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

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

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

BAC STI2D • CORRIGÉ DÉTAILLÉ

Bac STI2D

# Sciences et technologies de l’industrie et du développement durable - Ingénierie, innovation et développement durable - Énergies et environnement

**Session 2022** • Code sujet : **22-2D2IDEEPO1** • Durée : **4 heures**

## Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement


1. **Hydrogène et développement durable** (3 questions) — **Page 3**
2. **Stockage et production d’hydrogène dans la station MAHYTEC** (3 questions) — **Page 5**
3. **Rendement de la chaîne Power-to-H2-to-Power** (5 questions) — **Page 6**
4. **Autonomie et avantages du véhicule MobyPost à hydrogène** (5 questions) — **Page 9**
5. **Autonomie énergétique d’un refuge isolé grâce à l’hydrogène** (5 questions) — **Page 12**
6. **Mise en œuvre de la sécurité et détection des fuites d’hydrogène** (3 questions) — **Page 14**
7. **Vérification de la conception de la chaîne de traction du véhicule MOBYPOST** (7 questions) — **Page 16**
8. **Ce qu’il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ)** (Synthèse & Q&A Examen) — **Page 19**


**Sujet officiel (PDF) :** https://bacsti2d.fr/assets/annales/bac-sti2d/Ingénierie, innovation et développement durable/2022/Bac STI2D - Ingénierie, innovation et développement durable - Session 2022 - 18-Sujet.pdf

# 1. Hydrogène et développement durable

La Poste expérimente les quadricycles MobyPost à pile à combustible, alimentés par de l'hydrogène produit sur ses plateformes grâce à des panneaux photovoltaïques. L'étude porte sur la contribution de cette technologie à la réduction des émissions de CO2 et sur les filières possibles de production d'hydrogène.

**Question 1.1. Indiquer l'objectif mondial de réduction du CO2 à l'horizon 2050, puis expliquer en quoi la technologie hydrogène peut permettre à La Poste de réduire ses émissions de CO2.**

L'Accord de Paris fixe un objectif mondial de réduction des émissions de $CO_2$ de **60 % d'ici 2050**. Les véhicules MobyPost remplacent des deux-roues thermiques et n'émettent pas de $CO_2$ à l'usage : la pile à combustible produit de l'électricité et de l'eau à partir d'hydrogène et d'oxygène. Comme l'hydrogène est produit sur les plateformes grâce à l'électricité photovoltaïque, ses émissions associées sont limitées. Cette solution contribue à l'objectif propre à La Poste de réduire ses émissions de $CO_2$ de 20 % d'ici 2025.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Objectif mondial : réduire les émissions de $CO_2$ de 60 % d'ici 2050. L'hydrogène produit par photovoltaïque permet une mobilité sans émission de $CO_2$ à l'usage.

**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.**

En 2050, la barre du graphique indique **165 millions de tonnes par an** pour la mobilité. La demande totale se calcule en additionnant les six applications représentées : 75 + 68 + 83 + 165 + 120 + 68 = 579 millions de tonnes par an.

La part de la mobilité vaut donc $\frac{165}{579} \times 100 \approx 28{,}5\,\%$.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Mobilité : 165 Mt/an, soit environ 28,5 % de la demande totale de 579 Mt/an en 2050.

**Question 1.3. À partir du document technique, lister les sources d'énergie possibles pour produire de l'hydrogène, puis expliquer l'inconvénient lié à l'utilisation d'une énergie primaire carbonée.**

Le document présente l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables comme sources de production d'hydrogène. Parmi les voies renouvelables figurent le solaire, la géothermie et la biomasse, notamment par transformation thermochimique ou gazéification. Les procédés cités comprennent aussi l'électrolyse, le vaporeformage, l'oxydation partielle et le reformage autothermique.

Les procédés utilisant une énergie primaire carbonée, par exemple des hydrocarbures, émettent du $CO_2$ lors de la production. L'hydrogène obtenu peut donc avoir un bilan carbone défavorable, même si la pile à combustible n'émet pas de $CO_2$ à l'usage.

**✓ RÉPONSE À RETENIR**

Sources : énergie nucléaire et énergies renouvelables, dont solaire, géothermie et biomasse. Une source carbonée entraîne des émissions de $CO_2$ lors de la production d'hydrogène.

## 2. Stockage et production d’hydrogène dans la station MAHYTEC

Pour déployer la technologie hydrogène, La Poste installe des stations de production sur les plateformes d’Audincourt et de Lons-le-Saunier. Les questions portent sur les solutions de stockage proposées par MAHYTEC, leurs caractéristiques et l’équipement qui produit l’hydrogène.

