

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2015

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 heures 30
Coefficient : 8

L'usage de la calculatrice est autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Le sujet comporte trois exercices présentés sur 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10, y compris celle-ci.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

EXERCICE I. LA VITAMINE C (9 points)

La vitamine C est une espèce chimique hydrosoluble, dotée de propriétés antioxydantes. L'organisme humain la puise dans les aliments tels que les fruits et légumes. Une carence prolongée provoque des pathologies qui conduisent le médecin à prescrire un complément sous forme de comprimés.

Dans cet exercice, on étudie la molécule de vitamine C dans une première partie, puis on vérifie l'indication apposée sur l'emballage d'une boîte de comprimés de vitamine C dans le cadre d'un contrôle.

Extrait de l'emballage de la boîte de comprimés de vitamine C

La vitamine C est commercialisée sous forme de comprimés à croquer.
Composition d'un comprimé de « Vitamine C UPSA® » :

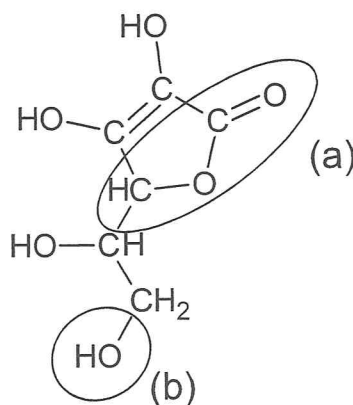
- Acide ascorbique : 250 mg
- Ascorbate de sodium : 285 mg
- Excipients : sucres, arômes artificiels

Données :

- l'acide ascorbique, de formule brute $C_6H_8O_6$ sera noté HA et sa base conjuguée A^- ;
- $pK_A (HA/A^-) = 4,1$ à $37^\circ C$;
- masse molaire de l'acide ascorbique $M = 176,1 \text{ g.mol}^{-1}$;
- masse molaire de l'ascorbate de sodium $M = 198,1 \text{ g.mol}^{-1}$;
- conductivités molaires ioniques à $25^\circ C$:
 $\lambda(Na^+) = 5,01 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$; $\lambda(HO^-) = 19,9 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$; $\lambda(A^-) = 3,42 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$;
- pH de l'estomac environ égal à 1,5 ;
- pH de la salive compris entre 5,5 et 6,1.

1. Étude de la molécule de l'acide ascorbique

La molécule d'acide ascorbique est représentée ci-dessous :



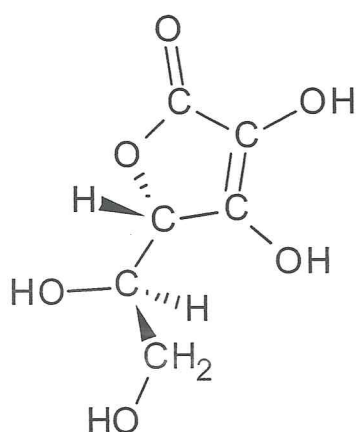
1.1. Nommer les familles associées aux groupes caractéristiques (a) et (b) entourés sur la représentation de la molécule d'acide ascorbique.

1.2. La molécule d'acide ascorbique possède des stéréoisomères.

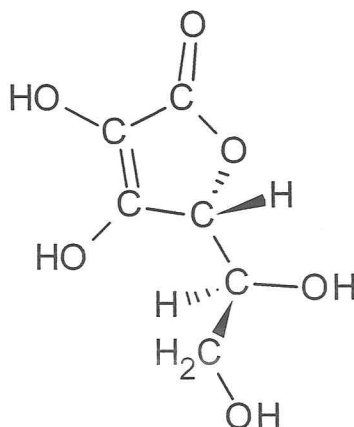
1.2.1. Recopier la formule de la molécule puis repérer le ou les atomes de carbone asymétriques par un astérisque en justifiant votre choix.

