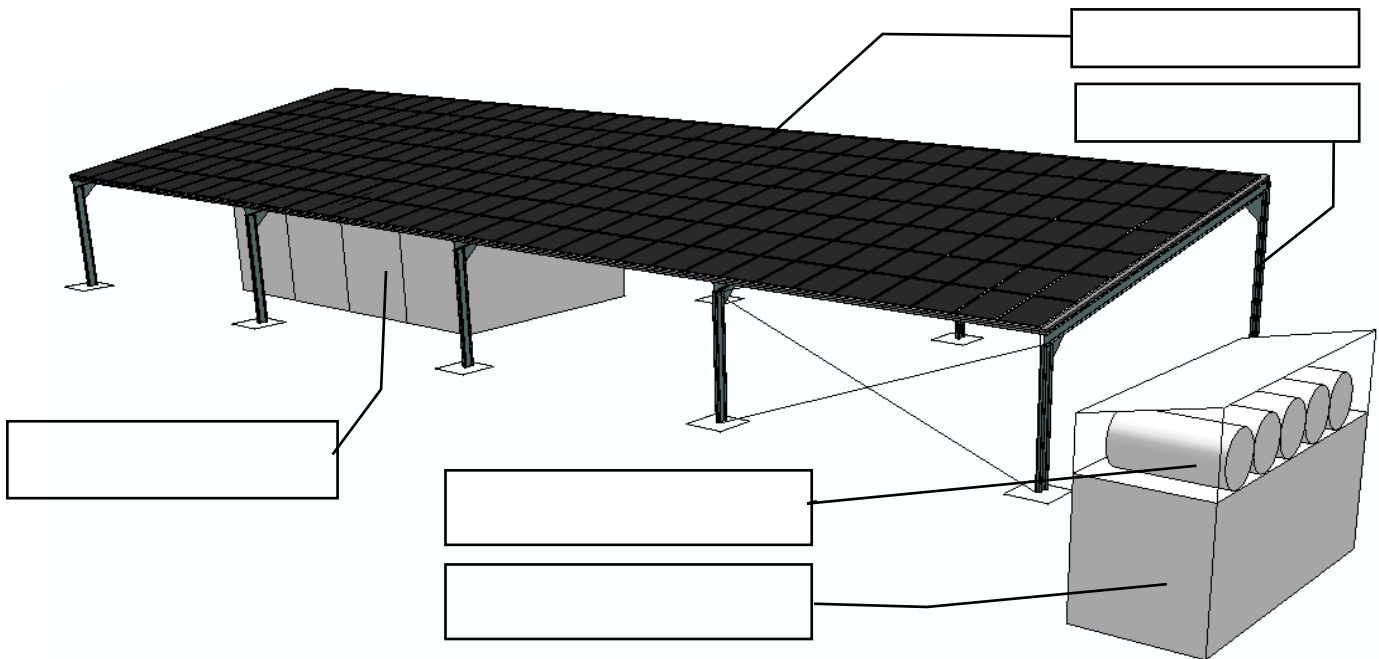


EURO NORM 19 -57		DIN 1025					V (m ² /m)	F (cm ²)	I _{x-x} (cm ⁴)	W _{x-x} (cm ³)	i _{x-x} (cm)	I _{y-y} (cm ⁴)	W _{y-y} (cm ³)	i _{y-y} (cm)
IPE	Poids (Kg/m)	Dimensions (mm)												
		h	b	a	e	r								
80	6,2	80	46	3,8	5,2	5	0,328	7,6	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05
100	8,3	100	55	4,1	5,7	7	0,400	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 ^a	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 ^a	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 ^a	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



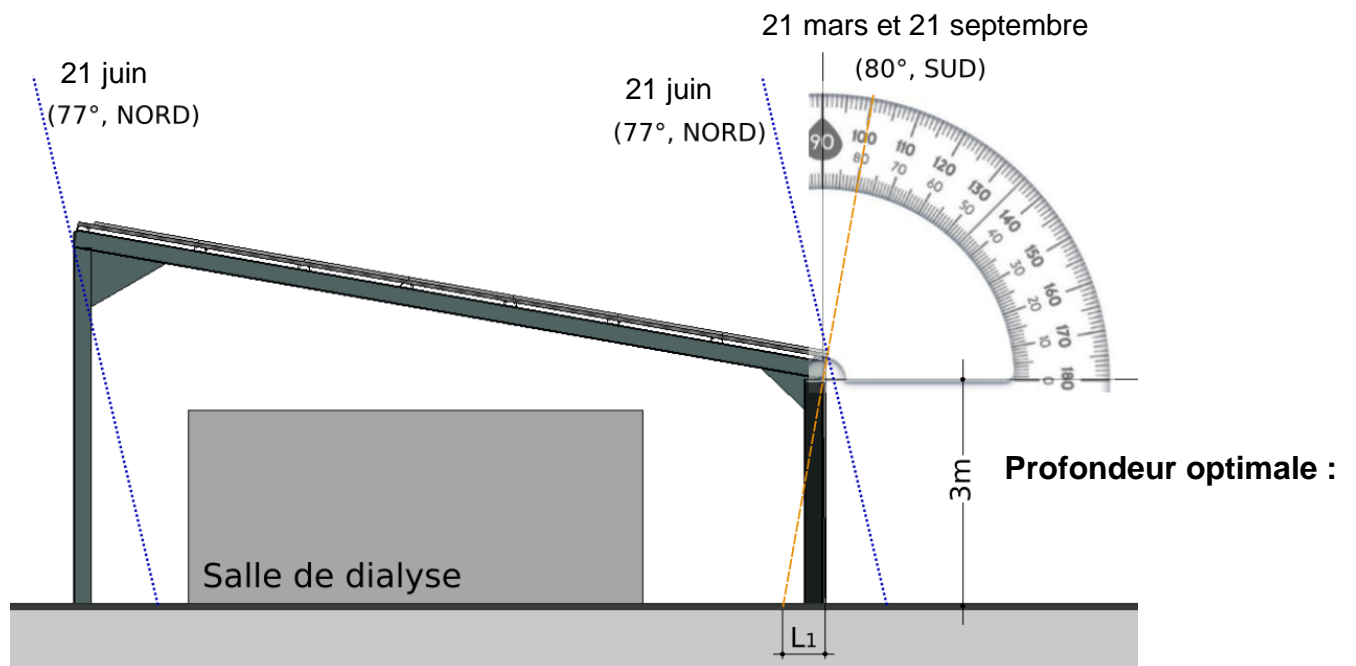
DR2.1 – Centre de dialyse de Kamsar



DR2.2 – Tracé des rayons solaires

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

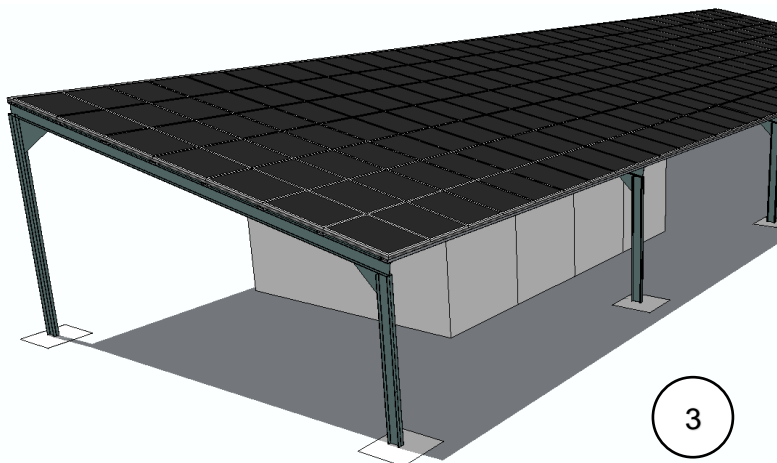
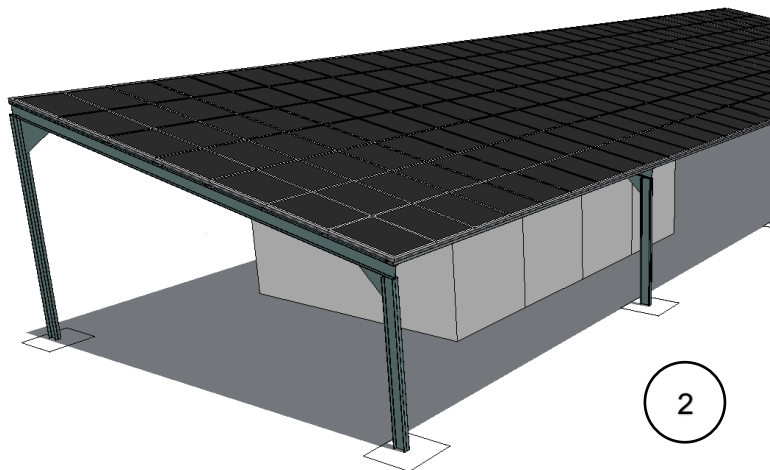
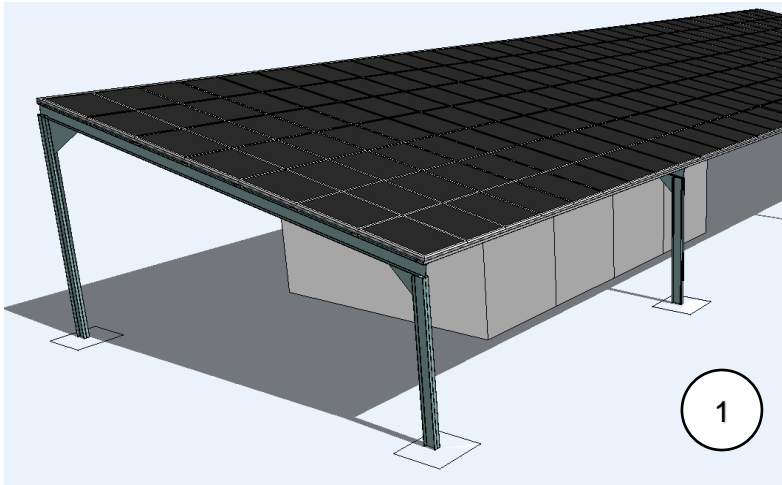
Coupe de la salle de dialyse et de l'ombrière, échelle 1/100



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

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

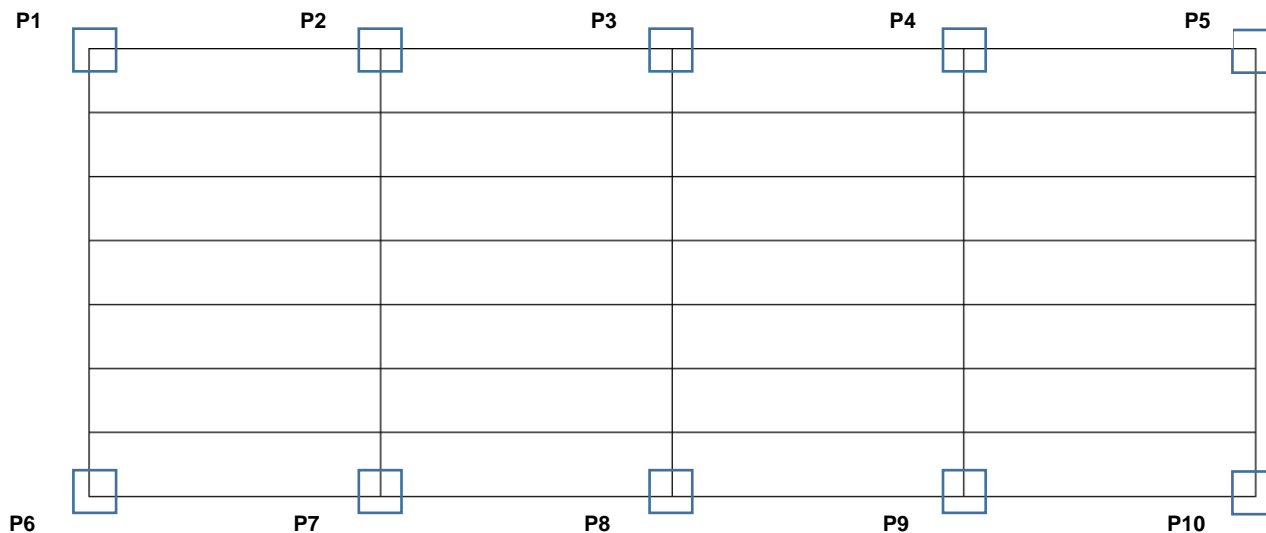
Date de la simulation	Numéro de l’image
21 mars et 21 septembre	
21 juin	
21 décembre	



DR2.4 – Descente de charge

	Poids surfacique (kN·m ²)	Surface (m ²)	Poids linéique (kN·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 :



PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT

L'hydrogène, vecteur énergétique d'avenir ?



Constitution du sujet :

- Dossier sujet et questionnement..... pages 28 à 31
- Dossier technique pages 32 à 36
- Documents réponses pages 37 à 38

Mise en situation

Que ce soit dans l'étude de la station de production d'hydrogène et d'électricité ou dans le cas du véhicule électrique à pile à combustible, le choix des constituants des chaînes de puissance est essentiel pour mener à bien ce projet.

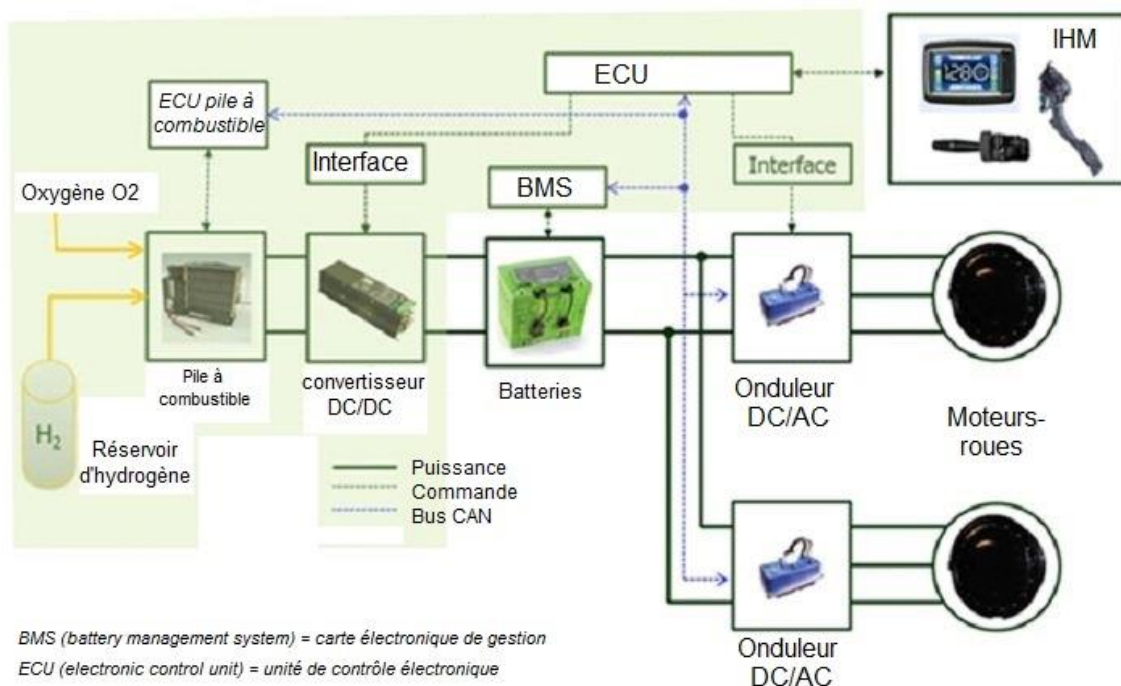
Le travail va donc s'articuler en deux parties : la première porte sur la station de production d'hydrogène et d'électricité MAHYTEC et la deuxième porte sur le véhicule électrique à pile à combustible MOBYPOST.

La principale fonctionnalité de la station est la fourniture d'électricité et d'hydrogène à l'utilisateur. Le cahier des charges de l'équipement est décrit ci-dessous :

- capable de produire de l'hydrogène pur à 99,9 % par électrolyse de l'eau ;
- capable de fournir aux usagers une tension stable 230 VAC et une puissance de 1000 W produite au moyen d'une pile à combustible ;
- capable d'assurer la recharge (électrique et hydrogène) d'un véhicule hybride de type quadricycle ;
- offrir une interface utilisateur moderne pour assurer la consultation en temps réel des données. Une connectivité sans fil (WiFi) est également disponible.

Principaux constituants de la chaîne de puissance du véhicule MOBYTEC :

- chaque roue arrière est motorisée par un moteur synchrone à aimants permanents ;
- l'énergie nécessaire est fournie par 4 batteries 12 V/110 A·h connectées en série ;
- la modulation d'énergie de chaque moteur est assurée via un convertisseur de fréquence (onduleur DC/AC).



Travail demandé

Partie A : Mise en œuvre du dispositif de sécurité et de détection de fuites d'hydrogène dans la station MAHYTEC

Découvert au XVIII^e siècle par Henry Cavendish, l'hydrogène est incolore et inodore, et se présente sous la forme gazeuse à pression et température ambiante. L'hydrogène est le premier atome du tableau périodique des éléments. Sa petite taille, associée à une très faible viscosité, rend ce gaz apte à fuir très facilement en présence de défauts d'étanchéité.

Question A.1 | **Préciser** quels sont les risques spécifiques à l'emploi de l'hydrogène dans un milieu confiné, comme la station de stockage MAHYTEC.

DT2.1

La maîtrise de ces différents risques passe par la définition d'objectifs de sécurité dès la conception de la station de recharge d'hydrogène MAHYTEC. Cela consiste, pour tout le système, à inclure tous dispositifs destinés à éviter les fuites d'hydrogène (H₂).

