

Concours régional 2017 des Olympiades de la chimie

Epreuve de réflexion collaborative sur une problématique scientifique

Durée : 2h00 de préparation + 30 minutes de présentation et d'entretien devant le jury

Description de l'épreuve

L'épreuve comprend trois parties :

1. La première partie (**10 minutes**) est la présentation d'une problématique proposée dont il est possible de ne présenter que quelques aspects bien choisis et justifiés par les candidats. L'évaluation de cette partie prend en compte : la pertinence de la présentation par rapport à la problématique, les connaissances scientifiques, la culture générale, l'intérêt porté au monde qui les entoure et qui leur permet de s'engager dans un débat de type sociétal (environnemental, économique, risque...), l'argumentation scientifique et l'aptitude à communiquer.
2. La seconde partie (**5 minutes**) est une résolution de problème. Elle fait appel aux documents fournis, ainsi qu'à des connaissances supplémentaires car les données peuvent parfois être incomplètes. Les candidats devront préparer un exposé présentant l'élaboration de la stratégie de résolution, les choix opérés, la mise en œuvre de la démarche, le(s) résultat(s) chiffré(s) obtenu(s) et l'analyse critique qu'ils en font, voire les améliorations qu'ils pourraient apporter à leur résolution. L'initiative, l'autonomie, la mobilisation de connaissances et de savoir-faire, ainsi que l'esprit critique seront particulièrement recherchés chez les candidats.
3. La troisième partie (**quinze minutes**) est un entretien avec le jury qui permettra aux candidats d'argumenter sur leurs choix, de développer des arguments, de faire avancer éventuellement une démarche de résolution non aboutie, d'améliorer le modèle retenu pour la résolution, de corriger d'éventuelles erreurs et de répondre à des questions diverses liées à la problématique étudiée.

Préparation de la présentation

Les candidats sont installés dans une salle au sein de laquelle ils effectuent leur préparation et leur présentation. L'équipe dispose d'un tableau, d'un ordinateur relié à un vidéoprojecteur, d'une calculatrice simple. L'ordinateur comporte un logiciel de présentation (diaporama), un traitement de texte et un tableur.

Les candidats n'ont pas accès à internet et ne peuvent utiliser ni leur propre calculatrice ni leur téléphone portable.

Chaque candidat dispose d'un sujet, qui par ailleurs se trouve aussi sous forme numérisée sur l'ordinateur, de manière à pouvoir éventuellement être utilisé pour la présentation.

Au cours de la préparation, les candidats travaillent ensemble sur la problématique, la résolution de problème. Ils peuvent néanmoins, à certains moments, se répartir les tâches notamment pour ce qui concerne la présentation. Une planification du travail de l'équipe s'avère nécessaire pour gagner en efficacité.

Présentation devant le jury

L'équipe dispose de 15 minutes pour effectuer la présentation de son travail qui sera suivie de 15 minutes d'entretien.

Les trois candidats du groupe se répartissent **le temps de parole équitablement**, tant pour la présentation que lors de l'entretien.

Pour leur présentation, ils utilisent les supports de leur choix parmi ceux mis à disposition (papier, tableau, ordinateur...). Les formes de restitutions possibles ne se limitent pas à un texte rédigé, les communications scientifiques utilisant bien d'autres formes (courbes, schémas, graphes commentés, etc.). La durée relative aux deux parties de l'épreuve, indiquée sur le sujet doit être respectée.

La qualité de la présentation est évaluée.

A l'issue de la présentation, le jury pose des questions pendant 15 minutes sur les deux parties présentées.



Un tramway nommé écologique ? (©Qingdao Sifang), Le premier tramway propulsé grâce à des piles à combustible est sorti d'usine mi-mars dans l'est de la Chine. Dans ce pays préoccupé par la pollution atmosphérique, il constitue une voie ambitieuse parmi les transports du futur.

Hydrogène dans les transports

L'augmentation tendancielle des prix de l'essence et du gazole (malgré la baisse actuelle liée à la chute des cours du brut) incite les constructeurs automobiles à se tourner vers de nouveaux carburants.