1.2.2. Trois stéréoisomères de la molécule d'acide ascorbique sont représentés ci-dessous.

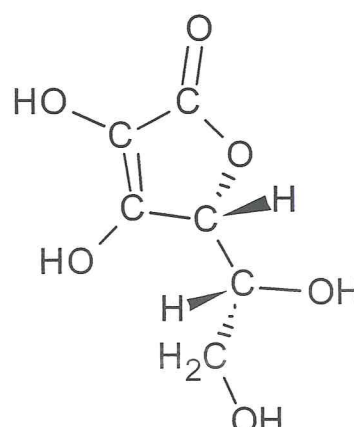
Reconnaître si ces représentations sont identiques, énantiomères ou diastéréoisomères.



représentation 1

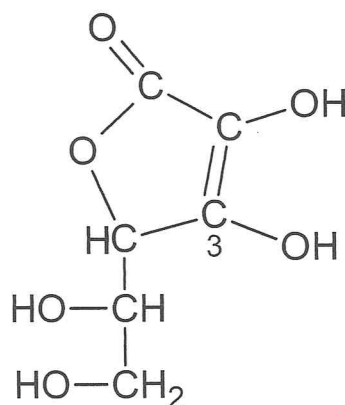


représentation 2



représentation 3

1.3. Les propriétés acido-basiques de cette molécule sont dues à l'hydrogène porté par l'oxygène du groupe caractéristique associé à l'atome de carbone en position 3.



Représenter l'ion ascorbate, base conjuguée de l'acide ascorbique.

1.4. Sous quelle forme la substance active ingérée lors de la prise du comprimé de vitamine C se trouve-t-elle sur la langue ? Dans l'estomac ? Justifier par une méthode de votre choix.

2. Vérification de la masse d'acide ascorbique dans un comprimé

On souhaite vérifier l'indication portée sur la boîte concernant la masse d'acide ascorbique présente dans un comprimé, à l'aide d'un titrage acidobasique suivi par conductimétrie.

Une solution aqueuse S_A de volume $V = 200,0$ mL est préparée à partir d'un comprimé entier.

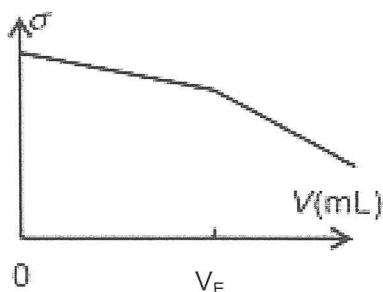
On prélève un volume $V_A = (20,0 \pm 0,1)$ mL de la solution aqueuse S_A que l'on titre par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$).

2.1. Rédiger le protocole de préparation de la solution aqueuse S_A .

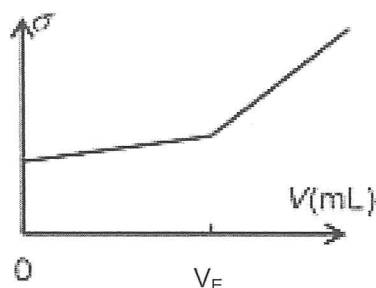
2.2. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

2.3. Au laboratoire, on dispose d'une solution aqueuse étalonée d'hydroxyde de sodium de concentration molaire $C_B = 0,100$ mol.L⁻¹. On souhaite obtenir un volume V_E à l'équivalence proche de 10 mL. La solution aqueuse d'hydroxyde de sodium disponible au laboratoire convient-elle ? Si non, que peut-on faire pour obtenir l'ordre de grandeur du volume à l'équivalence souhaité ?

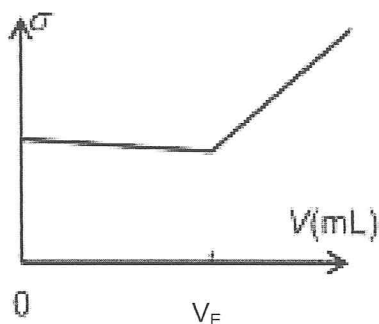
2.4. Parmi les quatre graphiques suivants, lequel représente l'allure de l'évolution de la conductivité σ du mélange en fonction du volume V de solution d'hydroxyde de sodium versé lors de ce titrage ? Justifier.