Cette prévention passe par des choix technologiques sur le matériel utilisé. Pour cela, la station bivalente est équipée d'une centrale de mesure MX32 associée à un détecteur de fuite d'hydrogène. La centrale est installée dans un coffret électrique se trouvant à l'extérieur de la station hors de toute présence d'atmosphères explosives, hors exposition directe du soleil, et à l'abri de l'humidité et des poussières.

Le détecteur d'hydrogène est installé dans le local électrique et permet d'assurer la détection d'une éventuelle présence d'hydrogène dans le local électrique.

Question A.2 | **Préciser** quels sont les deux types de cellule utilisables dans le cas d'une détection du gaz hydrogène.

DT2.2, DT2.3

On choisit une cellule de type électrochimique, **donner** sa plage de mesure autorisée en indiquant son unité.

Sachant que la cellule est raccordée sur l'entrée 4-20 mA de la centrale MX32, **indiquer** la référence de la cellule compatible à la centrale.

La mesure issue du détecteur est gérée en continu par la centrale de mesure MX32. La mesure est exprimée en % LIE.

La LIE ou limite inférieure d'explosivité d'un gaz est la concentration minimale en volume dans l'air à partir de laquelle il peut être enflammé.

L'algorithme correspond au fonctionnement du dispositif de sécurité détectant les fuites d'hydrogène. Le fonctionnement est décrit dans le document technique DT2.4.

Question A.3 | Compléter l'algorithme de commande.

DT2.4

DR2.1

Partie B : Vérification de la conception détaillée de la chaîne de traction du véhicule électrique à pile à combustible (VEPAC)

La masse totale du véhicule MOBYPOST en charge est de 550 kg. Sa vitesse maximale est fixée à $V_{\max} = 43 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. La fréquence de rotation maximale des moteurs (électriques) est $N = 400 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$.

Le groupe motopropulseur se compose d'une source d'énergie, d'une électronique de commande, de convertisseurs d'énergie, de machines électriques et d'un système de liaison mécanique.

Dans un premier temps, nous allons déterminer la puissance des moteurs. Pour calculer la puissance que doit fournir le moteur, on s'intéresse à trois situations typiques :

- situation n°1 : terrain plat et vitesse maximale ;
- situation n°2 : rampe de 8 % ($\alpha = 4,57^\circ$) et vitesse de $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- situation n°3 : accélération à plat, de la vitesse 0 à $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en 15 s.

Les forces appliquées sur le véhicule se composent de :

- la force liée à la résistance aérodynamique $\overrightarrow{Faéro}$;
- la force liée à la résistance au roulement des pneus \overrightarrow{Froul} ;
- la force liée à la masse du véhicule et à la pente de la route \overrightarrow{Fpente} ;
- la force liée à l'accélération du véhicule $\overrightarrow{Faccél}$.

La force que doivent développer les moteurs électriques est :

$$|\overrightarrow{Fmot}| = |\overrightarrow{Faéro} + \overrightarrow{Froul} + \overrightarrow{Fpente} + \overrightarrow{Faccél}|$$

Question B.1 | Compléter le document réponses.

DR2.2

Pour la suite de l'étude, nous considérerons que les moteurs-roues fournissent une puissance $P_{\text{mot}} = 4 \text{ kW}$.

Question B.2 | À partir du document technique, **indiquer** le principal avantage d'un moteur électrique lors du démarrage par rapport aux moteurs thermiques essence et diesel.

DT2.5

Question B.3 | Sachant que le moteur-roue possède 14 pôles et que la fréquence du
DT2.6 | courant d'alimentation est de 50 Hz, **définir** la vitesse de rotation
nominale du moteur-roue synchrone à aimants permanents.

Question B.4 | **Quel est l'intérêt** d'avoir équipé le véhicule de deux moteurs-roues
DT2.7 | alors qu'on aurait pu l'équiper d'un moteur électrique central couplé à
un système de transmission du mouvement ?

Dans un second temps, nous allons justifier le choix des batteries et vérifier l'autonomie du véhicule MOBYPOST en utilisation normale.

Le véhicule MOBYPOST est utilisé par un postier lors de sa tournée de distribution du courrier. Le parcours emprunté par le véhicule peut être soit plat soit pentu (rampe de 8 % maximum). Le postier peut s'arrêter pour remettre un colis, par exemple, et le moteur du véhicule s'arrête automatiquement dans ce cas. La pile à combustible peut fonctionner pendant ces périodes d'arrêt pour recharger la batterie du véhicule.

Question B.5 | Pour ce véhicule essentiellement à usage rural, l'autonomie désirée
est de 60 km à 43 km·h⁻¹ (à vitesse stabilisée et sur route horizontale).
Déterminer le temps de fonctionnement du véhicule.

Les moteurs-roues devant alors fournir une puissance de 4 kW,
calculer l'énergie embarquée à bord du véhicule en W·h.

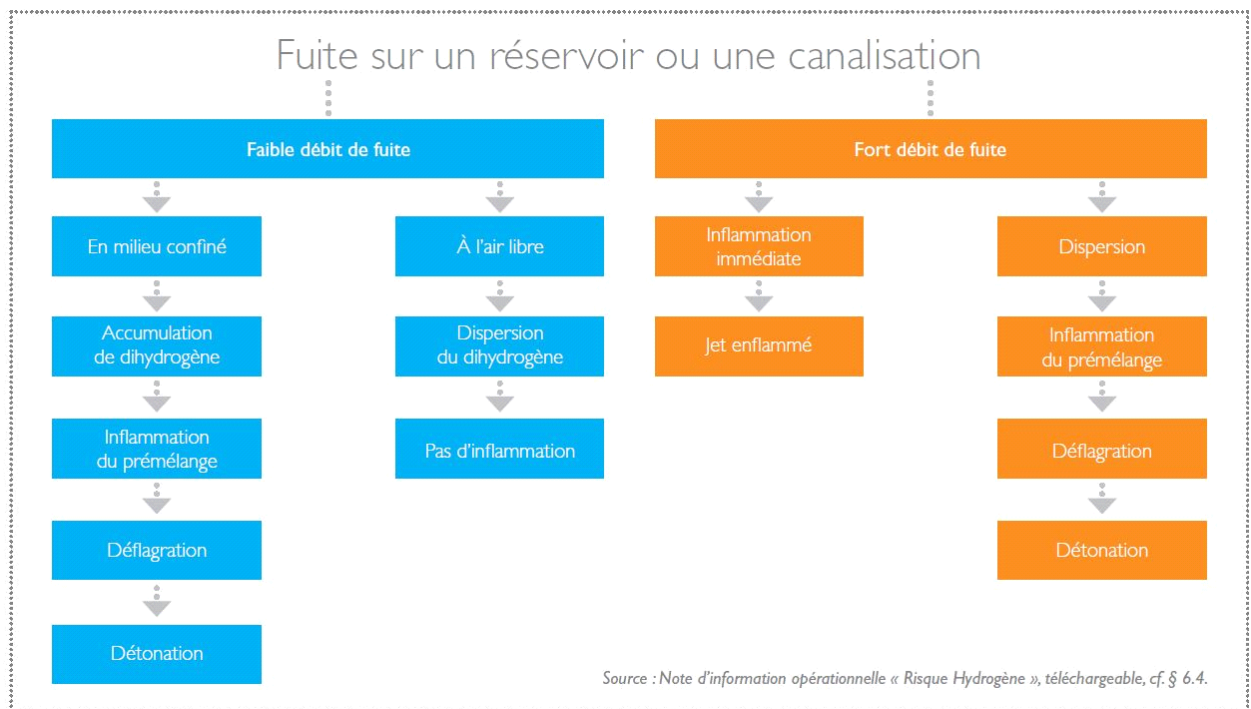
Question B.6 | À partir du document technique et sachant que le choix des batteries
DT2.8 | s'est porté sur la technologie LiFeMgPO₄, **justifier** ce choix compte-
tenu des spécificités du système étudié.

La batterie utilisée (accumulateurs LiFeMgPO₄) ayant une énergie
massique de 89 W·h·kg⁻¹, **déterminer** sa masse m en kg.

On supposera que le rendement de l'ensemble (convertisseur DC/AC – machine) reste égal à 0,8 quel que soit le point de fonctionnement.

Question B.7 | La batterie utilisée ayant une tension minimale de 42 V, **déterminer** le
courant maximal appelé par le convertisseur DC/AC pour une
accélération de 0 à 30 km·h⁻¹ en 15 s (situation n°3).

DT2.1 – Conséquences possibles d'une fuite d'hydrogène



DT2.2 – Documentation technique du détecteur de gaz

<h3>OLCT100</h3> <p>Détecteur gaz ATEX (Hydrocarbures, solvants, fréons et gaz toxiques)</p>	
<h4>Caractéristiques techniques</h4> <p>Type de cellules : Filaments catalytiques, cellules infrarouges, électrochimiques ou semi-conducteurs suivant la nature du gaz à détecter.</p> <p>Matériel : Carter en Aluminium peint Epoxy (Inox 316L en option). Cellule et nez : Inox 316L Degré de protection : IP66</p> <p>Entrée de câble : M20 ou ≤ NPT Alimentation : 15,5 à 32 VCC</p> <p>Sorties : OLC100 : pont de Wheatstone OLCT100 XP, OLCT100 IS, OLCT100 XPIR, OLCT100 XP HT : Source de courant codée de 0 à 23 mA (non isolée)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Courant 4 à 20mA linéaire réservé à la mesure • 0 mA : défaut électronique ou absence d'alimentation • < 1mA : défaut • 2 mA : mode initialisation • > 23 mA : dépassement d'échelle 	<h4>Description du produit</h4> <p>Les OLC(T) 100 sont des détecteurs gaz fixes pour le contrôle et la mesure des gaz explosifs (hydrocarbures, solvants, alcools), des gaz toxiques, des gaz asphyxiants et des gaz réfrigérants (fréons, HFO, CFC, HFC) en milieu industriel. Disponible en version antidéflagrante ou de sécurité intrinsèque, il est adapté à la détection de tous les gaz en zone ATEX.</p> <p>► De nombreuses déclinaisons possibles</p> <p>L'OLC(T) 100 se décline en plusieurs versions en fonction du type de cellule et de gaz :</p> <ul style="list-style-type: none"> • OLC100 : Cellule catalytique à sortie pont de Wheatstone pour la détection des gaz explosifs (0-100 % LIE uniquement). • OLCT 100 XP : Version antidéflagrante à sortie linéaire 4-20 mA équipée d'une cellule catalytique, électrochimique ou semi-conducteur pour la détection des gaz explosifs ou certains gaz toxiques. • OLCT 100 XP IR : Version antidéflagrante à sortie linéaire 4-20 mA équipée d'une cellule infrarouge pour la détection des gaz explosibles, du CO₂. Ou de certains fréons.

DT2.3 – Choix et technologie du détecteur en fonction du gaz à détecter

Gaz	Gamme de mesure	Cellule	OLC100 (Pont de Wheatstone)	OLC100-XP (4-20 mA)	OLC100-XPIR (4-20 mA)
Vapeur de gazole	0-100 % LIE	CAT (Catalytique)	x	x	
Hydrogène	0-2000 ppm H ₂	EC (Électrochimique)		x	
Hydrogène	0-100 % LIE	CAT (Catalytique)	x	x	
Méthane (5 % vol.)	0-100 % LIE	EC (Électrochimique)		x	

DT2.4 – Principe de fonctionnement du dispositif de sécurité (en cas de fuite d'hydrogène)

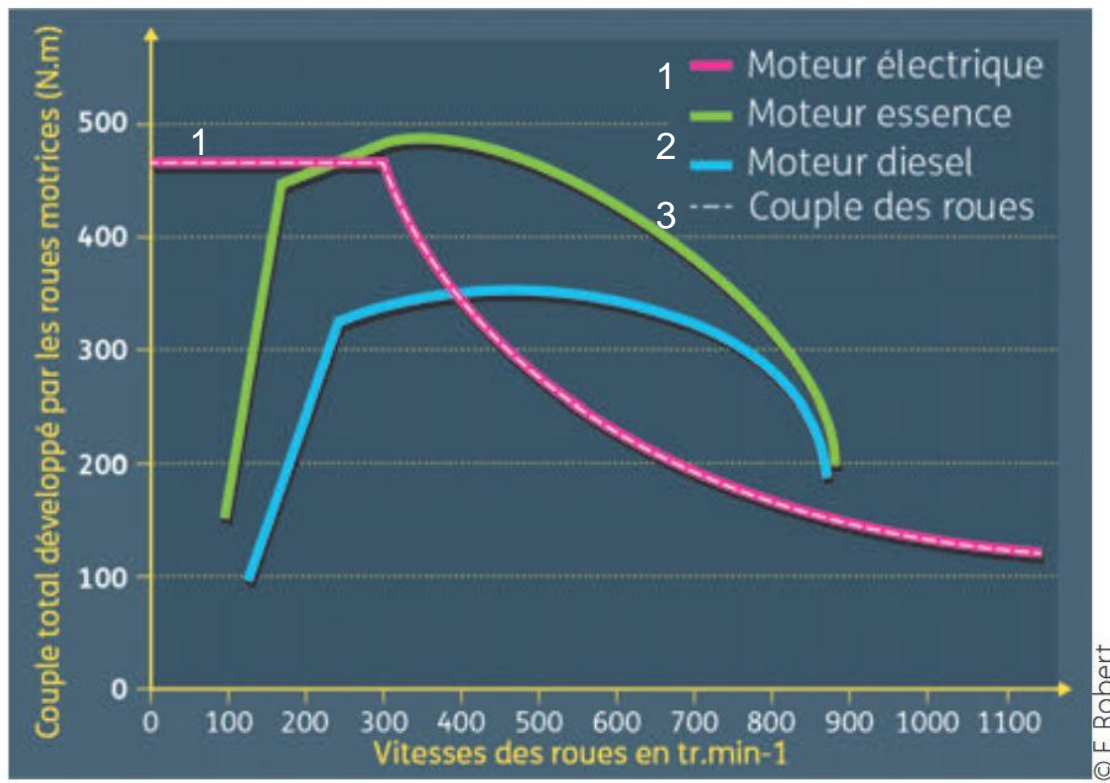
Après lecture du détecteur :

- dès qu'une fuite d'hydrogène dépasse le seuil 1, la centrale MX32 passe en alarme et déclenche ses alarmes sonores et visuelles internes ;
- dès qu'une fuite d'hydrogène dépasse le seuil 2, le relais interne KA1 de la centrale MX32 est activé et commande les actions de sécurité nécessaires. Le relais KA1 fait partie du circuit de sécurité de la station. Ainsi l'alimentation des électrovannes des réservoirs est coupée, entraînant la coupure de toute circulation d'hydrogène.

Les valeurs des seuils sont fixées à :

- seuil 1 : 0,4 % LIE (4000 ppm) ;
- seuil 2 : 0,8 % LIE (8000 ppm).

DT2.5 – Caractéristiques mécaniques des moteurs



Solution retenue : moteur-roue

DT2.6 – Moteur synchrone à aimants permanents

Le moteur synchrone à aimants permanents est un moteur électrique synchrone dont l'inducteur est constitué d'aimants permanents.

Comme n'importe que moteur électrique, un moteur synchrone à aimants permanents (PMSM : permanent magnet synchronous motor) est constitué d'un rotor et d'un stator. Le stator est la partie fixe. Le rotor est la partie en rotation.

La rotation du moteur synchrone est basée sur l'interaction du champ magnétique tournant du stator avec le champ magnétique constant fixe du rotor.

La vitesse de rotation du moteur est la même que la vitesse de rotation du champ magnétique tournant du stator. Elle est égale à :

$$n = 60 \cdot f / p$$

Vitesse de rotation du moteur synchrone, n en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$

Fréquence du courant d'alimentation, f en Hz

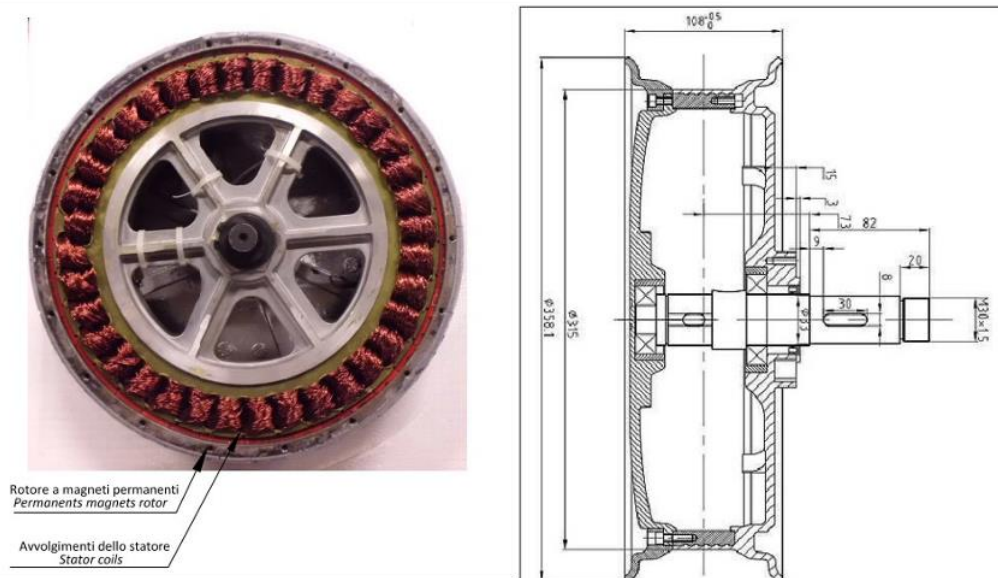
Nombre de paires de pôles p

DT2.7 – Moteur roue

Le véhicule MOBYTEC est équipé de moteurs-roues : il s'agit de moteurs synchrones à aimants permanents incorporés dans la roue du véhicule à rotor extérieur.