Les notions de véhicule « propre » ou de véhicule « décarboné » sont souvent employées pour qualifier les moyens de transports n'ayant pas recours aux énergies fossiles (ou seulement partiellement).

Un véhicule à hydrogène n'émet ni CO₂ ni oxydes d'azotes lors de son utilisation. Toutefois, la production d'hydrogène est quant à elle souvent polluante (émission de CO₂) et toujours énergivore. Il est donc nécessaire de réaliser le bilan carbone complet de la filière afin de juger de la pertinence des modes de transport utilisant de l'hydrogène. Le secteur des transports offre un potentiel de développement majeur au vecteur hydrogène : celui-ci peut être utilisé directement dans des moteurs à combustion interne ou dans des piles à combustible. Des moteurs à combustion utilisant l'hydrogène équipent déjà des bus et des bennes à ordures ménagères sous forme d'hythane (mélange 20% hydrogène / 80% gaz naturel).

1. Problématique :

Les pouvoirs publics (Union européenne, Department of Energy aux États-Unis) cherchent à développer l'utilisation de l'hydrogène dans les transports dans le cadre de grands programmes de R&D avec réalisation et mise à l'épreuve de démonstrateurs.

Vous êtes conseiller auprès du Ministre des Transports, qui vous a chargé de rédiger un rapport sur la filière hydrogène dans les transports et la pertinence du développement de cette filière. A partir de vos connaissances et des documents fournis, présenter ce rapport qui devra prendre en compte tous les aspects de ce changement technologique.

2. Problème ouvert :

Aujourd'hui, un peu plus de 900 000 tonnes de dihydrogène sont produites et consommées chaque année en France, essentiellement pour deux applications industrielles : la chimie (production d'ammoniac) et le raffinage. Dans cette activité, on cherche à résoudre le problème suivant : « Quelle masse de dihydrogène devrait être produite chaque année en France pour remplacer les voitures à essence par des voitures utilisant une pile à combustible ? » Présenter une réponse chiffrée et argumentée à l'aide de vos connaissances et des documents fournis.

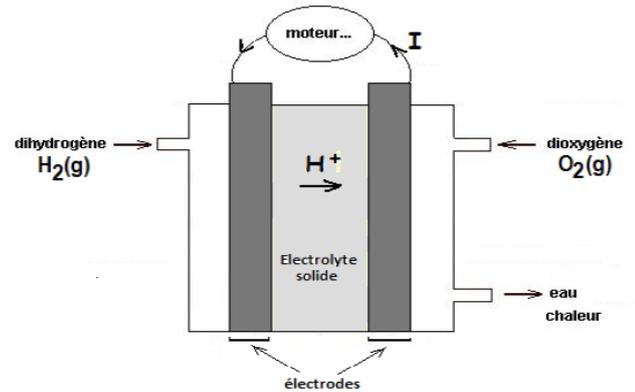
DOCUMENT 1 : la pile à combustible

Découverte en 1839 par Sir William Grove, la pile à combustible est basée sur la réaction d'oxydoréduction ayant lieu spontanément entre deux gaz : le dioxygène et le dihydrogène.

En effet, le dihydrogène est le réducteur du couple H^+/H_2 et le dioxygène l'oxydant du couple O_2/H_2O .

De façon générale, le fonctionnement électrochimique d'une cellule élémentaire de pile à combustible peut être schématisé selon le schéma ci-contre. Chaque cellule élémentaire est constituée de deux compartiments disjoints alimentés chacun en gaz réactifs dioxygène et dihydrogène. Les deux électrodes sont séparées par l'électrolyte, solution qui laisse circuler les ions.

Voir animation : <http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/animations-flash/energies/fonctionnement-de-la-pile-a-combustible>



DOCUMENT 2 : production de H_2 par vaporeformage :

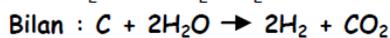
Le vaporeformage est un procédé de production du dihydrogène basé sur la dissociation de molécules carbonées en présence de vapeur d'eau et de chaleur. C'est le procédé qui est aujourd'hui le plus utilisé au niveau industriel.