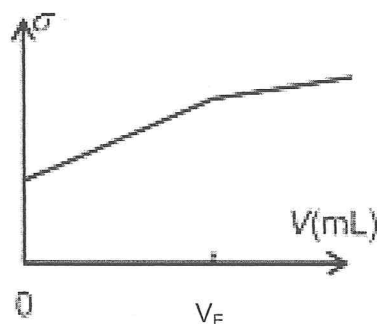
Représentation 1



Représentation 2



Représentation 3



Représentation 4

2.5. Avec une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$) de concentration molaire $C_B = (1,50 \pm 0,02) \times 10^{-2}$ mol.L⁻¹, le volume versé à l'équivalence vaut $(9,1 \pm 0,2)$ mL. On en déduit que la masse expérimentale d'acide ascorbique du comprimé est égale à 245 mg.

2.5.1. Déterminer l'incertitude relative $\frac{U(m_{\text{exp}})}{m_{\text{exp}}}$ dont on admet que, dans les conditions de l'expérience, la valeur est donnée par la relation :

$$\left(\frac{U(m_{\text{exp}})}{m_{\text{exp}}} \right)^2 = \left(\frac{U(V_E)}{V_E} \right)^2 + \left(\frac{U(C_B)}{C_B} \right)^2$$

2.5.2. Le résultat expérimental est-il en accord avec la mention portée sur la boîte de comprimés de vitamine C ? Interpréter l'écart éventuellement obtenu.

3. Vérification de la masse d'ion ascorbate dans un comprimé

3.1. Pour vérifier par titrage la masse d'ascorbate de sodium contenue dans un comprimé, que faut-il choisir comme réactif titrant ?

- A- une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$) ;
- B- une solution aqueuse d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$) ;
- C- une solution aqueuse de chlorure de sodium ($\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$).

Choisir la ou les propositions exactes en justifiant votre choix.

3.2. La masse d'ascorbate de sodium trouvée après titrage correspond à celle indiquée sur l'emballage. L'étiquette précise également que la masse totale des deux espèces conjuguées est équivalente à 500 mg d'acide ascorbique. Vérifier cette information par un calcul.

3.3. Quel intérêt présente cette formulation du comprimé de vitamine C par rapport à un comprimé qui contiendrait uniquement 500 mg d'acide ascorbique ?

EXERCICE II. TRANSFERT THERMIQUE LORS DU CHAUFFAGE D'UNE PISCINE (6 points)

Parmi les divers équipements publics ou privés, les piscines sont souvent considérées comme énergivores. Pourtant, de nombreuses solutions techniques permettent d'optimiser la consommation d'énergie d'une piscine en agissant sur sa forme, son orientation et sur la source de production d'énergie nécessaire à son chauffage. Les pompes à chaleur sont des dispositifs désormais préconisés pour le chauffage de ces bassins d'eau.

L'objectif de cet exercice est de répondre à la question suivante : en quoi l'utilisation d'une pompe à chaleur contribue-t-elle à apporter une solution au défi énergétique ?

La pompe à chaleur

La pompe à chaleur (PAC) est un équipement de chauffage thermodynamique à énergie renouvelable. La PAC transfère de l'énergie depuis une source renouvelable, appelée source froide, telle que l'air extérieur, l'eau (d'une nappe souterraine ou de la mer), ou la terre vers un autre milieu (un bâtiment, un logement, un bassin d'eau, etc.).

Pour exploiter ces différents gisements d'énergie renouvelable, une source d'énergie, généralement électrique, est toutefois nécessaire : aussi les PAC consomment-elles de l'électricité.

Le coefficient de performance η de la PAC est plus ou moins élevé selon la technologie, la source renouvelable ou l'usage de la PAC. Plus le coefficient de performance est élevé, plus la quantité d'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner la pompe est faible par rapport à la quantité d'énergie renouvelable prélevée au milieu.