L'intérêt principal du moteur-roue est de se passer des systèmes de transmissions et de leurs pertes énergétiques. Cela permet aussi de libérer du volume dans le véhicule, utilisable pour stocker de l'énergie.

Le moteur-roue permet également un contrôle séparé du couple, ce qui rend possible la réalisation d'un différentiel électrique. Une vue en coupe du moteur est présentée ci-dessous :



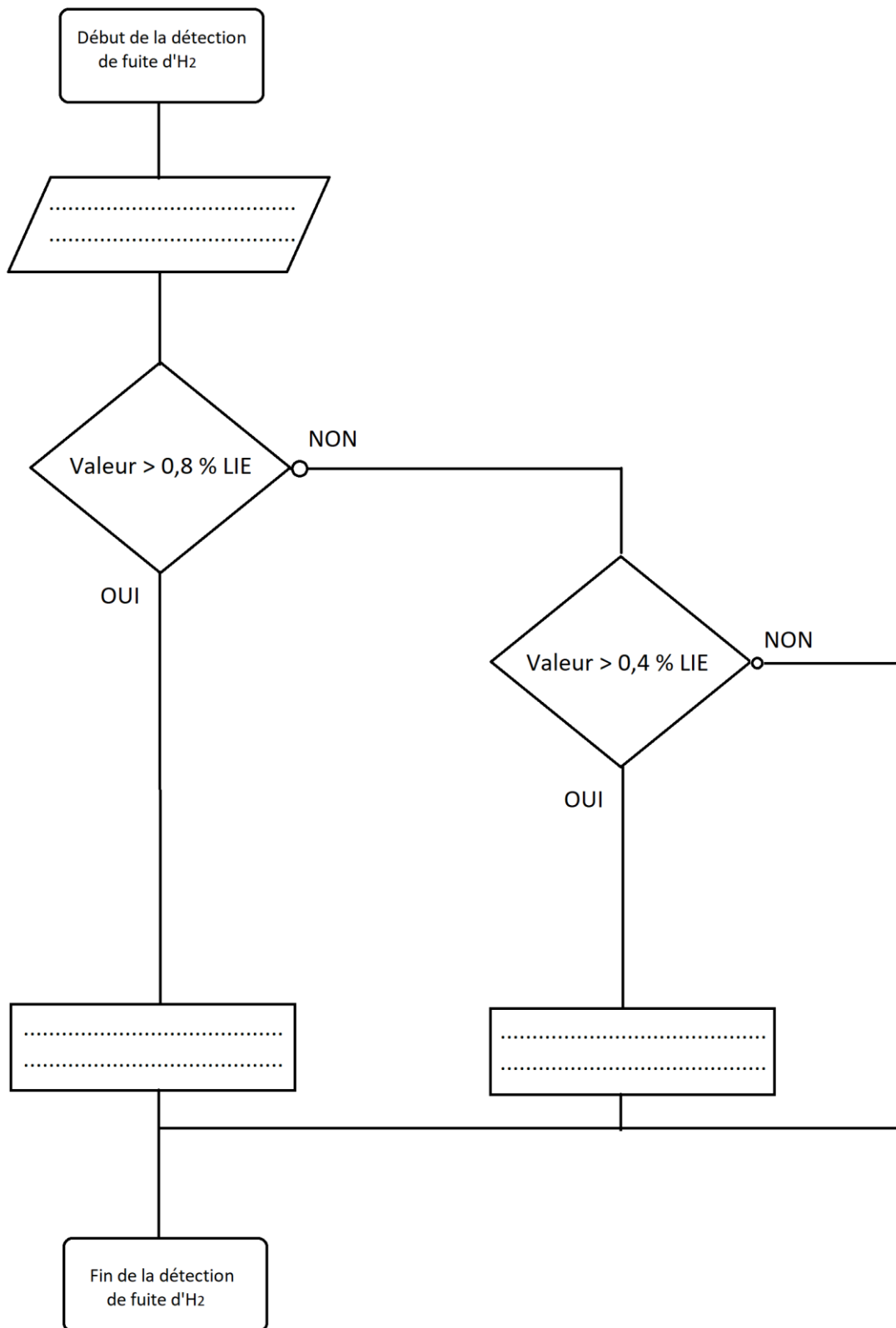
DT2.8 – Technologies de batteries pour véhicules électriques

Lors du choix d'une technologie de batterie, l'objectif principal est de trouver le meilleur compromis possible entre le poids de la batterie, sa capacité de stockage, son coût de revient, sa durée de vie, sa faculté de recharge et son empreinte environnementale, notamment au moment du recyclage.

Tableau de caractéristiques des différentes technologies de batteries

Technologie	Énergie massique spécifique (W·h·kg ⁻¹)	Énergie volumique moyenne (W·h·l ⁻¹)	Puissance massique en pointe (W·h·kg ⁻¹)	Durée de vie (Nb de recharges)	Coût par W·h
Plomb, acide ou gel	35	100	180	1000	0,2
Lithium ion Li-ion	118-250	200-400	200-430	2000	0,65
Lithium fer phosphate LiFeMgPO4	120	220	2000-4500	> 2000	0,9

DR2.1 – Algorithme de détection de fuite d'hydrogène



DR2.2 – Grandeurs mécaniques mises en jeu

Le tableau ci-dessous récapitule, pour chaque situation, les efforts appliqués au véhicule, le couple et la puissance que doivent fournir les moteurs ainsi que leur vitesse de rotation.

Situation	N°1 : Terrain plat et vitesse maximale	N°2 : Rampe de 8 % ($\alpha = 4,57^\circ$) et vitesse de 30 km·h ⁻¹	N°3 : Accélération à plat (de 0 à 30 km·h ⁻¹ en 15 s)
F_{roul} (N)	77	54	52
$F_{\text{aéro}}$ (N)	54	27	12
F_{pente} (N) = $m \cdot g \cdot \sin(\alpha)$ Rappel : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$	.....	.....	0
$F_{\text{accél}}$ (N)	0	0	305
F_{mot} (N) = $F_{\text{aéro}} + F_{\text{roul}} + F_{\text{pente}} + F_{\text{accél}}$	.....	.....	369
Couple à fournir par les moteurs C_{mot} (N·m)	35	135	101
Vitesse de rotation des moteurs N_{mot} (tr·min ⁻¹)	400	$400 \times (30 \div 43) = 279$	$400 \times (30 \div 43) = 279$
Vitesse de rotation des moteurs Ω_{mot} (rad·s ⁻¹)	.....	.....	29,22
Puissance à fournir par les moteurs P_{mot} (kW)	.....	.....	2,95

PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO-CONCEPTION

Véhicule MobyPost



Constitution du sujet :

- Dossier sujet et questionnement..... pages 28 à 33
- Dossier technique..... pages 34 à 42
- Document réponses page 43

Mise en situation

Le véhicule MobyPost est le résultat d'une collaboration entre l'Université de Technologie Belfort-Montbéliard (UTBM) et l'entreprise Ducati Energia (Bologne – Italie) qui produit un véhicule quadricycle électrique baptisé FreeDuck, utilisé par la « Poste Italienne ». Dans ce cadre, il a été demandé aux partenaires de l'UTBM de concevoir un nouveau châssis de véhicule léger de type quadricycle, capable d'intégrer la technologie à hydrogène et de répondre aux attentes fonctionnelles de la distribution de courrier par les agents de La Poste.



FreeDuck – Poste Italiane

La partie spécifique nous permettra de valider indépendamment :

- l'intégration des éléments de la chaîne de puissance ;
- l'optimisation de la masse de la structure dans une démarche d'éco-conception.

Travail demandé

Partie A : Validation de l'intégration des éléments de la chaîne de puissance

Pour garantir la stabilité du véhicule MobyPost, il est nécessaire de placer les éléments les plus lourds le plus bas possible afin d'abaisser le centre de gravité du véhicule.

Le choix a été fait de positionner les batteries, le convertisseur DC/DC et les réservoirs à hydrures sur le plancher inférieur du châssis. Ce plancher est constitué d'une plaque métallique, soutenue par un cadre tubulaire. L'emplacement de ces différents éléments est donné sur le document technique DT2.1.

Dans cette configuration, la structure supportant les éléments de la chaîne de puissance est particulièrement sollicitée. L'objectif de cette partie est d'optimiser la structure du plancher inférieur tout en limitant sa masse et sa déformation sous charge.

Une étude préliminaire de Résistance Des Matériaux est menée afin de pré dimensionner la structure du plancher.

Choix de l'épaisseur du plancher inférieur : l'objectif général est de trouver le plancher le plus léger et rigide possible.

Dans un premier temps, pour des raisons de résistance mécanique et de résistance aux conditions climatiques, l'acier inoxydable a été retenu pour réaliser l'ensemble du plancher inférieur (cadre tubulaire + plaque de maintien).

Afin de limiter la masse de la structure, la masse maximale de la plaque est fixée à 15 kg.

L'épaisseur de la plaque sera choisie parmi les valeurs normalisées des dimensions des tôles d'acier inoxydable.

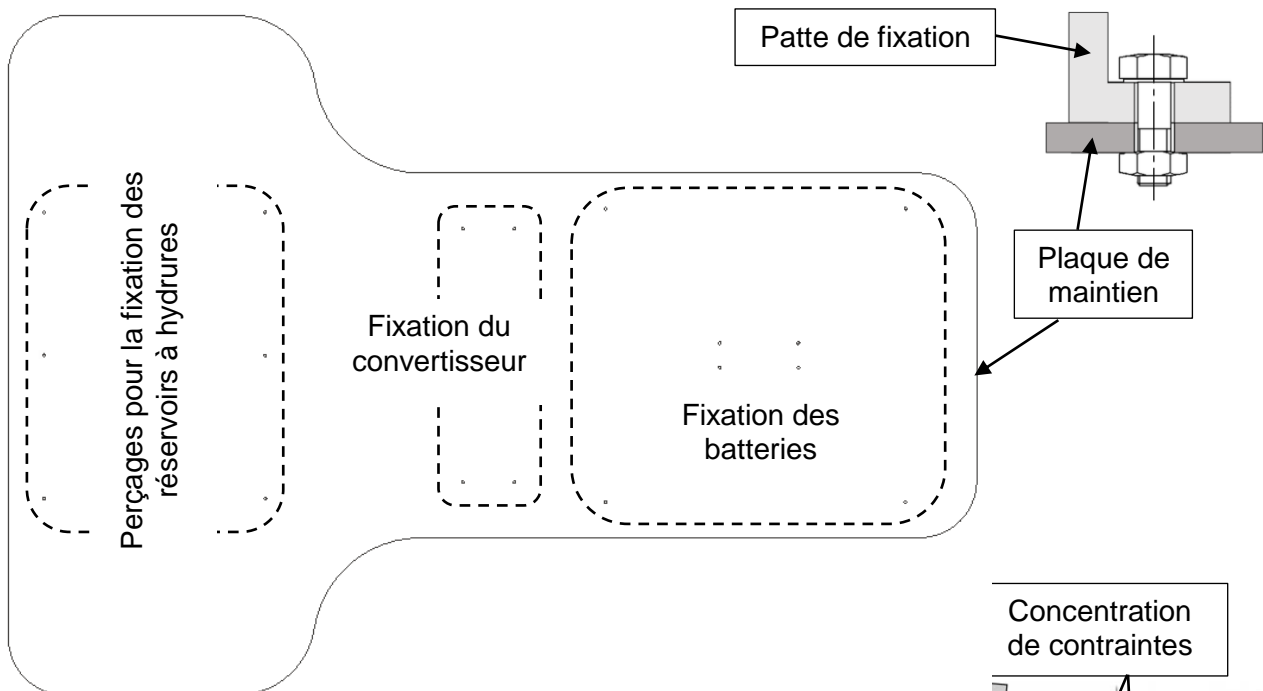
Question A.1

DT2.2 DR2.1

À partir des données du document technique, **calculer** la masse de la plaque pour une épaisseur de 2 mm et **compléter** le document réponses.

Conclure quant à l'épaisseur normalisée maximum respectant la masse autorisée de la plaque.

L'ensemble des éléments de la chaîne de puissance Hydrogène seront fixés sur cette plaque par des assemblages boulonnés (vis + écrous). Cette solution nécessite le perçage précis de la plaque en vis-à-vis des pattes de fixation des éléments à maintenir.



Sous l'effet du poids des éléments, la plaque se déforme. Ces déformations risquent de provoquer une concentration de contraintes dans les assemblages boulonnés.

Une étude préliminaire de Résistance Des Matériaux (RDM) montre que cette concentration de contraintes est évitée tant que la flèche de la plaque de maintien ne dépasse pas 2,5 mm.

Pour mener une étude de RDM et obtenir des résultats de simulation exploitables, il est nécessaire de définir un type de chargement représentatif des conditions réelles.

Question A.2

DR2.2

Compléter le document réponses de la façon suivante :

- **calculer** le poids des différents éléments de la chaîne de puissance ;
- **calculer** le poids total des éléments ;
- **indiquer** les unités correspondantes.

On prendra $g = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

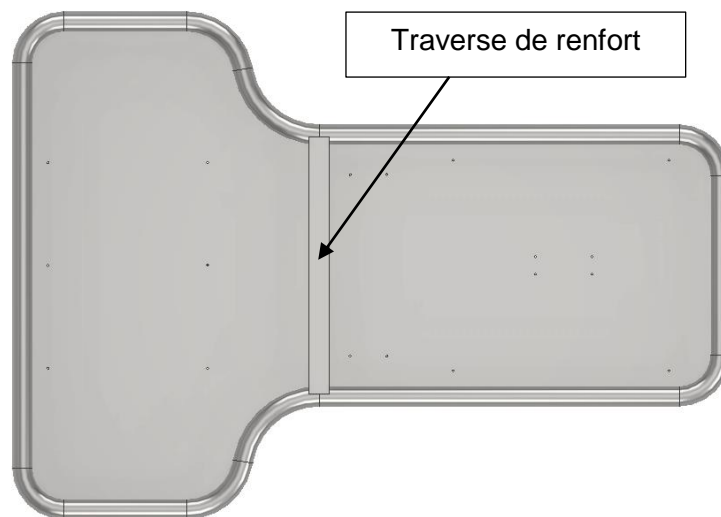
Les résultats précédents permettent de définir le type de chargement appliqué à la plaque de maintien des éléments de la transmission de puissance.

Question A.3 | Parmi les modélisations de chargement du document technique, **choisir** et **justifier** celui qui est le plus représentatif des sollicitations appliquées sur la plaque de maintien.
DT2.3

Le modèle de chargement étant défini, une série de simulations est réalisée sur le plancher inférieur afin de déterminer le déplacement maximum (la flèche) de la plaque de maintien sous charge, et ce pour différentes épaisseurs.

Question A.4 | À partir des résultats de simulation, **conclure** quant à l'aptitude des différentes plaques de maintien à vérifier la condition de déformation maximum admissible. **Justifier** votre réponse.
DT2.4

Afin de diminuer la déformation de la plaque de maintien, une traverse est ajoutée dans la partie centrale du plancher.



On admettra que la traverse peut être modélisée par une poutre sollicitée en flexion simple. L'expression de la flèche pour une poutre Encastrée – Encastree soumise à une charge répartie est la suivante :

représentation	relation	paramètres
	$f = \frac{p \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$	f : flèche en mm
		p : charge répartie en $N \cdot mm^{-1}$
		L : longueur en mm
		E : module de Young en MPa
		I : moment quadratique en mm^4

Question A.5 | Par analyse des résultats de simulations, **déterminer** la forme de la section de la traverse de renfort qui minimisera la déformation du plancher. **Justifier** votre réponse.
DT2.5

Question A.6 | À partir de l'expression de la flèche pour une poutre Encastrée –
DT2.6 | Encastrée et des données du document technique, **expliquer** l'influence
du moment quadratique dans le calcul de la flèche pour une poutre
soumise à de la flexion.

Justifier le choix d'une traverse à section carrée creuse.

Le profil de la traverse ayant été déterminé, de nouvelles simulations mécaniques de RDM sont menées sur la structure du plancher inférieur avec l'ajout du renfort. Les résultats de ces simulations en contraintes et en déplacements sont disponibles, respectivement, sur les documents techniques DT2.7 et DT2.8.

Pour la suite de l'étude nous considérerons que :

- la limite élastique de l'acier utilisé, $R_e = 175 \text{ MPa}$;
- le coefficient de sécurité adopté, $s = 2,5$.

Question A.7 | À partir des données précédentes, **calculer** la contrainte maximale que
DT2.7 | peut subir le plancher inférieur en acier inoxydable avec le coefficient de
sécurité adopté.

Vérifier, à partir du document technique, la condition de résistance
mécanique du plancher inférieur (échelle max) pour les épaisseurs
1,5 mm et 2 mm.

Conclusion : Structure et dimensionnement du plancher

Question A.8 | À partir des résultats de simulations (échelles max) et l'ensemble de
DT2.8 | l'étude précédente, **rédigier** en quelques lignes une conclusion dans
laquelle vos choix (épaisseur de plaque, profil de traverse) seront
justifiés au regard des attentes du cahier des charges (en masse, flèche
et contrainte).

Partie B : Validation de l'optimisation de la masse de la structure dans une démarche d'éco-conception

Une des grandes problématiques à résoudre lors de la conception de la structure d'un véhicule est d'optimiser sa masse tout en garantissant sa résistance mécanique. De plus, le véhicule MobyPost étant un véhicule à hydrogène non polluant en phase d'utilisation, sa conception se doit elle aussi de limiter ses impacts environnementaux, et donc de s'inscrire dans une démarche d'éco-conception.

Pour satisfaire au mieux ce besoin de respect de l'environnement, deux axes seront étudiés :

- le choix du matériau constituant le châssis ;
- l'étude des impacts environnementaux au cours du cycle de vie du produit.