On fait réagir le gaz naturel (méthane) sur de la vapeur d'eau à une température de l'ordre de $900^\circ C$ et à une pression de 20 à 30 bar, en présence d'un catalyseur au nickel. Après la réaction, on obtient un mélange de monoxyde de carbone et de dihydrogène. Le processus continue par la conversion du monoxyde de carbone qui réagit avec la vapeur d'eau pour former du dioxyde de carbone et du dihydrogène. Au total, pour une molécule de méthane, on obtient par ce procédé quatre molécules de dihydrogène. S'en suit une dernière étape de purification qui permet de récupérer le dihydrogène plus ou moins pur selon le procédé utilisé



DOCUMENT 3 : production de H_2 à partir de la biomasse :

Pour produire du dihydrogène à partir de la biomasse, il faut faire une transformation thermochimique. Les produits de la biomasse sont composés principalement de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. La première étape consiste donc à sécher la matière. Ensuite, on chauffe à $600^\circ C$, pour provoquer la dégradation thermique : c'est la thermolyse. Après cette étape, les produits sont à 70% gazeux, sous forme de CH_4 , H_2 , CO , CO_2 et quelques indésirables tels les goudrons. Les 30% solides restants sont essentiellement composés de carbone. On continue donc à élever la température jusqu'à $1000^\circ C$ pour gazéifier le carbone. On introduit ensuite de la vapeur d'eau qui, réagissant avec le carbone, produit du dihydrogène et du monoxyde de carbone. On convertit ensuite le monoxyde de carbone par une réaction avec de l'eau.



Après cette opération, on élève la température jusqu'à $1100^\circ C$ afin d'éliminer les acides et les goudrons. Enfin, on raffine le gaz de biomasse pour récupérer le dihydrogène.

La combustion de la biomasse restitue à l'atmosphère une quantité de dioxyde de carbone égale à celle absorbée par la biomasse pendant sa phase de croissance (phénomène appelé « photosynthèse »). La filière des biocombustibles peut donc être considérée comme neutre en termes d'émissions de gaz à effet de serre.

DOCUMENT 4 : production de H₂ par électrolyse de l'eau :

L'électrolyse de l'eau est un procédé qui permet de décomposer l'eau en dioxygène et dihydrogène gazeux sous l'action d'un courant électrique.

C'est un moyen de production de dihydrogène très pur qui peut se faire dans de petites unités réparties sur le territoire national.

Cependant, pour être rentable, ce procédé exige de pouvoir disposer de courant électrique à très faible coût car actuellement, ce mode de production coûte beaucoup plus cher que la production par reformage du gaz naturel.

Il souffre de plus d'un mauvais rendement global. L'électrolyse à haute température, qui est une amélioration de l'électrolyse classique, permettrait d'obtenir de meilleurs résultats.

Par ailleurs, des pistes de réflexion sont menées pour que l'électricité fournie provienne de sources d'énergies renouvelables telles que les panneaux photovoltaïques par exemple.

DOCUMENT 5 : étude comparative des coûts de production du dihydrogène.

procédé	Coût de la matière première (€/GJ)	Coût de production de l'hydrogène (€/GJ)	Coût final de l'hydrogène avec l'infrastructure (€/GJ)
Référence : essence (2003)	2,5	Essence : 6	Essence : 7
Reformage du gaz naturel	3	5-8	22-30
Gazéification du charbon	1,2	13-16	32-37
Gazéification de la biomasse	2,4	17-22	33-40
électrolyse	14	20-25	35-40