Le coefficient de performance η d'une pompe à chaleur traduit donc la performance énergétique de celle-ci. Il est défini par le rapport de l'énergie utile fournie par la PAC sur l'énergie électrique requise pour son fonctionnement. La valeur de ce coefficient η est généralement comprise entre 2,5 et 5. Elle dépend de la conception et du type de PAC, mais aussi de la température extérieure de la source froide.

d'après : www.ademe.fr

Schéma énergétique de la pompe à chaleur air / eau

La pompe à chaleur air / eau est une machine thermique ditherme qui fonctionne entre une source de température variable au cours du temps et une source de température quasi constante, tout en recevant de l'énergie électrique. La PAC fonctionne comme une machine cyclique. Au terme d'un cycle, la variation d'énergie interne ΔU du système {fluide frigorigène} contenu dans la PAC est nulle.

Des transferts énergétiques Q_f , Q_c et W_e sont mis en jeu au cours d'un cycle de la PAC, avec :

- Q_f énergie transférée de l'air extérieur (source froide dans ce dispositif) au fluide de la PAC ; cette énergie est renouvelable et gratuite ;
- Q_c énergie transférée par le fluide de la PAC à l'eau du bassin de la piscine ;
- W_e énergie électrique consommée par la PAC et transférée intégralement au fluide de la PAC sous une autre forme.

Les grandeurs Q_f , Q_c et W_e sont positives.

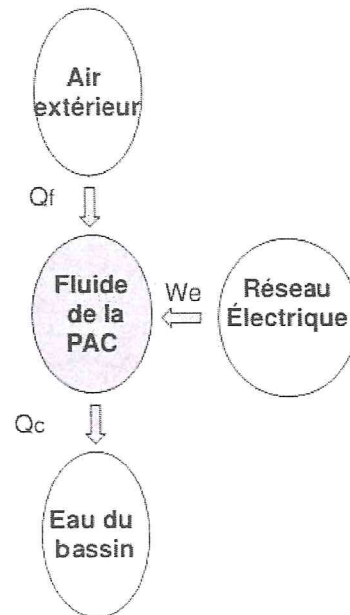


Figure 1. Schéma énergétique de la pompe à chaleur d'une piscine

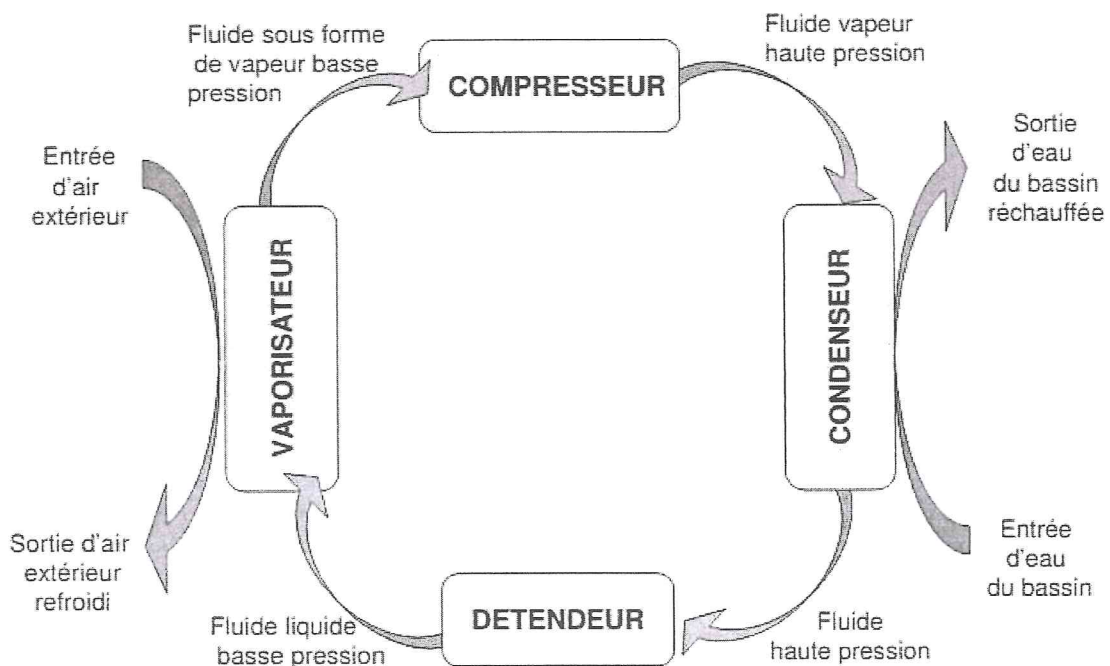


Figure 2. Cycle du fluide frigorigène dans la PAC

Données :

- système étudié : le fluide frigorigène de la PAC ;
- capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$;
- masse volumique de l'eau liquide : $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ dans les conditions de l'étude.