Choix du matériau constituant le châssis du véhicule

Le châssis du véhicule MobyPost (figure 1 du DT2.1) est réalisé par un assemblage mécano-soudé de tubes à section circulaire. Une bonne soudabilité du matériau est prise en compte dans les résultats suivants.

Question B.1 | À l'aide du document technique, une droite sélection étant donnée, DT2.9 | **identifier** la famille de matériaux offrant le meilleur compromis : masse volumique faible et limite élastique élevée.

Le châssis du véhicule étant exposé aux conditions climatiques extérieures, la durabilité du matériau à l'eau douce devra être excellente.

Compte tenu de ce nouveau critère, deux familles de matériaux potentiels sont retenus pour la réalisation du châssis :

- les aciers inoxydables ;
- les alliages d'aluminium.

Étant donné le faible diamètre des tubes (40 mm), le procédé primaire retenu pour leur obtention est l'extrusion.

Le choix définitif du matériau découle d'une démarche d'éco-conception dont l'objectif est de comparer plusieurs solutions selon leurs impacts environnementaux. Pour ce faire, il faut au préalable connaître :

- la masse de matériau utilisé pour la réalisation du châssis complet ;
- le procédé primaire d'obtention des tubes ;
- la distance et le mode de transport des matériaux depuis le pays producteur.

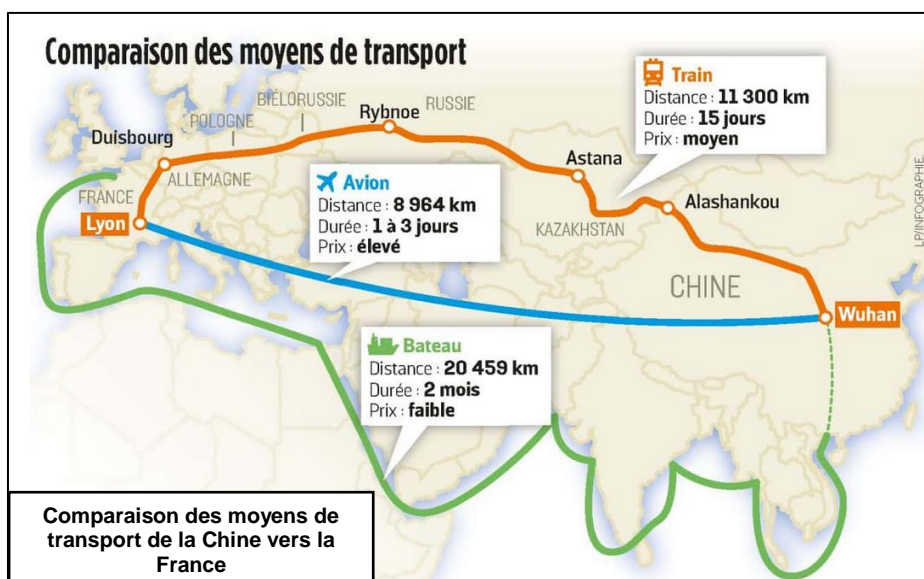
Éco-conception du châssis

La longueur totale de tube nécessaire à la fabrication du châssis est estimée à 23 m.

Question B.2 | Les tubes ayant un diamètre extérieur de 40 mm et une épaisseur de 2 mm, **calculer** le volume de matériau en m³ nécessaire à la fabrication d'un châssis complet. DT2.10

En déduire, à partir des données du document technique, les masses correspondantes d'acier inoxydable et d'alliage d'aluminium.

Ces masses de matériaux seront nécessaires au paramétrage du logiciel de simulation d'impacts environnementaux.



Question B.3 | Les matières premières proviennent du premier pays producteur mondial d'acier et d'aluminium. **Identifier**, d'après le document technique, le pays leader mondial dans ce domaine.

DT2.11

Ces matières premières sont acheminées par transport maritime ou par fret ferroviaire. Les distances, durées et coûts relatifs des moyens de transport sont donnés dans le document suivant :

L'ensemble des données précédentes permettent de simuler les impacts environnementaux du châssis dans différentes phases de son cycle de vie.

Les impacts environnementaux sont quantifiés par deux critères :

- consommation énergétique en MJ
- empreinte CO₂ en kg

Les phases du cycle de vie sont ordonnées chronologiquement de l'obtention du matériau brut jusqu'à la fin de vie potentielle du produit (destruction, recyclage, réutilisation, ...).

Question B.4 | À partir des résultats du document technique, **identifier** la phase du cycle de vie du châssis la plus impactante sur l'environnement.

DT2.12

En déduire la réflexion à apporter prioritairement lors de la conception du produit pour réduire ses impacts environnementaux.

Question B.5 | À partir des résultats du document technique, **relever** en % les différences de consommation énergétique et de rejet de CO₂ entre le châssis en alliage d'aluminium et celui en acier.

DT2.13

Pour la réalisation du châssis, **choisir** le matériau le moins impactant sur l'environnement.

D'après les résultats du document DT2.12, le transport du matériau représente une part minime des impacts globaux du produit au cours de son cycle de vie.

Question B.6 | Les résultats détaillés étant donnés sur le document technique, **comparer** les solutions par fret maritime et par fret ferroviaire en termes de consommation d'énergie et de rejet de CO₂ et **conclure**.

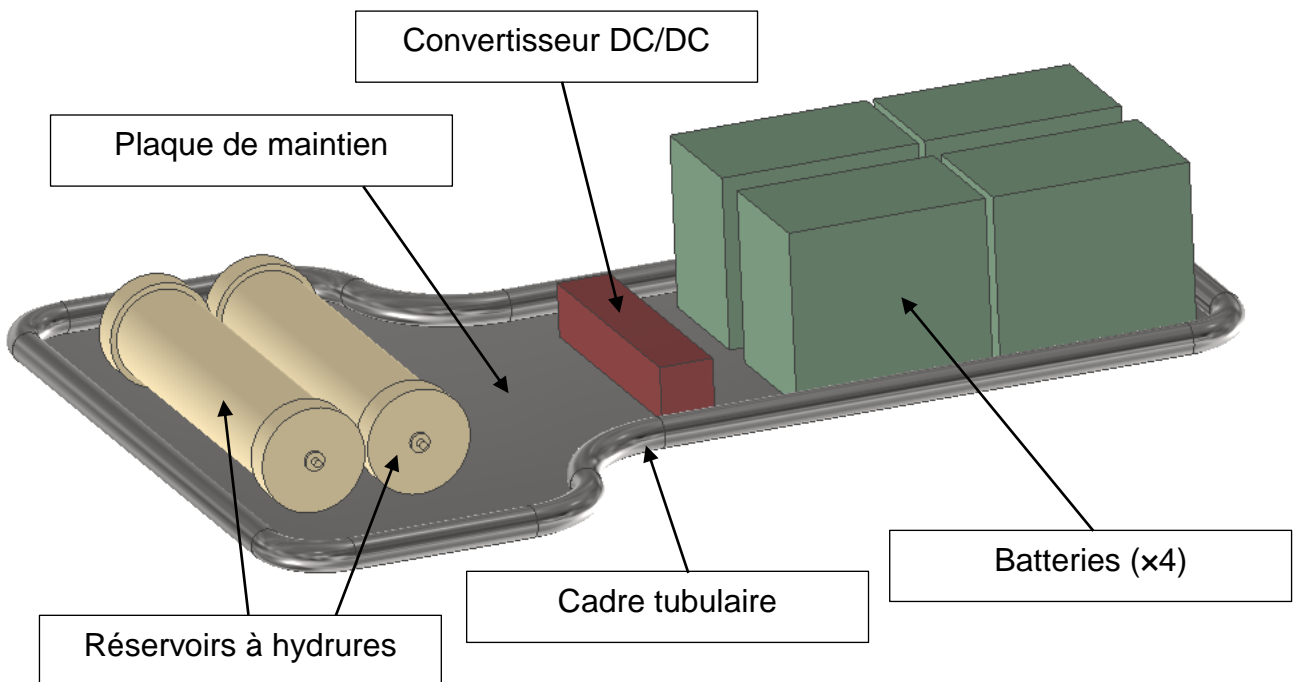
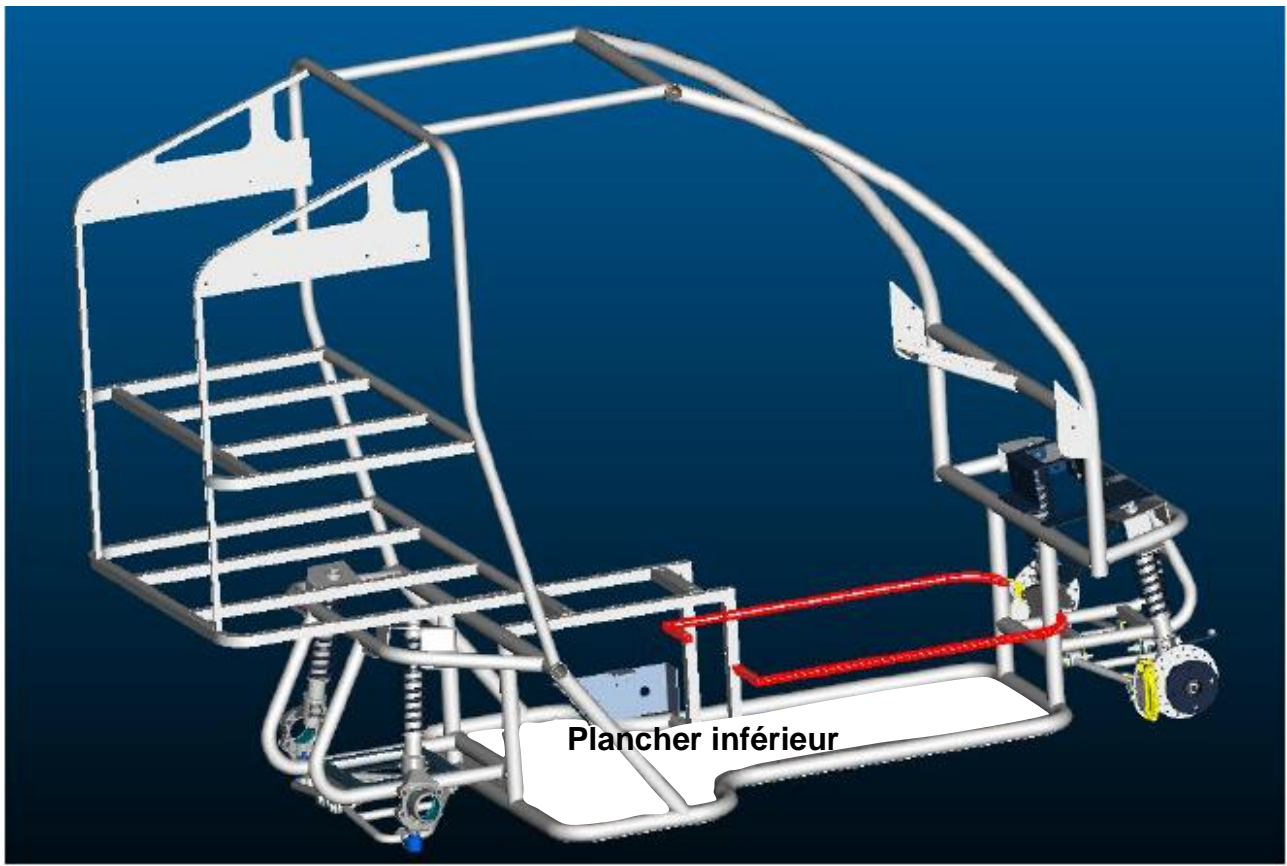
DT2.14

Nommer d'autres critères permettant de choisir l'un des deux transports.

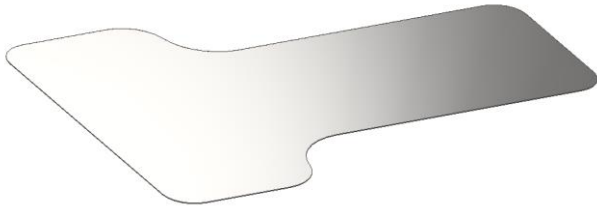
Conclusion : choix d'un matériau minimisant la masse de la structure et les impacts environnementaux

Question B.7 | À partir des résultats précédents et l'ensemble de la partie B, **rédigier** en quelques lignes une conclusion dans laquelle vos choix (matériau, mode de transport) seront justifiés au regard des attentes d'une démarche d'éco-conception.

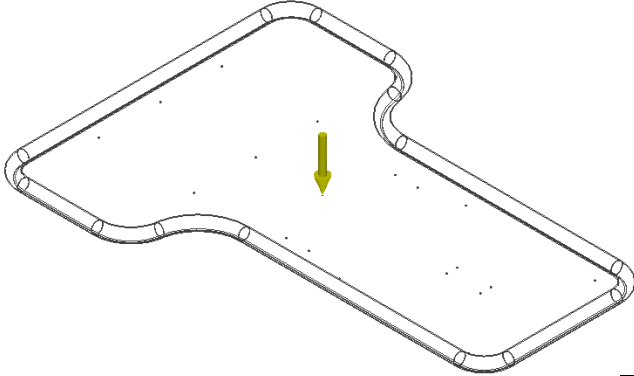
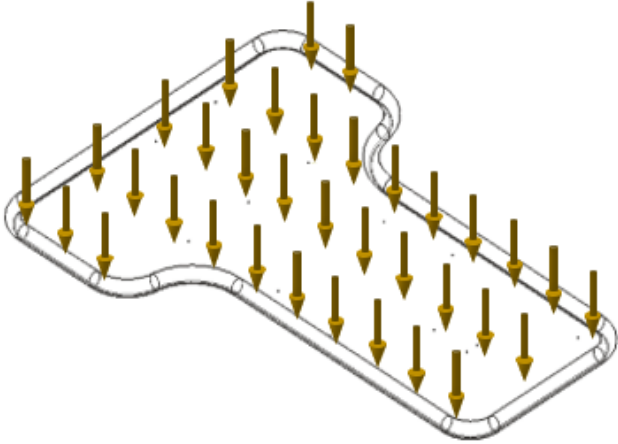
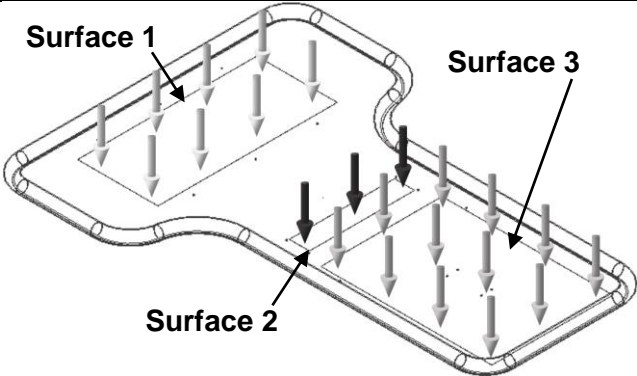
DT2.1 – Définition du plancher inférieur



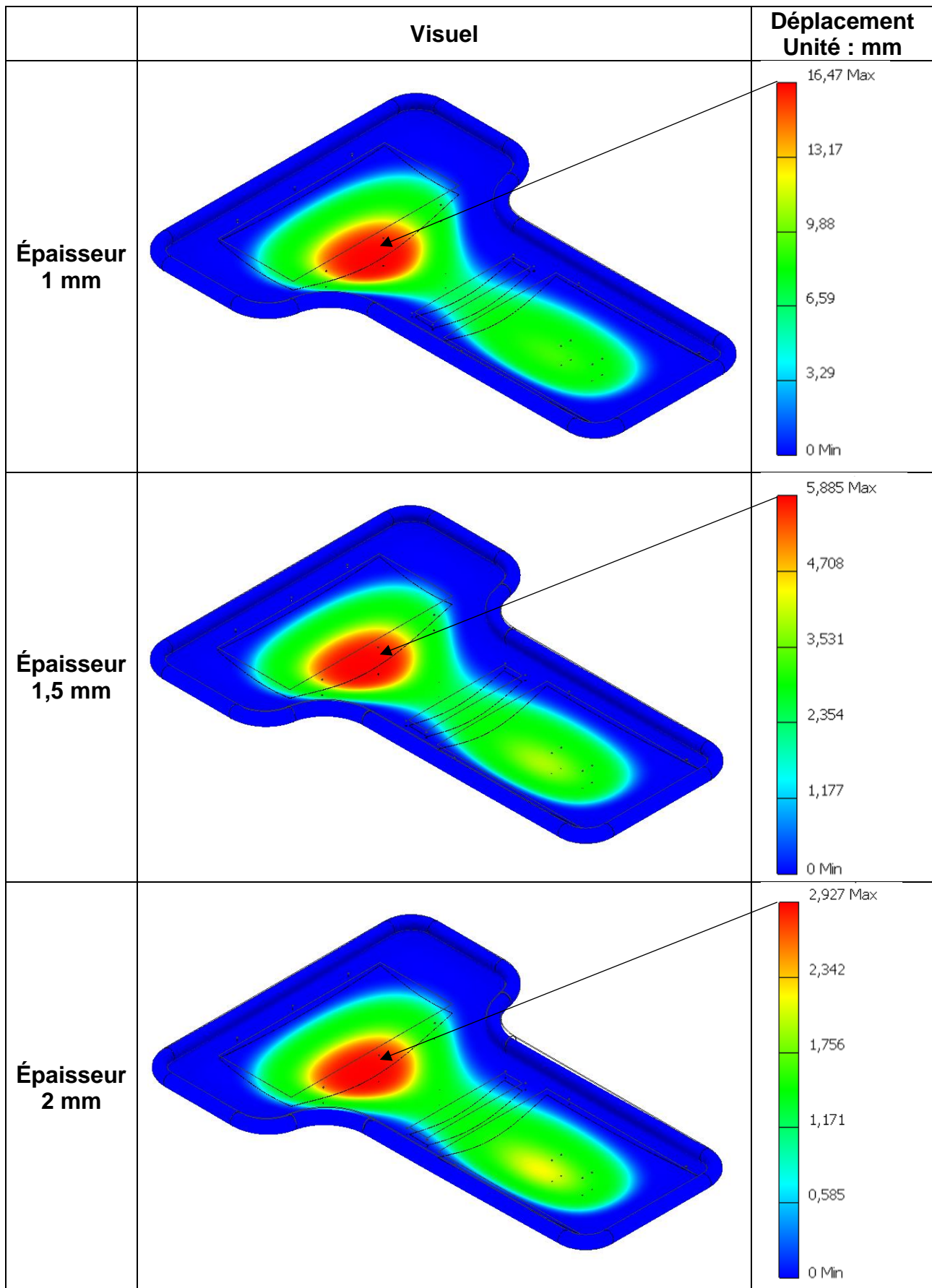
DT2.2 – Caractéristiques du plancher inférieur