**Question 2.1. Identifier les deux technologies de stockage de l’hydrogène proposées par la société ayant fabriqué la station MAHYTEC.**

DT1.4 distingue deux technologies : le stockage de l’hydrogène gazeux comprimé à haute pression et le stockage solide dans un hydrure métallique à basse pression.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Stockage gazeux comprimé et stockage solide sous forme d’hydrure métallique.

**Question 2.2. Pour chacune des deux technologies de stockage, relever le volume de stockage disponible et la pression de chaque réservoir.**

| Technologie | Volume indiqué | Pression indiquée |
|---|---|---|
| Hydrogène gazeux | Non indiqué | Non indiquée pour le réservoir |
| Hydrure métallique | 5 L pour les réservoirs à hydrure | 3 bar |

Le DT1.5 précise que la pression de sortie de l’électrolyseur est de 28 bar, mais ne donne pas le volume ni la pression du réservoir gazeux. Les 5 L et 3 bar sont associés aux réservoirs à hydrure.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Hydrure : volume indiqué de 5 L, à 3 bar. Réservoir gazeux : volume et pression non précisés.

**Question 2.3. Identifier l’équipement qui permet de produire de l’hydrogène à l’intérieur de la station MAHYTEC.**

L’hydrogène est produit par électrolyse de l’eau. Dans la station MAHYTEC, l’équipement qui réalise cette transformation est l’électrolyseur, comme indiqué dans le DT1.5.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> L’électrolyseur produit l’hydrogène par électrolyse de l’eau.

## 3. Rendement de la chaîne Power-to-H2-to-Power

L'étude porte sur une chaîne qui transforme de l'électricité en hydrogène, le stocke, puis le reconvertit en électricité au moyen d'une pile à combustible. Les pertes de l'électrolyseur, du détendeur, de la pile et des convertisseurs sont évaluées afin de déterminer le rendement global et les principales sources de pertes.

**Question 3.1. À partir de la fiche technique de l'électrolyseur HyProvide P1, relever sa capacité de production d'hydrogène et sa puissance, déduire l'énergie nécessaire à son fonctionnement durant une heure, puis déterminer l'énergie électrique nécessaire pour obtenir 1 kg d'hydrogène, en kW·h/kgH2.**

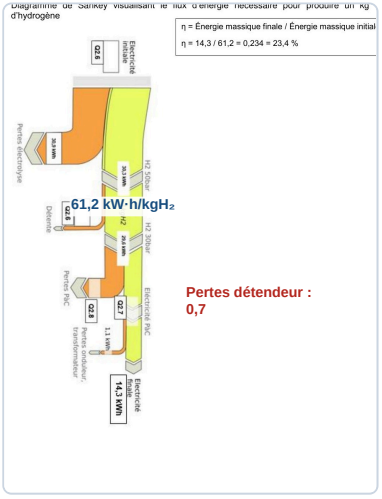
La fiche technique indique une puissance de 5,5 kW et une production de 0,08988 $kgH_2$ par heure. Pendant une heure, l'électrolyseur consomme donc 5,5 kW·h. Pour obtenir l'énergie nécessaire à la production de 1 kg d'hydrogène, on divise cette énergie par la masse produite : 5,5 ÷ 0,08988 = 61,19 $kW·h/kgH_2$. Après arrondi, l'énergie spécifique consommée est de 61,2 $kW·h/kgH_2$. La puissance correcte est bien 5,5 kW, valeur figurant sur la fiche technique DT1.6.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Puissance : 5,5 kW ; production : 0,08988 $kgH_2/h$ ; énergie spécifique : 61,2 $kW·h/kgH_2$.

**Question 3.2. En utilisant les valeurs données pour l'énergie de fonctionnement de l'électrolyseur et les pertes du détendeur, reporter ces deux valeurs dans les cadres correspondants du diagramme de Sankey.**

Le diagramme de Sankey doit recevoir les deux valeurs données dans l'énoncé, exprimées en kW·h par kilogramme d'hydrogène produit. Inscrire 61,2 $kW·h/kgH_2$ sur le flux énergétique consommé par l'électrolyseur, puis 0,7 $kW·h/kgH_2$ sur la branche correspondant aux pertes du détendeur placé en sortie. Il s'agit de valeurs à reporter directement, et non de valeurs à recalculer. Elles permettent de distinguer l'énergie d'entrée et la perte associée au détendeur.