1. Fonctionnement global de la pompe à chaleur

1.1. Parmi les transferts d'énergie Q_c , Q_f et W_e , indiquer ceux qui correspondent à une énergie reçue par le fluide de la PAC et ceux qui correspondent à de l'énergie cédée par le fluide de la PAC.

1.2. Montrer que pour un cycle du fluide, on a l'égalité $Q_c = Q_f + W_e$.

2. Étude du fluide frigorigène

Le fluide frigorigène est un mélange choisi pour ses propriétés thermiques. Il circule dans des tuyaux à l'intérieur de la PAC et n'est donc jamais en contact direct avec l'air extérieur.

2.1. Nommer le changement d'état que subit le fluide frigorigène contenu dans la PAC lors de son passage dans le vaporisateur. Lors de ce changement d'état, le fluide frigorigène a-t-il reçu ou cédé de l'énergie ?

2.2. Quels sont le ou les modes de transfert d'énergie entre l'air extérieur et le fluide frigorigène ?

3. Chauffage de l'eau du bassin d'une piscine

Après remplissage d'une piscine de volume $V = 560 \text{ m}^3$ avec une eau initialement prise à une température de 17°C , on souhaite augmenter la température de l'eau de piscine jusqu'à 28°C . On considérera que le transfert thermique depuis la PAC sert intégralement à chauffer l'eau de la piscine sans déperdition.

3.1. Calculer la variation d'énergie interne de l'eau du bassin ΔU_{eau} quand la température de l'eau a atteint 28°C . En déduire la valeur de Q_c , énergie transférée par le fluide de la PAC à l'eau du bassin de la piscine.

3.2. On a mesuré l'énergie électrique W_e consommée (et facturée) pendant ce transfert et trouvé une valeur égale à $W_e = 8,0 \times 10^9 \text{ J}$. Déterminer la valeur de Q_f , l'énergie transférée par l'air extérieur.

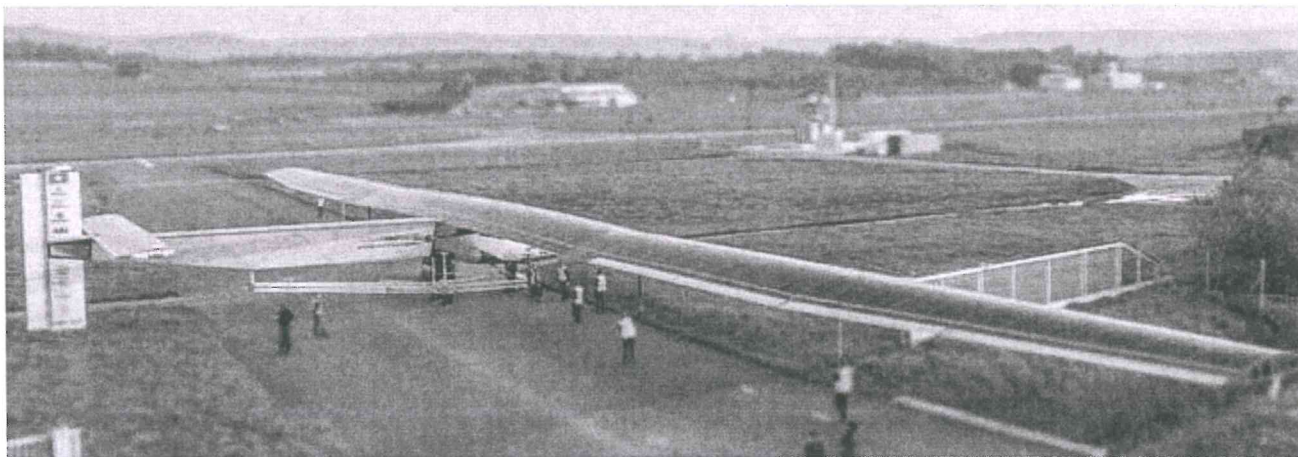
3.3. Exprimer, puis calculer le coefficient de performance η de la PAC.