Plaque de maintien du plancher inférieur				
Matériau	Acier inoxydable			
Masse volumique	7850 kg·m ⁻³			
Surface	0,88 m ²			
Epaisseur normalisée disponible	1 mm	1,5 mm	2 mm	2,5 mm

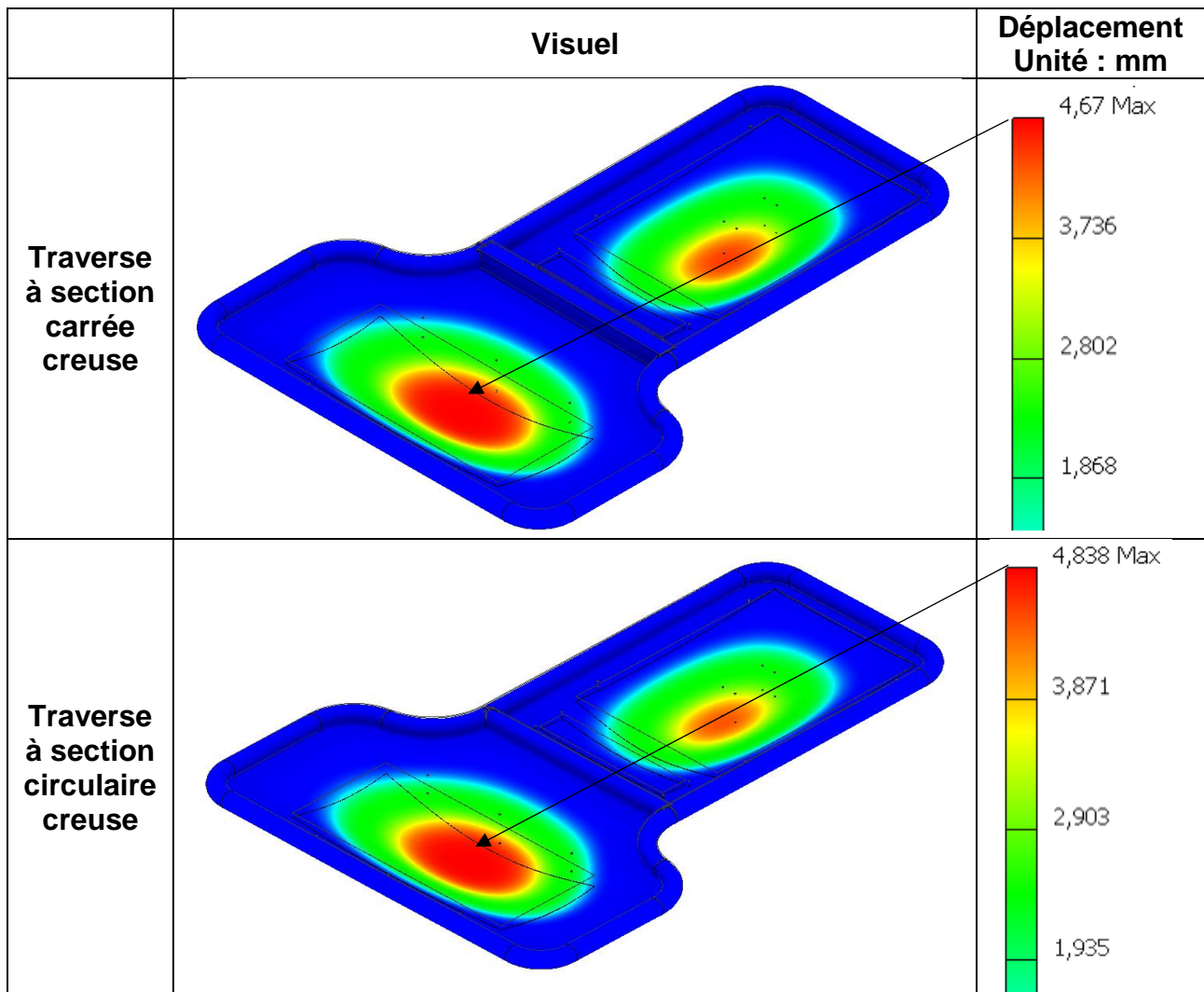
DT2.3 – Modélisations de chargement sur la plaque de maintien

	Description	Représentation
Modèle n°1	<p>Un effort ponctuel</p> <p>Vertical - Descendant</p> <p>Appliqué au centre de gravité de la surface</p> <p>Intensité = 1120 N</p>	
Modèle n°2	<p>Un effort surfacique uniforme</p> <p>Vertical - Descendant</p> <p>Appliqué sur toute la surface de la plaque</p> <p>Intensité = 1120 N</p>	
Modèle n°3	<p>3 efforts surfaciques uniformes</p> <p>Verticaux - Descendants</p> <p>Appliqués sur trois surfaces</p> <p>Intensité 1 = 450 N</p> <p>Intensité 2 = 20 N</p> <p>Intensité 3 = 650 N</p>	

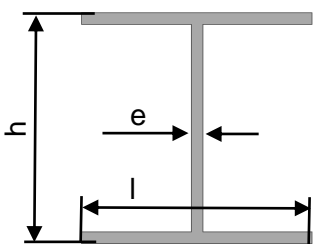
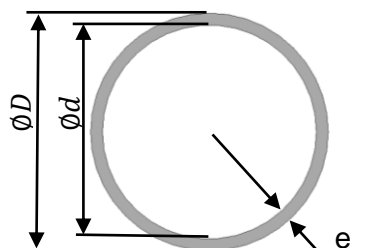
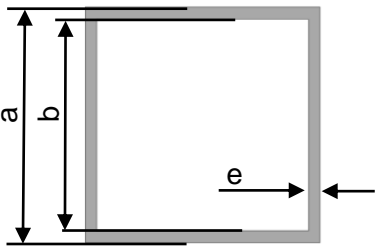
DT2.4 – Résultats de simulation de la plaque de maintien



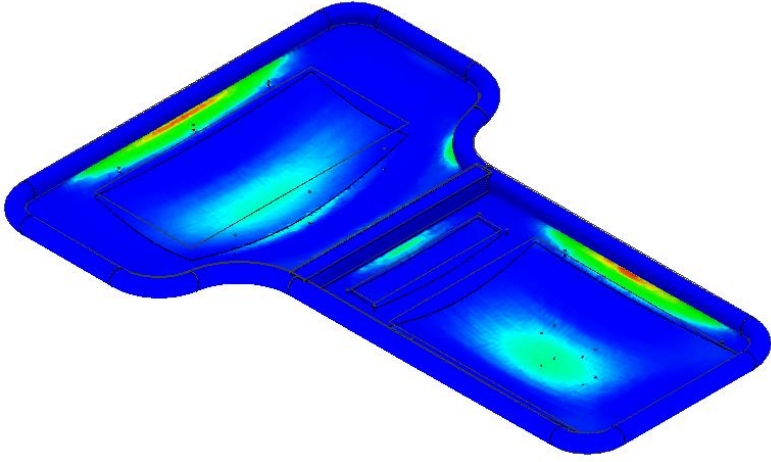
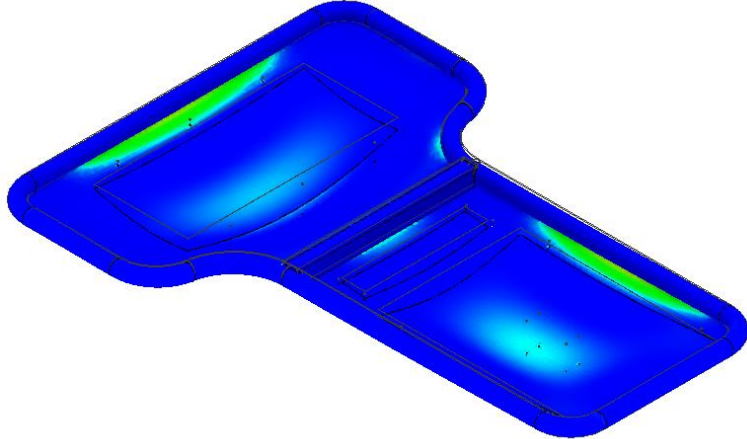
DT2.5 – Résultats de simulation de la plaque 1,5 mm avec traverse



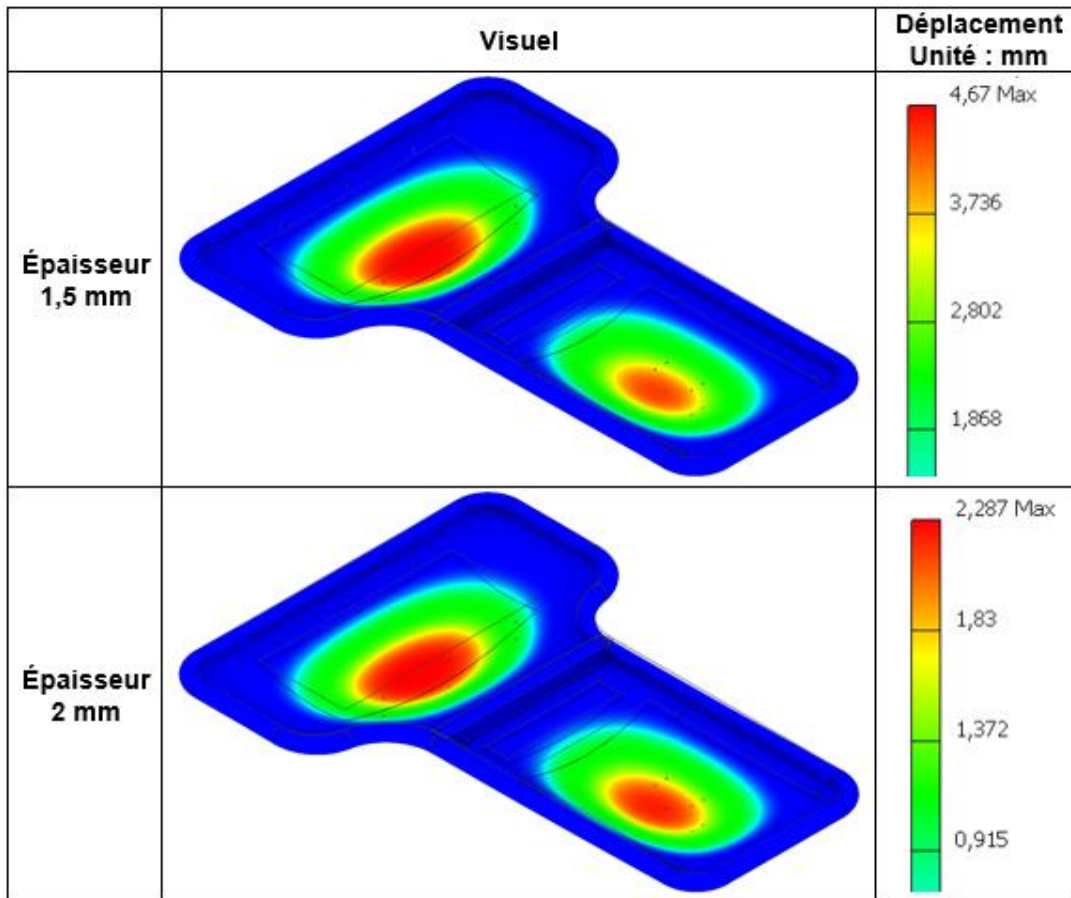
DT2.6 – Moments quadratiques des sections usuelles

Section en H	Section circulaire creuse	Section carrée creuse
		
$h = l = 40 \text{ mm}$ $e = 2 \text{ mm}$	$D = 40 \text{ mm}$ $e = 2 \text{ mm}$	$a = 40 \text{ mm}$ $e = 2 \text{ mm}$
$I = 65590 \text{ mm}^4$	$I = 43216 \text{ mm}^4$	$I = 73366 \text{ mm}^4$

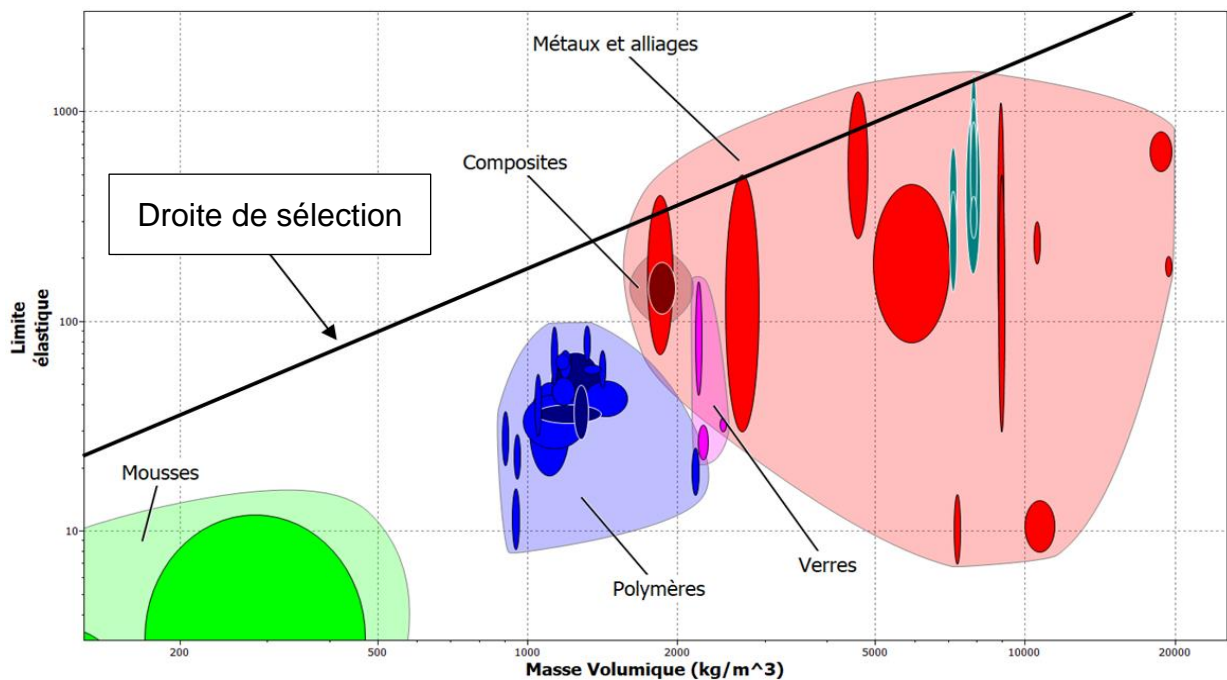
DT2.7 – Résultats de simulation mécanique du plancher inférieur

	Visuel	Contrainte de Von Mises Unité : MPa
Épaisseur 1,5 mm		94,14 Max 75,34 56,54 37,75
Épaisseur 2 mm		64,49 Max 51,62 38,75 25,88