**Valeurs à reporter sur le diagramme de Sankey**

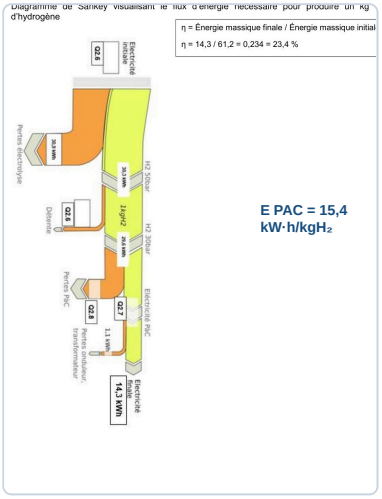



> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Électrolyseur : 61,2 $kW·h/kgH_2$ ; pertes du détendeur : 0,7 $kW·h/kgH_2$.

**Question 3.3.** **Relever sur la fiche technique de la pile à combustible AIRCELL 1000 ACS la consommation d'hydrogène nécessaire à la production d'un kW·h d'électricité. Exprimer cette consommation en kgH2/kW·h, en déduire l'énergie électrique produite par kg d'hydrogène consommé en kW·h/kgH2, puis reporter cette valeur sur le diagramme de Sankey.**

La fiche de la pile AIRCELL 1000 ACS indique une consommation de 65 $gH_2$ pour produire 1 kW·h d'électricité. En kilogrammes, cela donne 65 ÷ 1 000 = 0,065 $kgH_2$/kW·h. Ainsi, 0,065 kg d'hydrogène produisent 1 kW·h ; pour 1 kg, l'énergie produite est 1 ÷ 0,065 = 15,38 kW·h/$kgH_2$, soit 15,4 kW·h/$kgH_2$ après arrondi. Reporter cette dernière valeur sur le diagramme de Sankey.

**Énergie produite par la pile à combustible**



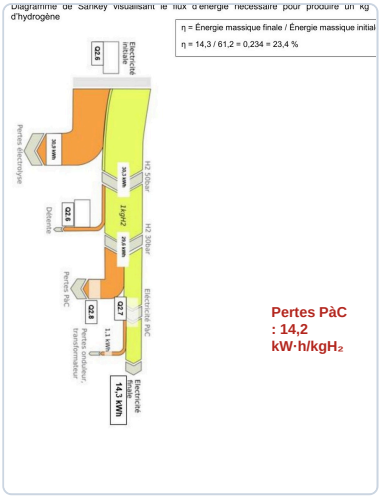

**✓ RÉPONSE À RETENIR**

$C_{PAC}$ = 0,065 $kgH_2$/kW·h ; $E_{PAC}$ = 15,4 kW·h/$kgH_2$.

**Question 3.4.** **Relever le rendement de la pile à combustible à 100 % de sa puissance nominale, vérifier que les pertes sont de 14,2 kW·h, puis reporter cette valeur sur le diagramme de Sankey.**

À 100 % de sa puissance nominale, le rendement de la pile à combustible est de 52 %. Pour 1 kg d'hydrogène consommé, la pile produit 1 ÷ 0,065 = 15,38 kW·h d'électricité. L'énergie reçue par la pile est donc 15,38 ÷ 0,52 = 29,59 kW·h/$kgH_2$. La perte vaut 29,59 − 15,38 = 14,21 kW·h/$kgH_2$, soit 14,2 kW·h/$kgH_2$ après arrondi. Reporter cette perte sur la branche correspondante du diagramme.

**Pertes de la pile à combustible**




> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Rendement de la PàC : 52 % ; pertes : 14,2 kW·h/kg$H_2$.

**Question 3.5. À l'aide de l'expression fournie et des rendements des convertisseurs, calculer le rendement global de la chaîne et vérifier sa concordance avec le diagramme de Sankey. Repérer sur ce diagramme les deux éléments responsables des pertes énergétiques et conclure.**

Avec $E_{PAC}$ = 1 ÷ 0,065 = 15,38 kW·h/kg$H_2$, l'énergie restituée après les convertisseurs est 15,38 × 0,98 × 0,95 = 14,32 kW·h/kg$H_2$. Le rendement global vaut donc 14,32 ÷ 61,2 = 23,4 %, en accord avec le diagramme de Sankey, qui donne 14,3 ÷ 61,2. Les pertes principales sont dues à l'électrolyseur et à la pile à combustible. Le détendeur et les convertisseurs occasionnent également des pertes, mais leur contribution est plus faible.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Rendement global : 23,4 %. Les pertes principales proviennent de l'électrolyseur et de la pile à combustible.