4. Enjeux énergétiques

4.1. Montrer qu'avec une PAC de coefficient de performance $\eta = 3,0$, on réalise 67 % d'économie sur sa facture en énergie électrique par rapport à un chauffage direct utilisant, par exemple, une résistance électrique.

4.2. En conclusion, répondre en quelques lignes à la question suivante : en quoi l'utilisation de pompes à chaleur apporte-t-elle une réponse à des problématiques énergétiques contemporaines ?

EXERCICE III. DES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES POUR UN TOUR DU MONDE EN AVION (5 POINTS)



« Voler sans carburant, mais avec les rayons solaires comme unique source d'énergie de propulsion, jusqu'à cinq jours et cinq nuits de suite, avec un seul pilote à bord, le tout pour tenter de réaliser un tour du monde par étapes : c'est l'objectif du Solar Impulse 2 (SI2). Cet avion solaire d'une envergure plus grande que celle d'un Boeing 747, mais léger comme une grosse voiture, imaginé par l'aérostier-psychiatre suisse Bertrand Piccard et l'ingénieur-pilote militaire André Borschberg, a été dévoilé, mercredi 9 avril, sur la base militaire de Payerne, en Suisse. »

d'après un article du 9 avril 2014 édité sur Le Monde.fr

Ce défi de tour du monde est prévu pour le premier semestre 2015. Il implique l'optimisation de nouvelles technologies et une réduction drastique de la consommation d'énergie.

Vérifier que le nombre de cellules photovoltaïques sur Solar Impulse 2 et la capacité de stockage des batteries sont suffisants pour lui permettre une autonomie de 24 heures.
Vous rédigerez une réponse argumentée, en détaillant votre démarche.

L'analyse des données ainsi que la démarche suivie seront évaluées et nécessitent d'être correctement présentées. Les calculs numériques seront menés à leur terme. Il est aussi nécessaire d'apporter un regard critique sur le résultat et de discuter de la validité des hypothèses formulées.

Données :

- 1 Wh (watt-heure) = 3600 J ;
- au voisinage du sol, une surface horizontale de 1 m² reçoit de la part du Soleil une puissance moyenne calculée sur 24 heures égale à 250 W.

Caractéristiques de Solar Impulse 2

Cellules solaires et batteries

Une cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en énergie électrique.

Une cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau). La puissance totale est proportionnelle à la surface du module.

Le jour, les cellules solaires de Solar Impulse 2 alimentent en énergie renouvelable les quatre moteurs électriques de l'avion ainsi que les quatre batteries.

Ces quatre batteries au lithium, d'une masse totale de 633 kg et d'une densité énergétique de 260 Wh.kg^{-1} , permettent à l'appareil de voler la nuit et d'avoir ainsi une autonomie quasi illimitée.

Les cellules photovoltaïques, situées sur les ailes, le fuselage et le stabilisateur horizontal, possèdent un rendement de 23 %.

Puissance totale des quatre moteurs

Puissance moyenne, calculée sur 24 heures, comparable à celle d'une petite moto (15 CV^1) et maximale de 70 CV^1 .

¹ Le cheval-vapeur est une unité de puissance ne faisant pas partie du Système international d'unités, $1 \text{ CV} = 736 \text{ W}$.

Vitesse

Solar Impulse 2 peut voler à la vitesse d'une voiture, entre 36 km.h^{-1} et 140 km.h^{-1} .

Fiche Technique

- Envergure des ailes : 72 mètres
- Volume du Cockpit : $3,8 \text{ m}^3$
- Épaisseur des cellules solaires : 135 micromètres (μm)
- Dimension d'une cellule : $12,5 \text{ cm} \times 12,5 \text{ cm}$
- Nombre de cellules solaires > 17000