DT2.8 – Résultats de simulation de la plaque de maintien avec traverse



DT2.9 – Diagramme Limite élastique / Masse volumique

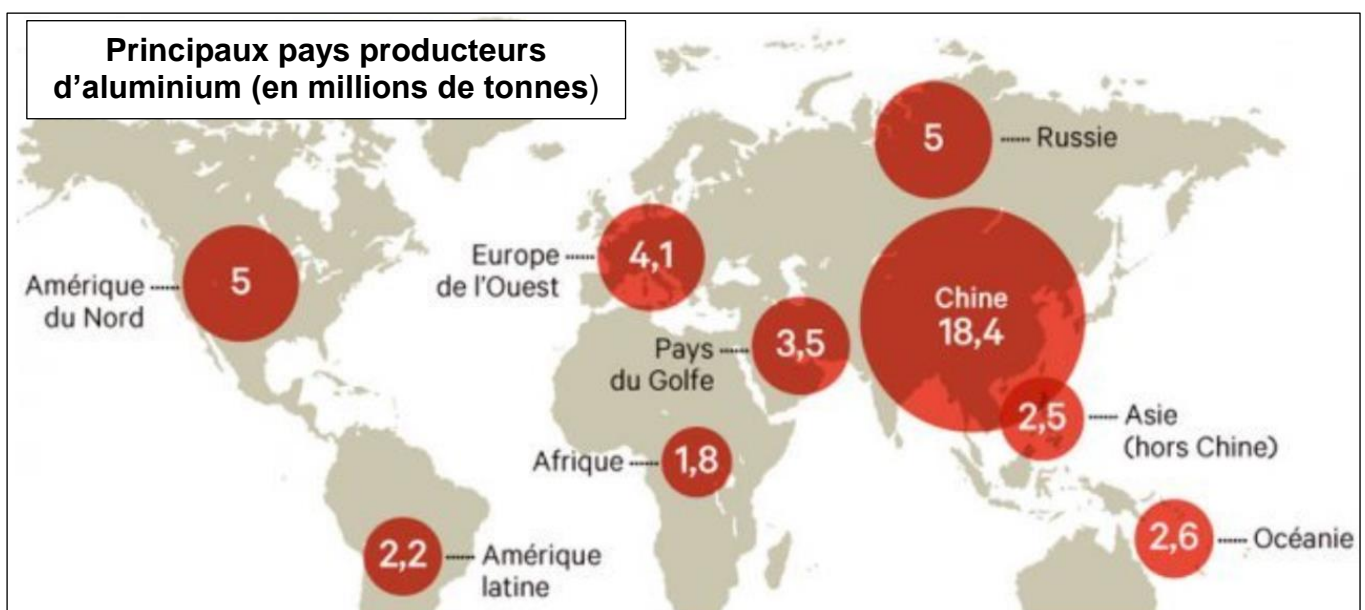
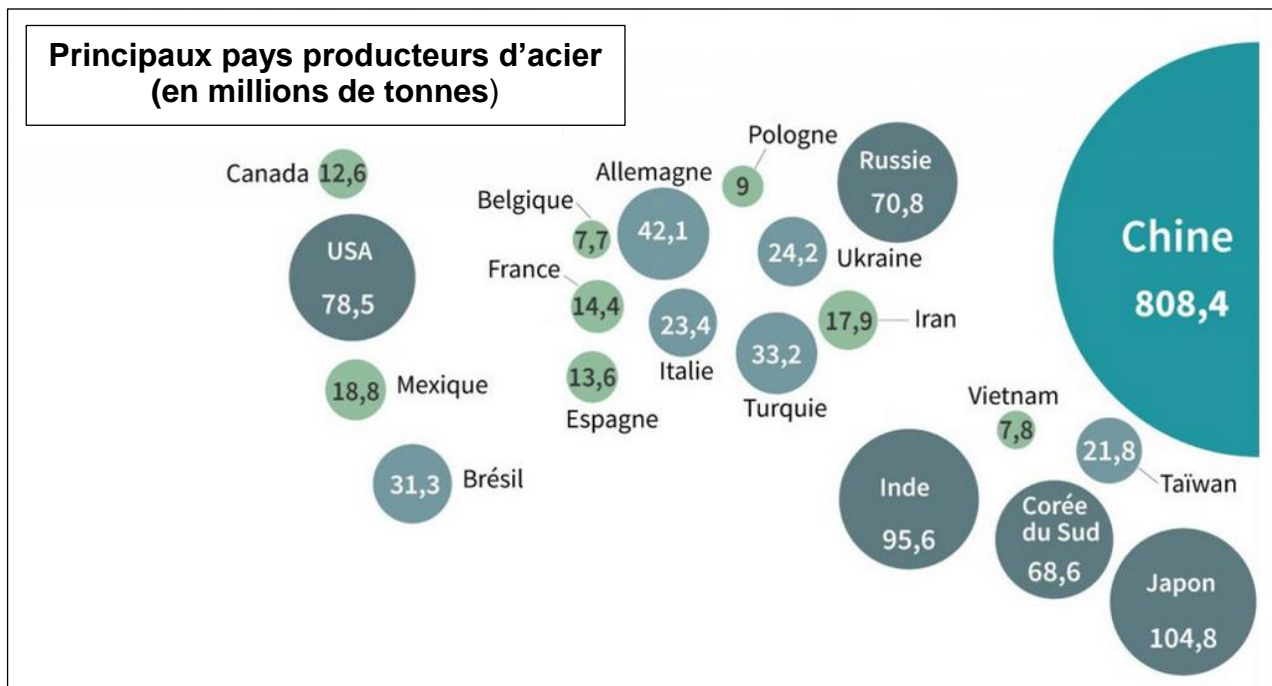


La droite de sélection est un indicateur de performance, elle permet de séparer les matériaux offrant un bon compromis entre 2 caractéristiques des autres. Ici, les matériaux invisibles se situent sous la courbe.

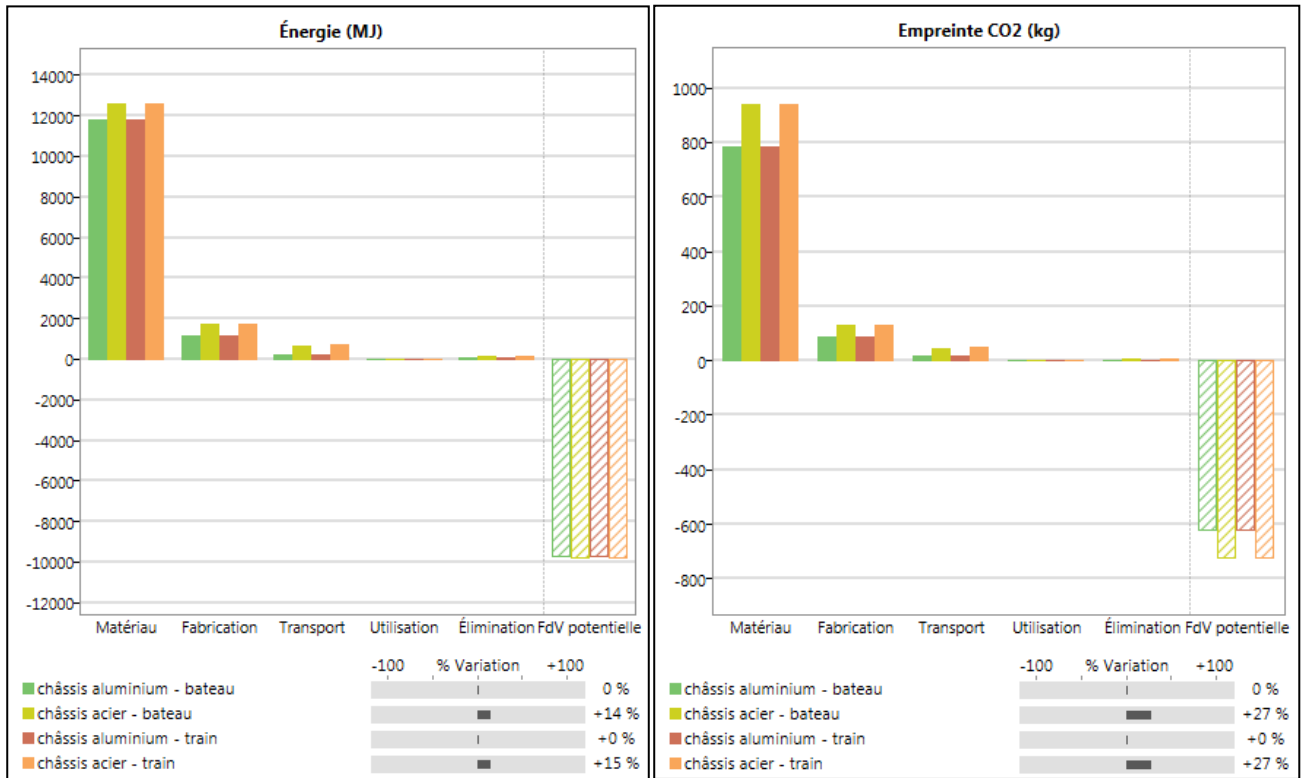
DT2.10 – Données matériaux

Tubes section ronde		
Matériau	Acier inoxydable	Alliage d'aluminium
Masse volumique	7850 kg·m ⁻³	2700 kg·m ⁻³
Limite élastique	de 170 à 1000 MPa	de 95 à 610 MPa
Module de Young	de 189 à 210 GPa	de 68 à 80 GPa

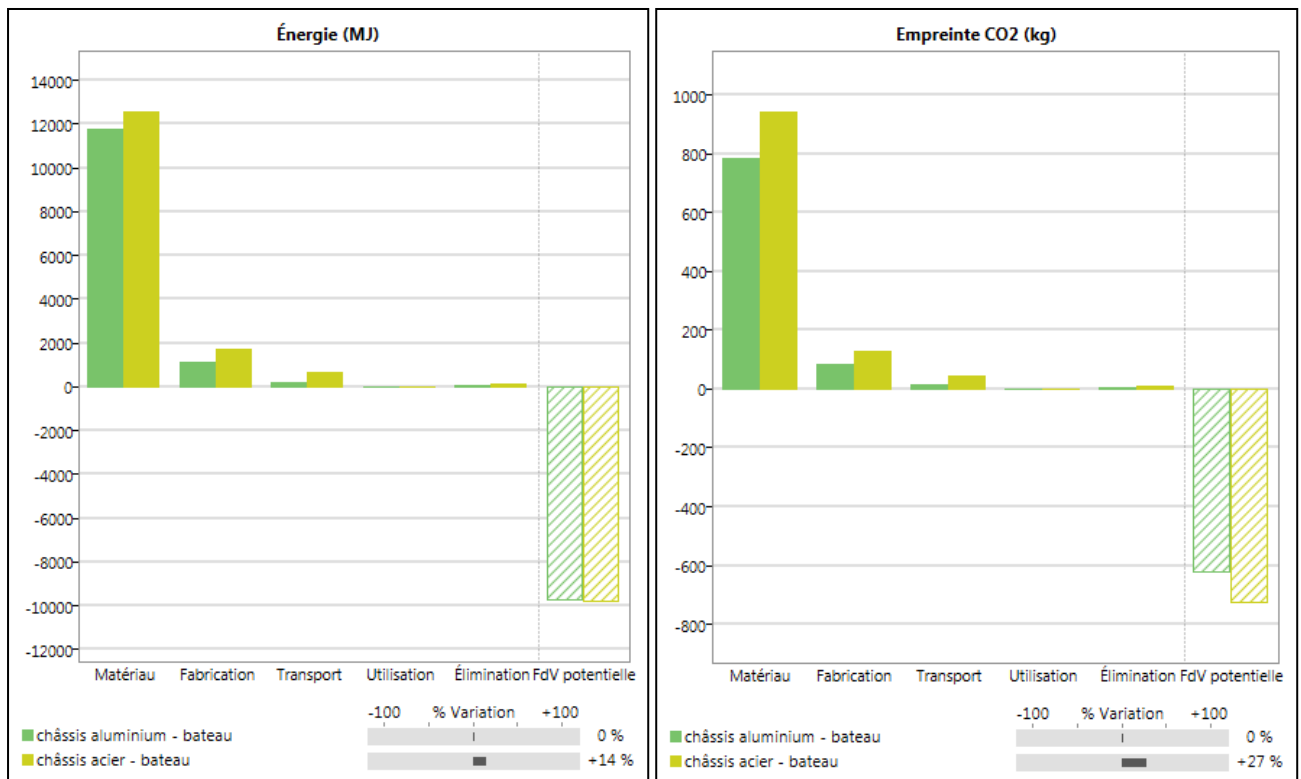
DT2.11 – Principaux pays producteurs d'acier et d'aluminium (2017)



DT2.12 – Comparaison des impacts environnementaux



DT2.13 – Comparaison des impacts entre acier et alliage d'aluminium



DT2.14 – Comparaison des impacts entre modes de transport

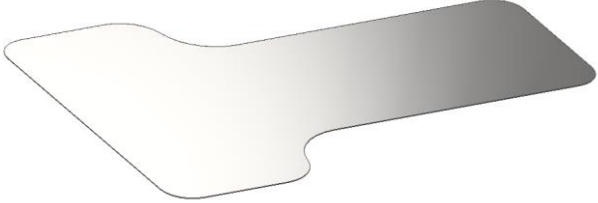
Résultats détaillés pour le châssis en alliage d'aluminium transporté par fret ferroviaire

Étape	Énergie (MJ)	Énergie (%)	Empreinte CO2 (kg)	Empreinte CO2 (%)
Matériau	1,18e+04	89,3	782	88,2
Fabrication	1,13e+03	8,6	84,5	9,5
Transport	237	1,8	17,1	1,9
Utilisation	0	0,0	0	0,0
Élimination	42	0,3	2,94	0,3
Total (pour premier cycle de vie)	1,32e+04	100	887	100
Fin de vie potentielle	-9,75e+03		-623	

Résultats détaillés pour le châssis en alliage d'aluminium transporté par fret maritime

Étape	Énergie (MJ)	Énergie (%)	Empreinte CO2 (kg)	Empreinte CO2 (%)
Matériau	1,18e+04	89,4	782	88,3
Fabrication	1,13e+03	8,6	84,5	9,5
Transport	221	1,7	15,9	1,8
Utilisation	0	0,0	0	0,0
Élimination	42	0,3	2,94	0,3
Total (pour premier cycle de vie)	1,32e+04	100	885	100
Fin de vie potentielle	-9,75e+03		-623	

DR2.1 – Masse de la plaque du plancher inférieur

Plaque de maintien du plancher inférieur				
	Épaisseur normalisée disponible	1 mm	1,5 mm	2 mm	2,5 mm
Masse de la plaque	6,9 kg	10,36 kg	.....	17,27 kg

DR2.2 – Poids des éléments de la chaîne de puissance

Élément	Masse	Poids
Batteries	65 kg	.....
Convertisseur DC/DC	2 kg	.....
Réservoirs à hydrures	45 kg	.....
TOTAL	112 kg	.....

PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

SYSTÈMES D'INFORMATION ET NUMÉRIQUE

Station MAHYTEC



Constitution du sujet :

- **Dossier sujet et questionnement**..... pages 28 à 33
- **Dossier technique** pages 34 à 41
- **Documents réponses** pages 42 à 43

Mise en situation

Les stations d'hydrogène développées par la société MAHYTEC sont sans aucun doute une solution d'avenir pour le stockage d'électricité d'origine renouvelable (solaire, éolienne), comme par exemple dans des sites isolés tels que les refuges de haute montagne.

Les parties à l'étude qui suivent ont pour but de valider les solutions techniques retenues permettant le contrôle des différents paramètres mesurés sur les équipements de la station, leur transmission et leur traitement.

Travail demandé

Partie A : Influence de l'auto-consommation énergétique de la station sur la commande du cycle de recharge de la batterie

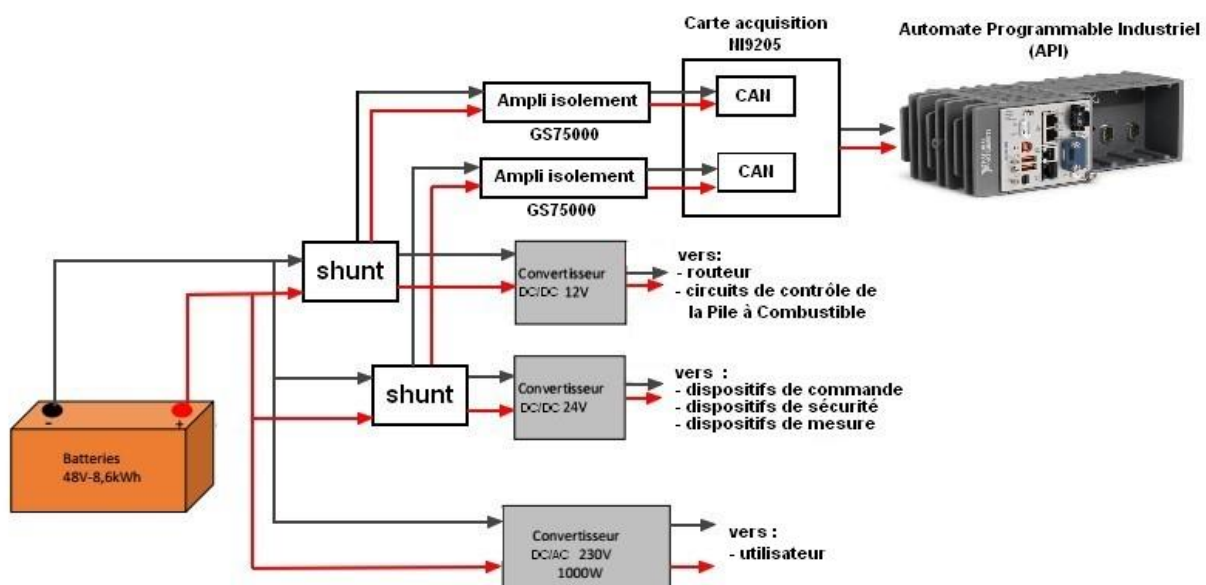
On rappelle que l'objectif de la station bivalente MAHYTEC est de fournir au véhicule MOBYPOST de l'énergie sous forme d'hydrogène, préalablement stocké dans un réservoir composite de 850 litres.

D'autre part, elle est capable de fournir de l'électricité sous forme alternative, prélevée par un onduleur sur la batterie 48 VDC.

Afin d'alimenter les différents dispositifs de sécurité, de commande et de contrôle de la station, une partie de l'énergie de la batterie 48 VDC doit être prélevée. De ce fait, deux tensions intermédiaires de 24 VDC et 12 VDC doivent être générées à partir de la tension 48 VDC volts du pack batterie principal.

Pour cela, deux convertisseurs DC/DC ont été installés :

- un convertisseur DC/DC 48 V/12 V qui alimente les circuits de contrôle de la pile à combustible ainsi que le routeur ;
- un convertisseur DC/DC 48 V/24 V qui alimente les dispositifs de commande, de sécurité et de mesure de la station.



Ces consommations internes déchargent progressivement la batterie principale de la station. Il est donc impératif de mesurer en permanence ces courants, afin de piloter automatiquement un cycle de recharge de la batterie principale lorsque c'est nécessaire.

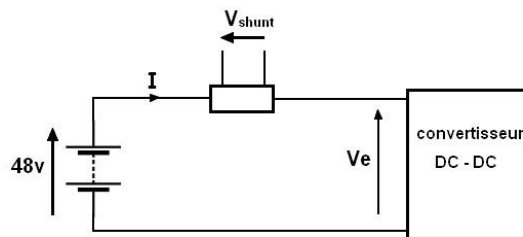
La batterie 48 VDC possède une capacité de 180 A.h. Le cahier des charges nous impose un maximum de 10 % de décharge par auto-consommation et un maximum de 2 cycles de recharge par jour de la batterie.

Question A.1 | **Identifier** les types d'information ainsi que leurs plages de variation maximales des éléments suivants : shunt, amplificateur d'isolement GS75000 et CAN de la carte d'acquisition NI9205 et les **inscrire** sur le diagramme de bloc interne de la chaîne d'acquisition du courant.