## 4. Autonomie et avantages du véhicule MobyPost à hydrogène

Cette partie compare l'énergie utile et l'autonomie de véhicules équivalents à batteries et à pile à combustible, à partir des caractéristiques du Renault Twizy et du MobyPost. Elle demande aussi d'estimer la masse disponible pour le stockage par hydrures et de relever les avantages du transport à hydrogène.

**Question 4.1. Déterminer, pour un cycle WLTP, l'énergie utile Eu à fournir à un Renault Twizy ou à un MobyPost pour 100 km, en MJ, puis convertir cette énergie en kW·h pour 100 km.**

Pour 100 km, la relation du cycle WLTP est **Eu = 19,2 × S·Cx + 0,82 × Cr × m + 0,011 × m**. Avec S·Cx = 0,65 m², Cr = 0,012 et m = 685 kg, on obtient 19,2 × 0,65 + 0,82 × 0,012 × 685 + 0,011 × 685 = 26,7554 MJ. La conversion utilise 1 kW·h = 3,6 MJ : il faut diviser l'énergie en MJ par 3,6. Les données communes aux deux véhicules conduisent au même résultat.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Eu = 26,76 MJ, soit 7,43 kW·h pour parcourir 100 km.

**Question 4.2. Compléter le document réponse avec les masses des différents constituants du véhicule à pile à combustible et en déduire la masse disponible pour les réservoirs à hydrures.**

| Constituant du véhicule à pile à combustible | Masse |
|---|---|
| Batteries | 65 kg |
| Réservoirs à hydrures | 52,9 kg |
| Pile à combustible et refroidissement | 10,3 kg |
| Convertisseurs DC/AC | Équipements identiques |
| Convertisseur DC/DC | 1,8 kg |
| Total | 130 kg |

La pile et son système de refroidissement pèsent 5,2 + 5,1 = 10,3 kg. Les convertisseurs DC/AC sont identiques dans les deux configurations : leur masse est déjà comprise dans le total de référence de 130 kg et ne modifie donc pas le bilan comparatif. On retranche de ce total les batteries, la pile et le convertisseur DC/DC pour obtenir la masse disponible pour les hydrures.

**DR1.2 complété : masses des constituants**

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

η = Énergie massique finale / Énergie massique initial

η = 14,3 / 61,2 = 0,234 = 23,4 %




**✓ RÉPONSE À RETENIR**

La masse disponible pour les réservoirs à hydrures est de 52,9 kg, pour un total embarqué de 130 kg.

**Question 4.3. À partir de la masse de réservoirs à hydrures déterminée à la question 4.2, calculer la masse d'hydrogène correspondante en gH2, en considérant négligeable la masse des réservoirs vides. En déduire l'énergie stockée dans les réservoirs et l'énergie utile disponible aux roues, en kW·h.**

La capacité de stockage est de 9 g d'$H_2$ par kilogramme d'hydrure. Pour 52,9 kg d'hydrures, la masse d'hydrogène vaut 52,9 × 9 = 476,1 g, soit 0,4761 kg. Avec un pouvoir énergétique de 33 kW·h/kg$H_2$, l'énergie stockée est 0,4761 × 33. L'énergie utile disponible aux roues correspond à 32 % de cette énergie, puisque le rendement global de la chaîne est η = 0,32.

**✓ RÉPONSE À RETENIR**

Hydrogène stocké : 476,1 g. Énergie stockée : 15,71 kW·h. Énergie utile aux roues : 5,03 kW·h.

**Question 4.4. En considérant une énergie utile de 7,5 kW·h pour 100 km et, pour le véhicule à pile à combustible, des contributions de 5 kW·h de la pile et de 4,6 kW·h des batteries, calculer son autonomie en kilomètres.**

Les énergies utiles disponibles sont de 5 kW·h pour la pile à combustible et de 4,6 kW·h pour les batteries, soit 9,6 kW·h au total. Pour 100 km, le véhicule nécessite 7,5 kW·h. L'autonomie s'obtient donc par proportion : (9,6 ÷ 7,5) × 100. Ce calcul suppose que toute l'énergie annoncée est utilisable pour la traction, conformément aux données de la question.

**✓ RÉPONSE À RETENIR**

L'autonomie calculée du véhicule à hydrogène est de 128 km, avec 9,6 kW·h d'énergie utile disponible.

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

Le document technique compare la solution hydrogène aux limites des véhicules électriques à batteries. Les avantages pour le transport sont :

- une autonomie potentiellement supérieure et moins limitée ;
- un ravitaillement plus rapide qu’une recharge de batteries ;
- un stockage embarqué moins pénalisant en masse et en volume ;
- une moindre sensibilité aux conditions climatiques ;
- à l’usage, un fonctionnement silencieux et sans émissions polluantes à l’échappement.