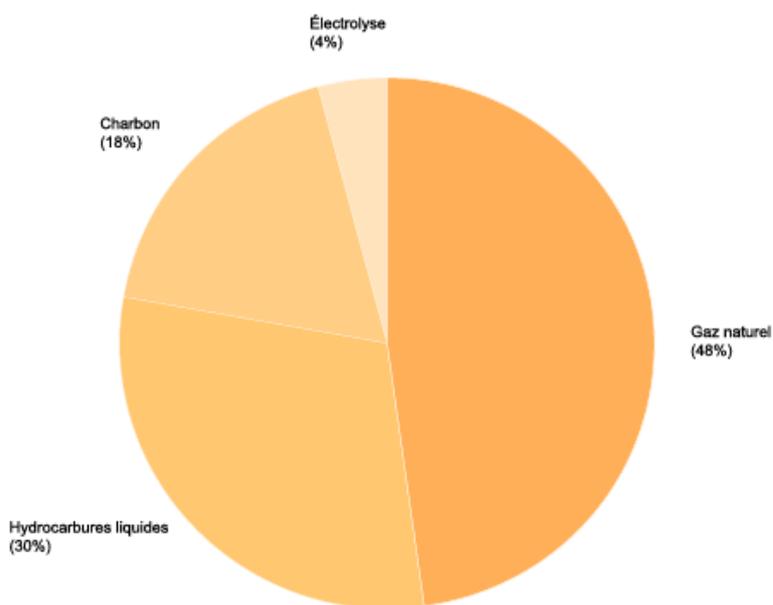
Document 6 :

Différents procédés de production

L'hydrogène n'est pas disponible à l'état naturel. Il est produit par la séparation d'éléments chimiques dont l'atome H est un composant et par la mobilisation d'une source d'énergie.

La plus grande partie de l'hydrogène est actuellement produite à partir de gaz naturel et est utilisée par les industriels pour ses propriétés chimiques, en particulier dans les usines d'ammoniac (50% de la consommation mondiale) et dans les raffineries de pétrole (désulfuration d'essence et de gazole, production de méthanol, etc.).

Près de 95%⁽²⁾ de la production d'hydrogène est encore issue d'énergies fossiles (gaz naturel, pétrole, charbon). On appelle « hydrogène bas carbone » l'hydrogène produit grâce à une source d'énergie renouvelable ou nucléaire (ou par vaporeformage de gaz naturel si le procédé est associé à une unité de captage, stockage et valorisation du CO₂).



Document 7 : Evolution du parc automobile français entre 2008 et 2012

En France, il existe deux types de carburant pour les voitures particulières : l'essence et le gasoil (ou gazole).

- 40% des automobilistes utilisent l'essence qui est un mélange d'hydrocarbures légers et d'additifs. Pour être commercialisé, ce mélange doit vérifier des contraintes très strictes sur les propriétés physiques (masse volumique proche de $0,75 \text{ kg.L}^{-1}$), énergétiques (indice d'octane) et chimiques (limitation des teneurs en certains composants).
- 60% des automobilistes français utilisent du gasoil (on parle alors de véhicule diesel). Il s'agit d'un mélange d'hydrocarbures lourds et d'additifs. L'essence et le gasoil possèdent des propriétés physiques, chimiques et énergétiques différentes.

	2008	2009	2010	2011	2012
Voitures particulières (en milliers)	30775	30950	31175	31425	31575
dont essence	14437	13844	13363	12910	12454
dont diesel	16338	17106	17812	18515	19121
Parcours annuel moyen (en km)	12749	12758	12769	12692	12661
Consommation moyenne (en L/100 km)					
Véhicule à essence	7,8	7,8	7,8	7,7	7,7
Véhicule diesel	6,6	6,6	6,5	6,5	6,5

Document 8 : Principe de fonctionnement d'un moteur à essence

Dans un moteur, c'est la réaction de combustion de l'essence qui dégage l'énergie nécessaire au fonctionnement. Cette réaction exothermique est caractérisée par son Pouvoir Calorifique, PC, qui est la quantité d'énergie libérée par la combustion complète d'une masse d'un kg. Le pouvoir calorifique moyen de l'essence est $PC=43 \times 10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$. Toute l'énergie libérée n'est pas convertie en énergie mécanique et le rendement d'un moteur à essence dépend des conditions d'utilisation du véhicule. On peut considérer que le rendement moyen d'un moteur à essence est de l'ordre de 25%.

Document 9 : Vidéo « De l'hydrogène stocké sous forme solide »

Document 10 : Vidéo « Une approche bio-inspirée pour produire de l'hydrogène »