DT2.1, DT2.2
DR2.1

Pour les informations, vous utiliserez les termes suivants : nombre binaire, tension en V, courant en A, tension en mV.

La mesure de courant par shunt s'effectuant par l'adjonction d'une résistance en série dans le circuit, la puissance consommée par la mesure doit être négligeable par rapport à la puissance mesurée.



Question A.2 | Pour la valeur maximale du courant mesurée par le shunt, **calculer** la puissance dissipée par la résistance shunt et la puissance fournie par la batterie, considérant que l'ensemble des éléments nécessitent 10 A pour leurs fonctionnements.

DT2.1

En déduire l'opportunité d'utiliser cette résistance shunt dans ce cas de figure.

En veille (pas d'utilisation de la batterie autre que les consommations internes), le mot binaire relevé en sortie de la carte d'acquisition NI9205 oscille autour de la valeur 0010 0001 0100.

Question A.3 | **Convertir** ce mot binaire en décimal.

DT2.2

À l'aide de la résolution et des plages de tension d'entrée du convertisseur analogique numérique de la carte d'acquisition NI9205, **calculer** la valeur de la tension présente à l'entrée de ce convertisseur analogique numérique.

Question A.4 | **Calculer** la tension présente en entrée de l'amplificateur d'isolement GS75000.

DT2.2

En déduire le courant qui traverse le shunt.

Quel que soit le résultat obtenu à la question, nous considérons que le courant qui traverse le shunt est de 1,3 A.

Question A.5 | **Déterminer** la durée nécessaire pour que la batterie perde 10 % de sa charge.

Conclure sur le respect du cahier des charges.

Partie B : Pilotage du démarrage de l'électrolyseur

Le document DT2.3 décrit l'architecture des communications entre les différents éléments de la station.

Le démarrage et l'arrêt de l'électrolyseur répondent à différents critères (pression dans le réservoir de 850 litres, heure et jour de la semaine), et sont pilotés par l'automate programmable industriel (API). Les échanges se font par l'intermédiaire d'un réseau Ethernet avec le protocole MODBUS.

Les conditions préprogrammées de démarrage et d'arrêt de l'électrolyseur sont les suivantes :

- en condition de démarrage, l'électrolyseur ne peut démarrer automatiquement que si la pression du réservoir 850 litres est inférieure à 15 bars, uniquement la semaine (du lundi au vendredi) et de nuit (entre 20 h et 6 h du matin) ;
- en condition d'arrêt, l'arrêt automatique s'effectue lorsque la pression du réservoir 850 litres a atteint 27 bars, ou bien si l'on a atteint les horaires de jour (entre 6 h et 20 h).

La partie a pour but de vérifier l'intégrité des échanges entre l'automate programmable et l'électrolyseur.

On capture la trame Ethernet ci-dessous :

Offset		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0000	0000	74	2F	35	0A	89	BC	4A	DF	46	0A	F0	DD	08	00	45	00
0000	0010	00	28	55	C5	40	00	32	06	65	99	0A	0A	03	0A	0A	0A
0000	0020	03	10	C5	B9	01	24	EE	56	78	EF	C6	3D	76	56	50	10
0000	0030	04	41	78	44	00	00	00	00	00	00	00	06	03	00	6B	00
0000	0040	01															

Question B.1 | À partir des DT2.4 et DT2.7, **relever** sur la trame ci-dessus les adresses IP de la source et du destinataire du message.

DT2.4, DT2.7,

DT2.3

À partir du DT2.3, **déduire** de quel appareil provient la requête et quel est l'appareil interrogé.

Question B.2 | À l'aide des codes fonction et registres de l'électrolyseur, **indiquer** quel est le registre interrogé sur le destinataire, et à quelle fonction il correspond.

DT2.5,

DT2.6, DT2.7

La réponse de l'équipement interrogé est la suivante :

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0000	4A	DF	46	0A	F0	DD	74	2F	35	0A	89	BC	08	00	45	00
0010	00	28	55	C5	40	00	32	06	65	99	0A	0A	03	10	0A	0A
0020	03	0A	01	F6	C5	B9	27	EA	78	EF	C6	3D	76	56	50	10
0030	04	41	78	CE	00	00	00	00	00	00	00	06	03	00	02	00
0040	0D															

Question B.3 | La valeur de pression du réservoir est donnée en hexadécimal par le dernier octet de la trame ci-dessus.

DT2.3, DT2.5,
DT2.6, DT2.7

Indiquer cette valeur en décimal.

D'après le cahier des charges, **en déduire** les deux autres conditions nécessaires au démarrage de l'électrolyseur.

Les variables utilisées pour la programmation du fonctionnement de l'électrolyseur sont les suivantes :

Nom de la variable	Description
P	Pression du réservoir
J	Jour courant
H	Heure courante
S	Jour de la semaine (Lundi ou Mardi ou Mercredi ou Jeudi ou Vendredi)
N	Heure de nuit comprise entre 20 h et 6 h

Question B.4 | **Compléter** l'algorithme de commande de l'électrolyseur sur le document réponses en utilisant les variables décrites ci-dessus.

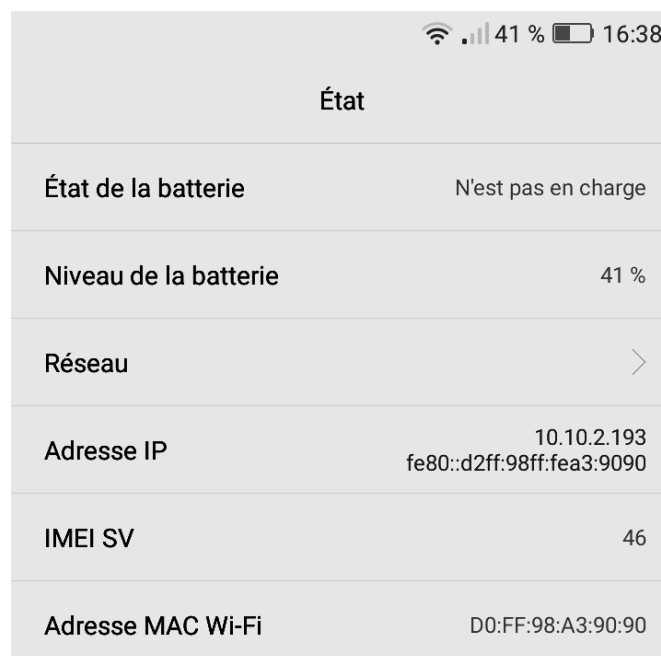
DR2.1

Partie C : Mise en œuvre du système de surveillance de la station

Cette station est dotée d'un réseau accessible sans fil, afin que les exploitants puissent s'y connecter et suivre l'évolution en temps réel des différents paramètres, par l'intermédiaire de tablettes. Par mesures de sécurité, ces informations ne sont accessibles qu'en lecture. Le synoptique général des réseaux de communication est donné sur le document DT2.3. On s'intéresse au réseau sur lequel les tablettes peuvent se connecter, et on veut vérifier que les paramètres du réseau utilisé conviennent bien à cette utilisation.

Question C.1 | À partir du synoptique général, **indiquer** le masque de sous-réseau et le
DT2.3 | nombre maximal de machines que l'on peut installer.

Lors d'une connexion sur le réseau Wi-Fi de la station, le serveur attribue automatiquement une adresse IP à la tablette de l'exploitant. L'accès aux données se fait par le navigateur, en accédant au serveur à l'adresse 10.10.2.10. Une copie des paramètres de la tablette est donnée ci-dessous :



The image shows a screenshot of a tablet's status page. At the top, there are icons for Wi-Fi, cellular signal, 41% battery, and the time 16:38. The page is titled 'État' and contains the following information:

État	
État de la batterie	N'est pas en charge
Niveau de la batterie	41 %
Réseau	>
Adresse IP	10.10.2.193 fe80::d2ff:98ff:fea3:9090
IMEI SV	46
Adresse MAC Wi-Fi	D0:FF:98:A3:90:90

Question C.2 | **Relever** l'adresse IP attribuée à la tablette et **vérifier** que celle-ci peut
| communiquer avec le réseau Wi-Fi de la station.

Les variables disponibles à l'affichage sur les tablettes sont principalement :

- les courants et tensions délivrés par la station ;
- les pressions des réservoirs d'hydrogène.

L'affichage obtenu sur la tablette de la pression du réservoir composite est donné sous forme d'une jauge (document DT2.8).

Dans un souci d'amélioration de l'affichage pour des personnes souffrant de déficiences visuelles, on souhaite augmenter la taille de la jauge et renforcer le contraste de l'image.

Question C.3 | Le script de la jauge est contenu dans la page html. **Entourer** sur le document réponses les paramètres à modifier afin d'augmenter la taille d'affichage de cette jauge.

DR2.2

Question C.4 | On choisit d'afficher un fond d'écran noir et le titre de la donnée mesurée (« Réservoir composite » et « Pression ») en blanc. **Modifier** sur le document réponses les valeurs attribuées aux couleurs.

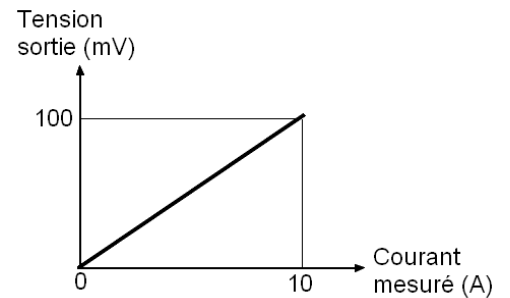
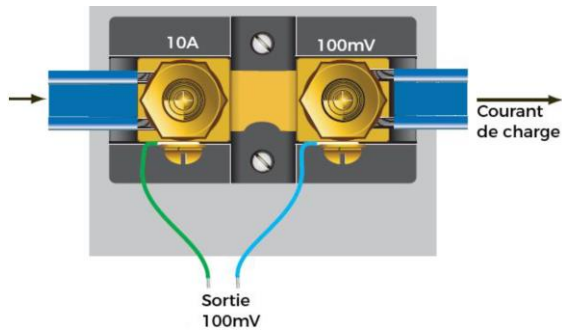
DT2.9

DR2.3

DT2.1 – Composants de la chaîne d'acquisition des courants d'alimentation des convertisseurs CC/CC

Shunt de mesure de courant

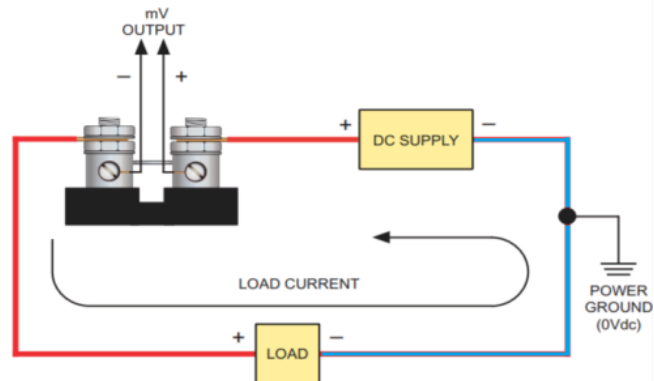
Il s'agit d'une résistance calibrée et conçue pour la mesure de courants continus. Elle se place sur la ligne d'alimentation de la charge et fournit une tension en mV directement proportionnelle au courant mesuré (100 mV pour 10 A).



Caractéristiques

- Puissance maxi : 60 W
- Précision : 0,25 %
- Isolation : 750 V
- Courant d'entrée maxi : 10 A

Câblage typique shunt coté point chaud (+)



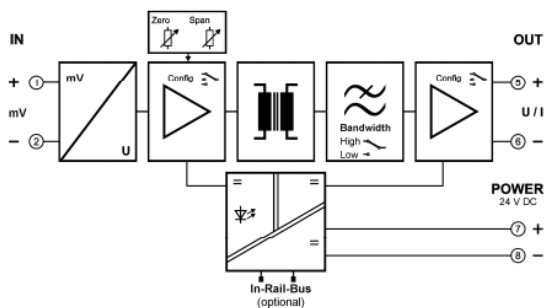
DT2.2 – Composants de la chaîne d'acquisition des courants d'alimentation des convertisseurs CC/CC

Amplificateur d'isolement GS 75000



L'amplificateur d'isolement GS 7500 sert à la séparation et à la conversion de signaux basse tension bipolaires et unipolaires tels que ceux qui sont fréquemment utilisés pour la mesure du courant avec des résistances de shunt ou d'autres applications à faible tension de capteur.

L'isolement garantit un découplage fiable du circuit du capteur par rapport au circuit de traitement et empêche que des circuits de mesure liés s'influencent mutuellement. La séparation de protection à haut niveau d'isolement assure la protection du personnel et des appareils en aval contre les niveaux de tension inadmissibles.



► Caractéristiques techniques

Entrée

Signal d'entrée 0...100 mV

Résistance d'entrée $\geq 100 \text{ k}\Omega$

Surcharge $\leq 30 \text{ V}$

Sortie

Signal de sortie Tension 0 ... 5 V

Carte d'acquisition NI9205



NI9205

Carte d'acquisition comportant 16 entrées couplées à un Convertisseur Analogique Numérique, et compatible avec les automates de la gamme CompacRIO.

Les plages de tension d'entrée sont programmables au choix en 0-200 mV, 0-1 V, 0-5 V ou 0-10 V.

C SERIES ANALOG INPUT MODULE COMPARISON

Product Name	Signal Levels	Channels	Sample Rate	Simultaneous	Resolution	Connectivity
NI 9205	0 - 5 V	32 Single-Ended	250 kS/s	No	12-Bit	Spring-Terminal, DSUB

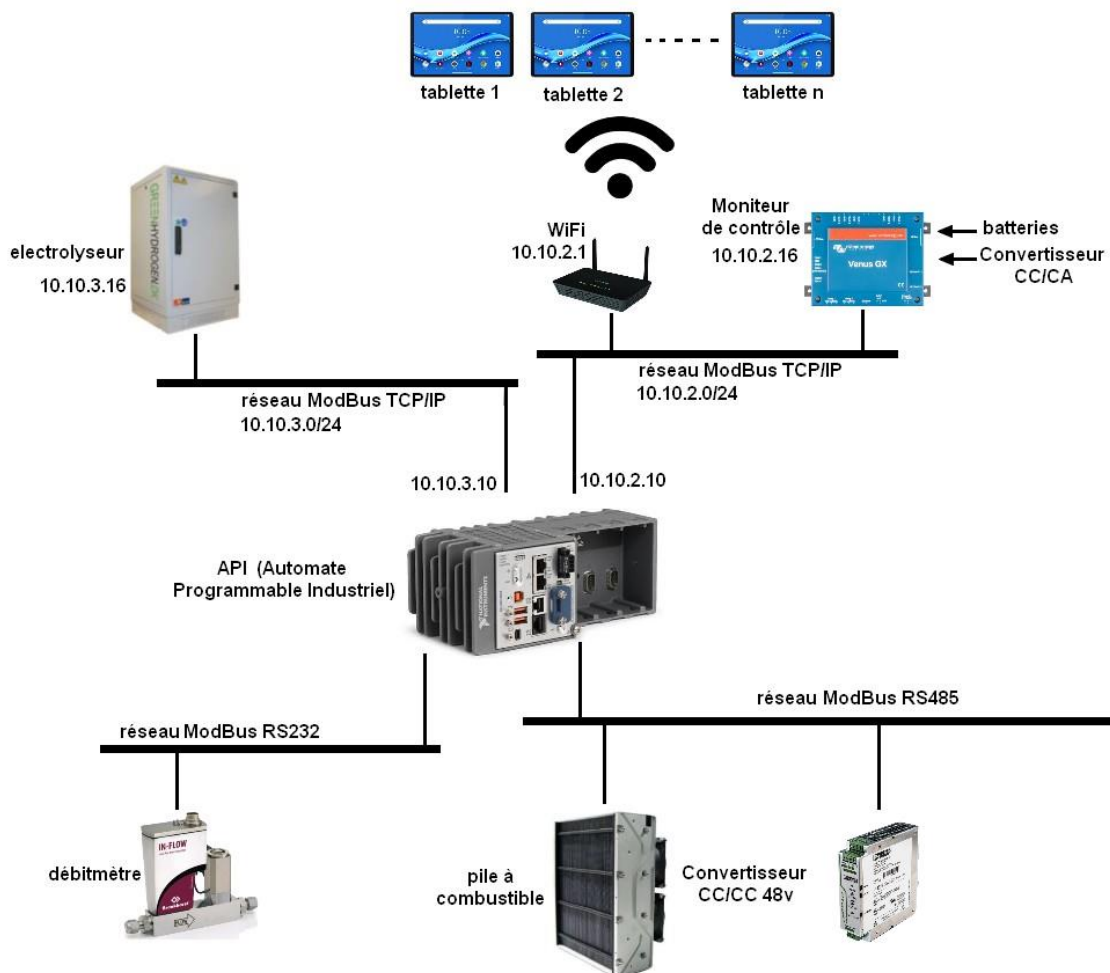
Convertisseurs DC/DC 48 V → 12 V et 48 V → 24 V



22-2D2IDSINPO1

Convertisseurs isolés 110 – 120W	Orion-Tr 48/12-9 (110W)	Orion-Tr 48/24-5 (120W)
Plage de tension d'Entrée	32-70 V	32-70 V
Tension de sortie nominale	12,2 V	24,2 V
Plage de réglage de la tension de sortie	10-15 V	20-30 V

DT2.3 – Synoptique des réseaux de communication



DT2.4 – MODBUS : généralités, protocole et trame

Généralités sur le protocole MODBUS

MODBUS est un protocole de communication couramment utilisé dans l'industrie, notamment pour dialoguer avec des automates programmables industriels (API) ou les équipements de types industriels.