Le bilan environnemental global dépend toutefois de la manière dont l’hydrogène est produit.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Autonomie accrue, ravitaillement rapide, stockage moins pénalisant en masse et volume, moindre sensibilité au climat, fonctionnement silencieux et absence d’émissions polluantes à l’échappement.

## 5. Autonomie énergétique d’un refuge isolé grâce à l’hydrogène

Le refuge du Col du Palet, isolé du réseau électrique, dispose de panneaux photovoltaïques et de besoins énergétiques journaliers définis pour sa période d’ouverture. L’étude évalue les apports solaires, puis la capacité d’une chaîne de production et de stockage d’hydrogène à contribuer à l’autonomie du refuge.

**Question 5.1. Déterminer l’irradiation solaire minimale pendant la période d’ouverture, en kW·h·m-2 par jour. À partir des caractéristiques des panneaux photovoltaïques, définir l’énergie solaire minimale restituée en une journée, puis calculer l’énergie produite par le système en tenant compte du rendement global des constituants du local technique.**

Sur la période d’ouverture, l’irradiation minimale est celle de septembre : 4,03 kW·h·m$^{-2}$·jour$^{-1}$. Les panneaux ont une surface totale de 9,8 m² et un rendement de 20,4 %.

Ils récupèrent donc 4,03 × 9,8 × 0,204 = 8,06 kW·h par jour. Après le rendement de 70 % du local technique, l’énergie produite et restituée est de 8,06 × 0,70 = 5,64 kW·h par jour.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Irradiation minimale : 4,03 kW·h·m$^{-2}$·jour$^{-1}$. Énergie restituée après le local technique : 5,64 kW·h/jour.

**Question 5.2. Indiquer si les besoins journaliers sont couverts par les apports solaires. En cas de déficit d’ensoleillement pendant plusieurs jours consécutifs, conclure sur la pertinence d’augmenter la capacité de stockage de l’énergie.**

Au niveau d’ensoleillement minimal de la période d’ouverture, l’installation fournit environ 5,64 kW·h par jour, pour un besoin de 5,5 kW·h. Le bilan journalier est positif d’environ 0,14 kW·h : les besoins sont couverts, mais avec une faible marge.

En cas de plusieurs journées peu ensoleillées, augmenter la capacité des batteries est pertinent. Le stockage permettrait de conserver les surplus des journées favorables et de les utiliser pendant les périodes de déficit.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Oui, les besoins journaliers sont couverts de justesse. Augmenter la capacité des batteries aiderait à traverser plusieurs jours de faible ensoleillement.

**Question 5.3. Relever dans le document technique la masse totale d’hydrogène stockable dans les réservoirs et la consommation en hydrogène de la pile à combustible, puis en déduire l’énergie totale que la pile peut fournir.**

Les deux réservoirs contiennent au total 4,6 kg d’hydrogène. La pile consomme 60 g d’$H_2$ par kW·h, soit 0,06 kg par kW·h. L’énergie électrique qu’elle peut fournir avec les réservoirs pleins se calcule en divisant la masse d’hydrogène stockée par cette consommation : 4,6 ÷ 0,06 = 76,7 kW·h.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Stockage : 4,6 kg d'$H_2$. Énergie fournie par la pile : 76,7 kW·h.

**Question 5.4. Calculer l'énergie totale disponible que peut fournir la station, puis conclure sur l'atteinte de l'objectif d'autonomie énergétique du refuge.**

Le rendement global entre la pile à combustible et les usages est de 72 %. L'énergie disponible est donc 76,7 × 0,72 = 55,2 kW·h. Avec un besoin quotidien de 5,5 kW·h, l'autonomie vaut 55,2 ÷ 5,5, soit environ 10 jours. Cette durée est inférieure à l'objectif annoncé de 11 à 12 jours.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Énergie disponible : 55,2 kW·h, soit environ 10 jours d'autonomie. L'objectif de 11 à 12 jours n'est pas atteint.

**Question 5.5. Proposer une solution permettant d'atteindre l'autonomie énergétique du refuge.**

Pour garantir 12 jours d'autonomie, il faut fournir 12 × 5,5 = 66 kW·h aux usages. Avec un rendement global de 72 %, la pile doit produire 66 ÷ 0,72 kW·h. À 0,06 kg d'$H_2$ par kW·h, il faut stocker 5,5 kg d'hydrogène, soit environ 0,9 kg de plus que la capacité actuelle.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Augmenter le stockage d'hydrogène à environ 5,5 kg, soit 0,9 kg de plus, pour viser 12 jours d'autonomie.