Les communications MODBUS peuvent s'effectuer via les supports physiques suivants :

- liaisons séries asynchrones de type RS-422 ou RS-485 en fonctionnement maître/esclave ;
- liaisons Ethernet TCP/IP en fonctionnement client/serveur.

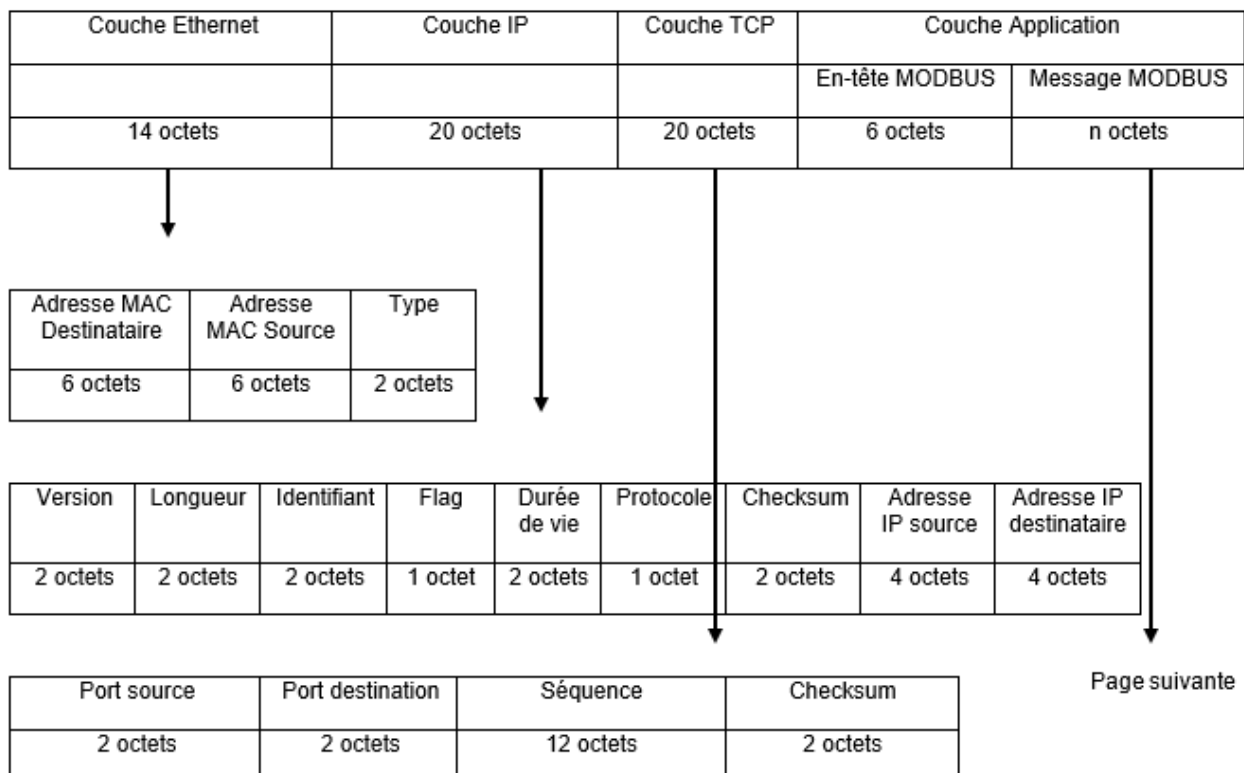
Protocole MODBUS / TCP

Lorsqu'il est implémenté sur une liaison Ethernet, le message MODBUS est encapsulé dans une trame TCP/IP. Le protocole MODBUS/TCP fonctionne en mode client/serveur comme ci-dessous : le client MODBUS effectue une requête et attend en retour une réponse du serveur MODBUS.

Chaque équipement MODBUS/TCP qu'il soit client ou serveur sera identifié par 2 informations :

- adresse IP ;
- port TCP = 502 (port réservé pour les applications MODBUS).

Trame MODBUS / TCP



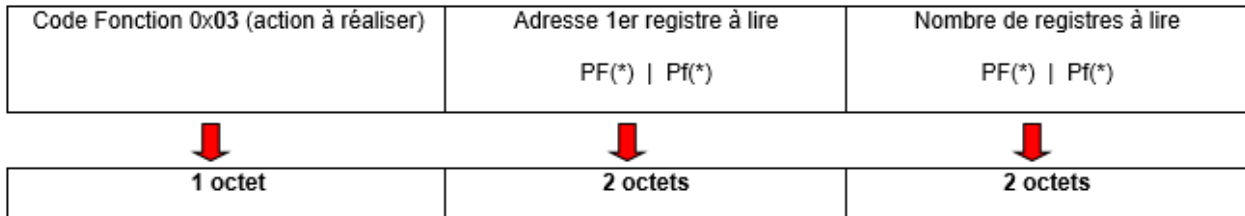
DT2.5 – Protocole MODBUS : exemple de formats de message

Exemple de formats de message MODBUS

1- Lecture de n registres de sortie consécutifs : code fonction 0x03

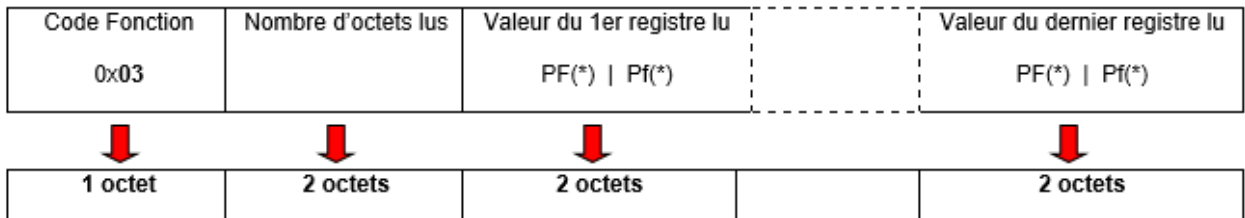
Cette fonction permet la lecture de n mots de sortie, définis dans la mémoire du serveur.

Format d'une requête du client



(*) PF = octet de poids fort (*) Pf = octet de poids faible

Format de la réponse du serveur

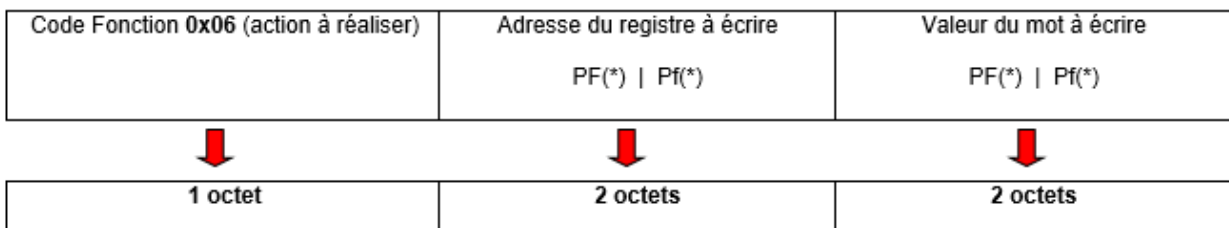


(*) PF = octet de poids fort (*) Pf = octet de poids faible

2- Ecriture d'un mot de sortie : code fonction 0x06

Cette fonction effectue l'écriture d'un mot de 16 bits de sortie, dans un registre défini dans la mémoire du serveur.

Format d'une requête du client



(*) PF = octet de poids fort (*) Pf = octet de poids faible

L'ensemble des informations contenues dans le message est exprimé en hexadécimal.

DT2.6 – Protocole MODBUS : codes fonction et registres de l'électrolyseur

Codes fonction

MODBUS offre 19 fonctions différentes. Elles se caractérisent par un code fonction sur un octet (en hexadécimal).

Extrait de la table des principaux codes fonction

Code hexadécimal	Nature de la fonction Modbus
0x01	Lecture de n bits de sortie consécutifs
0x02	Lecture de n bits d'entrée consécutifs
0x03	Lecture de n registres de sortie consécutifs
0x04	Lecture de n registres d'entrée consécutifs
0x05	Écriture de 1 bit de sortie
0x06	Écriture de 1 mot de sortie

Registres de l'électrolyseur

L'électrolyseur possède des registres accessibles soit en lecture, soit en écriture, accessibles depuis l'automate

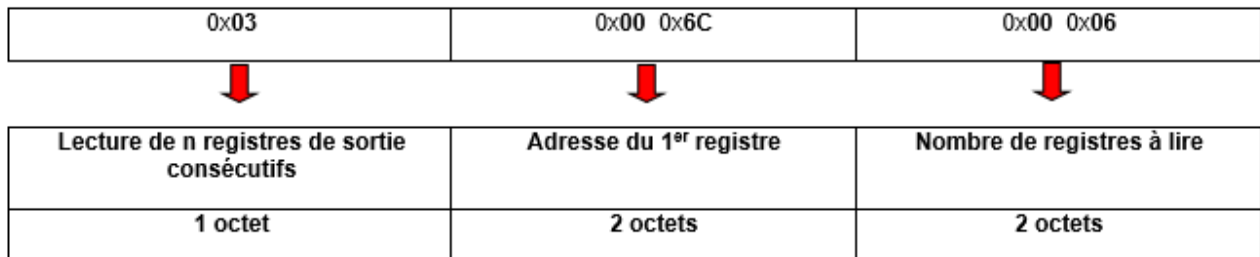
Adresse du registre (hexadécimal)	Fonction	Lecture / écriture
0x0067	Démarrage (1) ou arrêt (0) de l'électrolyseur	écriture
0x0068	Conductivité de l'eau (uS/cm)	lecture
0x0069	Tension d'alimentation (volts)	lecture
0x006A	Courant d'alimentation (ampères)	lecture
0x006B	Pression du ballon de stockage (bars)	lecture
0x006C à 0x007B	Numéro de série	lecture

DT2.7 – Protocole MODBUS : exemples

Exemple

Le client demande la lecture des registres 0x006C à 0x007B, soit 6 mots consécutifs de 2 octets chacun.

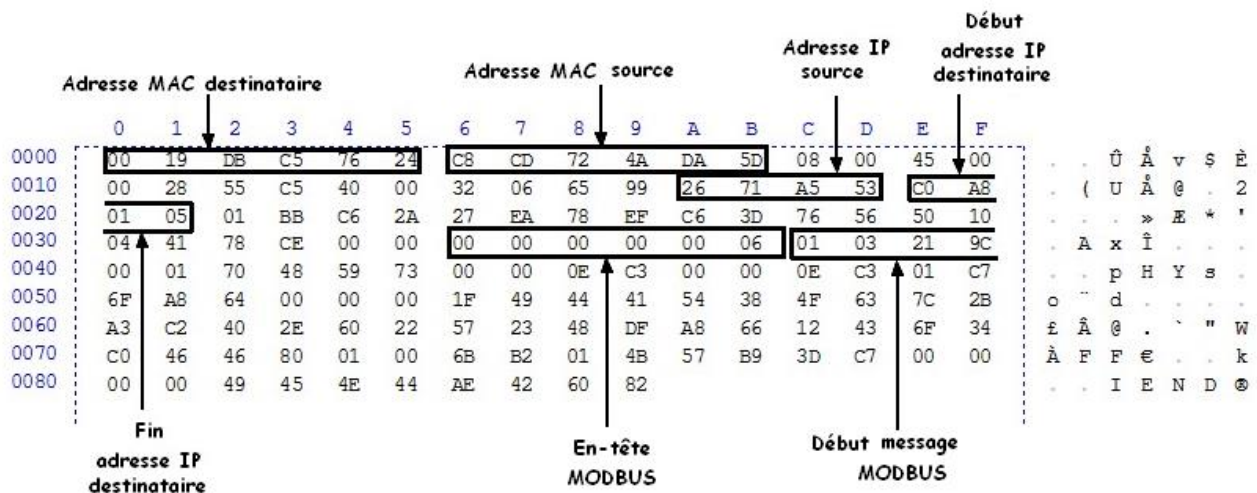
Requête du client



Réponse du serveur



Exemple de capture d'une trame MODBUS / TCP



DT2.8 – Affichage de la pression du réservoir sur la tablette



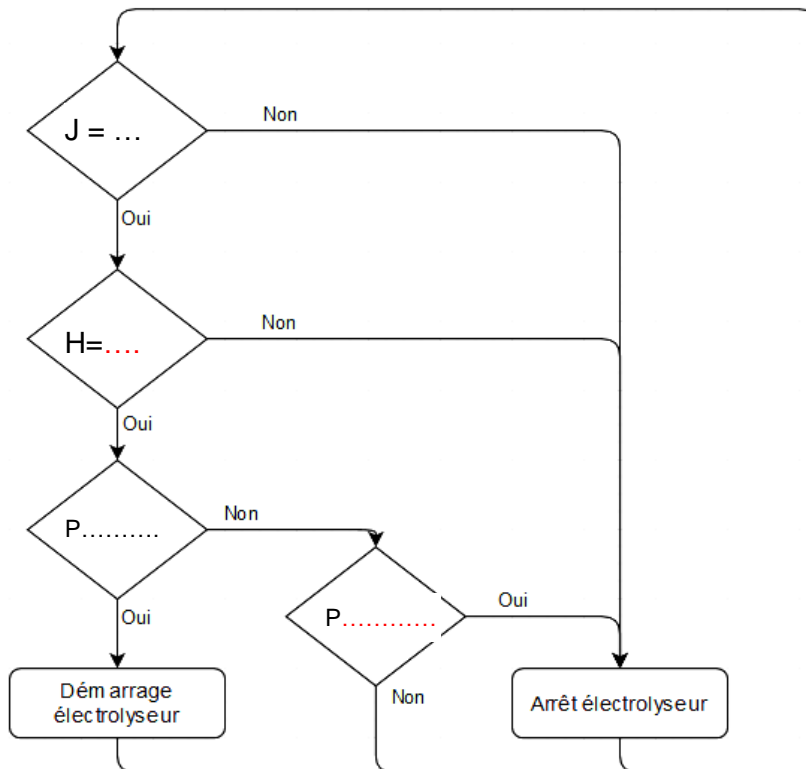
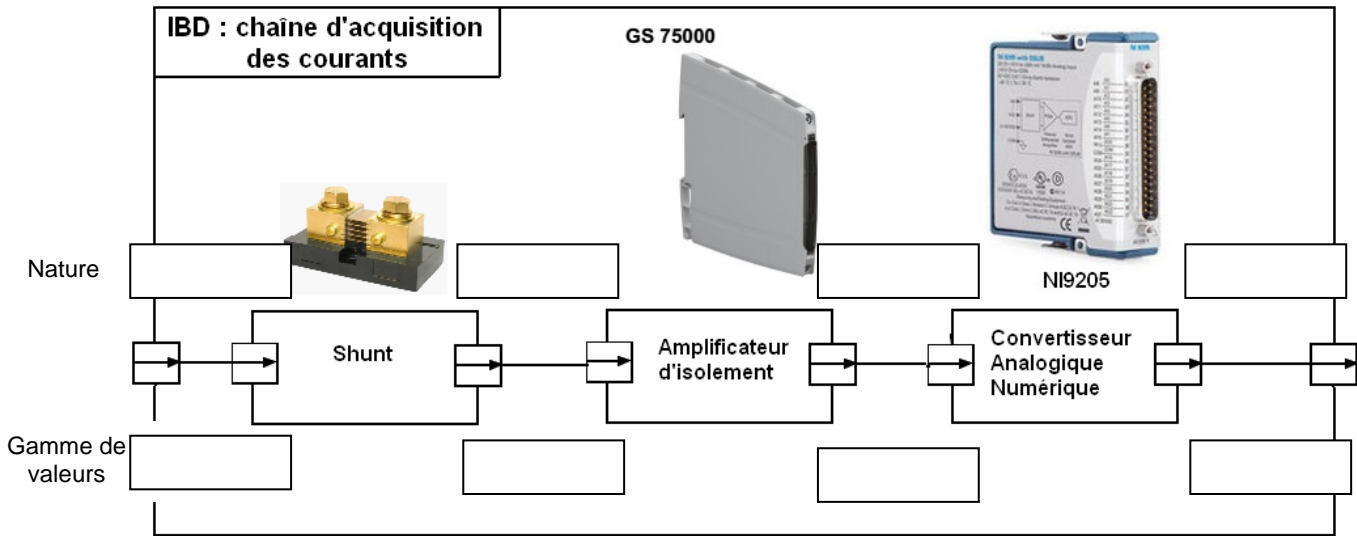
Réservoir composite

Pression

DT2.9 – Extrait de la liste des codes de couleur HTML commun

Couleur	Code hexadécimal	Code RVB
Blanc	#FFFFFF	255,255,255
Gris	#808080	128,128,128
Noir	#000000	0,0,0
Rouge	#FF0000	255,0,0
Jaune	#FFFF00	255,255,0

DR2.1 – Chaîne d'acquisition du courant des convertisseurs DC/DC 12 V et 24 V



DR2.2 – Listing partiel du code HTML de la jauge

```
<BODY>
  <div id="canvas">
    <canvas id="cvs1" width="200" height="200"></canvas>
    <script>
      $(document).ready(function ()
      {
        var gauge = new RGraph.Gauge({
          id: 'cvs1',
          min: 0,
          max: 30,
          value: row2[0],
        }).grow()

        gauge.canvas.onclick = function (e)
        {
          var value = gauge.getValue(e);

          if (typeof value === 'number') {
            gauge.value = value;
            gauge.grow();
          }
        }
      })
    </script>
  </div>
  <p> Réservoir composite </p>
  <p> Pression</p>

</BODY>
```

DR2.3 – Listing partiel de la feuille de style associée à la jauge

```
body
{
  background: #FFFFFF;
  color: white;
}
#canvas
{
  margin: center;
  text-align: center;
}
p
{
  text-align:center;
  color : #A9A9A9;
}
```

À compléter

À compléter