## 6. Mise en œuvre de la sécurité et détection des fuites d’hydrogène

La partie étudie les risques liés à une fuite d’hydrogène dans la station MAHYTEC et la détection du gaz par une centrale de mesure MX32. Le candidat identifie les cellules et le détecteur adaptés, puis complète l’algorigramme de sécurité à partir des seuils d’alarme et de coupure.

### Partie A

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

L’hydrogène fuit facilement et, très léger, monte puis peut s’accumuler sous le plafond. Dans un espace confiné, une fuite peut créer un mélange inflammable avec l’air. Une source d’ignition peut alors provoquer un incendie ou une explosion. Une forte concentration peut aussi déplacer l’oxygène et entraîner un risque d’asphyxie. Ces dangers justifient la détection des fuites dans la station.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Risques : accumulation d’hydrogène inflammable, incendie ou explosion en présence d’une source d’ignition, et asphyxie par déplacement de l’oxygène.

**Question A.2. Préciser les deux types de cellule utilisables pour détecter l’hydrogène. Pour une cellule électrochimique, donner sa plage de mesure autorisée avec son unité, puis indiquer la référence compatible avec l’entrée 4-20 mA de la centrale MX32.**

Le tableau DT2.3 donne deux types de cellules pour détecter l’hydrogène : catalytique et électrochimique. La cellule électrochimique mesure de 0 à 2 000 ppm $H_2$. Comme la centrale MX32 reçoit un signal 4-20 mA, il faut retenir une version de détecteur à sortie linéaire 4-20 mA, compatible avec cette cellule électrochimique. La référence indiquée est OLCT 100 XP.

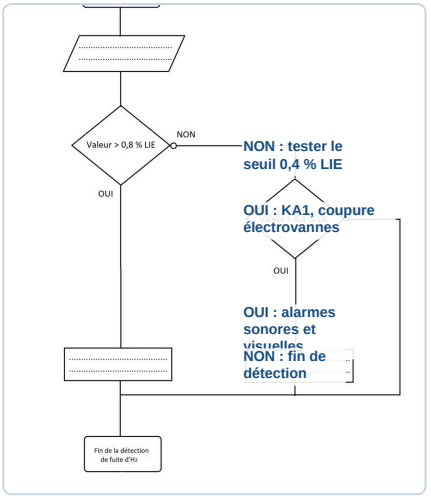
> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Cellules : catalytique ou électrochimique. Plage électrochimique : 0-2 000 ppm $H_2$. Référence compatible : OLCT 100 XP, sortie 4-20 mA.

**Question A.3. Compléter l’algorigramme de commande du dispositif de détection des fuites d’hydrogène en utilisant les seuils et les actions de sécurité indiqués dans le document technique.**

Suivre les deux seuils dans l’ordre indiqué par l’algorigramme :

1. Si la mesure dépasse 0,8 % LIE, activer le relais KA1 et couper l’alimentation des électrovannes, ce qui interrompt la circulation d’hydrogène.
2. Sinon, si elle dépasse 0,4 % LIE, déclencher les alarmes sonores et visuelles de la centrale MX32.
3. Sinon, ne déclencher aucune action et terminer la détection.

**Algorigramme complété**




**✓ RÉPONSE À RETENIR**

> 0,8 % LIE : KA1 activé, électrovannes coupées. De 0,4 à 0,8 % LIE inclus : alarmes sonores et visuelles.
≤ 0,4 % LIE : aucune action.

# 7. Vérification de la conception de la chaîne de traction du véhicule MOBYPOST

Cette partie vérifie le dimensionnement de la chaîne de traction du MOBYPOST pour trois situations de conduite, puis le choix des moteurs-roues et des batteries. Les tâches portent sur les efforts, couples, puissances, vitesses de rotation, autonomie, énergie embarquée et courant maximal en accélération.

## Partie B

**Question B.1. Compléter le document réponse pour les trois situations étudiées en déterminant les efforts, le couple et la puissance que doivent fournir les moteurs, ainsi que leur vitesse de rotation.**

Sur le plat, la force de pente est nulle. En rampe, elle vaut $F_{pente} = mg\sin(\alpha) = 550 \times 9,81 \times \sin(4,57^\circ) \approx 430$ N. On additionne les quatre efforts pour obtenir $F_{mot}$. Les couples et les vitesses de rotation sont ceux du document réponse ; la puissance se calcule avec $P = C\Omega$, où $\Omega = 2\pi N/60$.

| Grandeur | Situation 1 | Situation 2 | Situation 3 |
|---|---|---|---|
| Fpente (N) | 0 | 430 | 0 |
| Fmot (N) | 131 | 511 | 369 |
| Ωmot (rad·s⁻¹) | 41,89 | 29,22 | 29,22 |
| Pmot (kW) | 1,47 | 3,94 | 2,95 |

**DR2.2 complété**

| Situation | N°1 : Terrain plat et vitesse maximale | N°2 : Rampe de 8 % (α = 4,57 °) 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 |
| $F_{aéro}$ (N) | 54 | 27 | 12 |
| $F_{pente}$ (N) = m · g · sin(α) | ..... 0 N | ..... 430 N | 0 N |
| Rappel : g = 9,81 m·s⁻² | 131 N | 511 N | 0<br>369 N |
| $F_{accél}$ (N) | 0 | 0 | 305 |
| $F_{mot}$ (N) = $F_{aéro}$ + $F_{roul}$ + $F_{pente}$ + $F_{accél}$ | ..... | ..... | 369 |
| Couple à fournir par les moteurs | 41,89 | 29,22 | 29,22 |
| $C_{mot}$ (N·m) | 35<br>1,47 kW | 135<br>3,94 kW | 101<br>2,95 kW |
| Vitesse de rotation des | | | |

**✓ RÉPONSE À RETENIR**

Situations 1, 2 et 3 : Fmot = 131, 511 et 369 N ; Ωmot = 41,89, 29,22 et 29,22 rad·s⁻¹ ; Pmot = 1,47, 3,94 et 2,95 kW.

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

Au démarrage, le moteur électrique fournit un couple élevé même à très faible vitesse de rotation. Il peut donc mettre le véhicule en mouvement immédiatement, contrairement à un moteur thermique qui doit atteindre un régime adapté pour fournir sa puissance. C'est l'avantage principal attendu ici : une traction efficace dès le départ, particulièrement utile pour les arrêts et redémarrages fréquents d'une tournée de distribution.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le moteur électrique fournit un couple élevé dès le démarrage, même à faible vitesse.

**Question B.3. Sachant que le moteur-roue possède 14 pôles et que la fréquence du courant d'alimentation est de 50 Hz, déterminer sa vitesse de rotation nominale.**

La relation donnée est $n = 60f/p$, où $p$ désigne le nombre de paires de pôles. Un moteur de 14 pôles possède donc $14/2 = 7$ paires. Avec une fréquence d'alimentation de 50 Hz, la vitesse synchrone vaut $n = 60 \times 50/7$. Cette vitesse est la vitesse nominale théorique du moteur synchrone, exprimée en tours par minute.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Vitesse nominale : environ 429 tr·min$^{-1}$.

**Question B.4. Expliquer l'intérêt d'équiper le véhicule de deux moteurs-roues plutôt que d'un moteur électrique central couplé à un système de transmission du mouvement.**

Le moteur-roue évite les organes de transmission entre un moteur central et les roues. Il supprime ainsi les pertes énergétiques associées à ces systèmes et libère du volume dans le véhicule, disponible pour le stockage d'énergie. Les moteurs-roues permettent aussi de contrôler séparément le couple appliqué à chaque roue arrière. Ce pilotage indépendant rend possible un différentiel électrique.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Moins de pertes de transmission, davantage de volume disponible et un contrôle indépendant du couple sur chaque roue.

**Question B.5. Pour une autonomie visée de 60 km à 43 km·h-1, à vitesse stabilisée sur route horizontale, déterminer le temps de fonctionnement du véhicule. Avec une puissance demandée aux moteurs-roues de 4 kW, calculer l'énergie embarquée nécessaire en W·h.**

À vitesse stabilisée, le temps de parcours est la distance divisée par la vitesse : $t = 60/43 \approx 1,395$ h, soit environ 1 h 24 min. L'énergie mécanique demandée est le produit de la puissance par la durée : $E = 4 \times 1,395 \approx 5,58$ kW·h. La conversion en wattheures donne $5,58 \times 1000 \approx 5581$ W·h.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Temps : 1,395 h, soit environ 1 h 24 min. Énergie : environ 5 581 W·h.

**Question B.6. À partir du document technique, justifier le choix de batteries LiFeMgPO4 au regard des caractéristiques du système, puis déterminer leur masse en kg à partir de l'énergie massique fournie.**

La batterie LiFeMgPO4 convient aux fortes sollicitations de traction : le tableau indique une puissance massique de pointe élevée, de 2 000 à 4 500 W·kg⁻¹, et une durée de vie supérieure à 2 000 recharges. La masse se déduit de l'énergie nécessaire à la question B.5 divisée par l'énergie massique fournie dans l'énoncé.

| Donnée | Valeur |
|---|---|
| Énergie nécessaire | 5 581 W·h |
| Énergie massique | 89 W·h·kg⁻¹ |
| Masse de batterie | 5 581 / 89 ≈ 62,7 kg |

✓ RÉPONSE À RETENIR

Masse des batteries : environ 62,7 kg. Leur puissance de pointe et leur durée de vie conviennent à l'usage prévu.

**Question B.7. En considérant un rendement de 0,8 pour l'ensemble convertisseur DC/AC et machine, et une tension minimale de batterie de 42 V, déterminer le courant maximal appelé par le convertisseur lors de l'accélération de 0 à 30 km·h-1 en 15 s.**

En situation 3, la puissance mécanique des moteurs est de 2,95 kW. Avec un rendement de 0,8, la puissance électrique demandée à la batterie est $P_{élec} = 2950/0,8 = 3687,5$ W. À la tension minimale de 42 V, on applique la relation $I = P/U$ : le courant maximal est donc $3687,5/42$.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Courant maximal appelé : environ 87,8 A.

# Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2022)

**Bilan de l'épreuve :** Épreuve de spécialité Énergies et environnement du baccalauréat technologique, session 2022, code 22-2D2IDEEPO1, d'une durée de 4 heures, sans coefficient imprimé. Le sujet étudie l'hydrogène comme vecteur énergétique à travers les stations MAHYTEC, les véhicules MobyPost et un refuge isolé. Il évalue les calculs d'énergie et de rendement, l'analyse de systèmes, la sécurité et la chaîne de traction.

### Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Le rendement d'une chaîne énergétique est le rapport entre l'énergie utile finale et l'énergie initiale consommée.
- Pour un cycle WLTP, l'énergie utile en MJ s'estime avec Eu = 19,2·S·Cx + 0,82·Cr·m + 0,011·m.
- Pour un moteur synchrone, n = 60·f/p, avec n en tr·min-1, f en Hz et p le nombre de paires de pôles.
- La puissance électrique vérifie P = U·I ; avec un rendement η, la puissance absorbée vaut la puissance utile divisée par η.

### Points de vigilance & attentes du jury

- Respecter le choix imposé : traiter les parties 1, 2 et 4, ainsi qu'un seul choix entre la partie 3 et la partie 5.
- Distinguer énergie et puissance, et convertir les unités avant les calculs, notamment MJ, kW·h et W·h.
- Pour le diagramme de Sankey, reporter les valeurs dans les bons flux et comparer le rendement calculé au rendement graphique.
- Pour la sécurité hydrogène, distinguer les seuils d'alarme et de coupure des électrovannes dans l'algorigramme.

## Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

**Q : Comment calculer le rendement global de la chaîne Power-to-H2-to-Power ?**

Multiplier l'énergie électrique produite par kilogramme d'hydrogène par les rendements des convertisseurs, puis diviser par l'énergie nécessaire à l'électrolyseur par kilogramme. Exprimer les énergies dans des unités cohérentes et vérifier le résultat avec le diagramme de Sankey.

**Q : Comment utiliser la formule du cycle WLTP pour obtenir l'énergie utile ?**

Remplacer S·Cx, Cr et la masse totale roulante m par leurs valeurs du document technique dans Eu = 19,2·S·Cx + 0,82·Cr·m + 0,011·m. Le résultat est en MJ pour 100 km ; pour le convertir en kW·h, le diviser par 3,6.

**Q : Le candidat doit-il traiter les deux choix de la partie commune ?**

Non. La partie commune vaut 12 points et impose les parties 1, 2 et 4, ainsi qu'un seul choix entre les parties 3 et 5. La partie spécifique vaut 8 points ; les durées indicatives sont de 2 h 30 pour la partie commune et de 1 h 30 pour la partie spécifique.

**Q : Quels critères faut-il respecter pour l'algorigramme et les calculs de traction ?**

L'algorigramme doit associer correctement chaque seuil à l'action décrite dans le document technique. Pour la traction, conserver les unités, utiliser les données de chaque situation et appliquer le rendement indiqué lorsqu'on relie puissance mécanique et puissance électrique.

**Sujet officiel associé (PDF) :** https://bacsti2d.fr/assets/annales/bac-sti2d/Ingénierie, innovation et développement durable/2022/Bac STI2D - Ingénierie, innovation et développement durable - Session 2022 - 18-Sujet.pdf
**Ressources Bac STI2D :** Toutes les annales & corrigés • Fiches de révision complètes • Simulateur de notes d'examen

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

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

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

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

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