

CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

SESSION 2016

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE

SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE LABORATOIRE

Épreuve expérimentale

Durée : 4 heures

Calculatrice autorisée

VOLER GRÂCE À L'ÉNERGIE SOLAIRE

Ce sujet comporte 10 pages, y compris celle-ci.

Un **cahier de laboratoire** sera rédigé tout au long de l'épreuve. Le candidat y consignera les manipulations effectuées (à l'aide de schémas annotés par exemple), les observations ainsi que les calculs nécessaires à l'exploitation des résultats. Ce cahier servira de support lors des **appels obligatoires** inscrits dans l'énoncé et permettra au candidat de conclure sur les manipulations effectuées.

Le candidat doit agir en autonomie et faire preuve d'initiative tout au long de l'épreuve. Il peut néanmoins solliciter le professeur évaluateur à tout moment s'il en ressent le besoin.

Le professeur évaluateur peut intervenir à tout moment, s'il le juge utile.



Mai 1930 : Jean Mermoz traverse l'Atlantique en hydravion

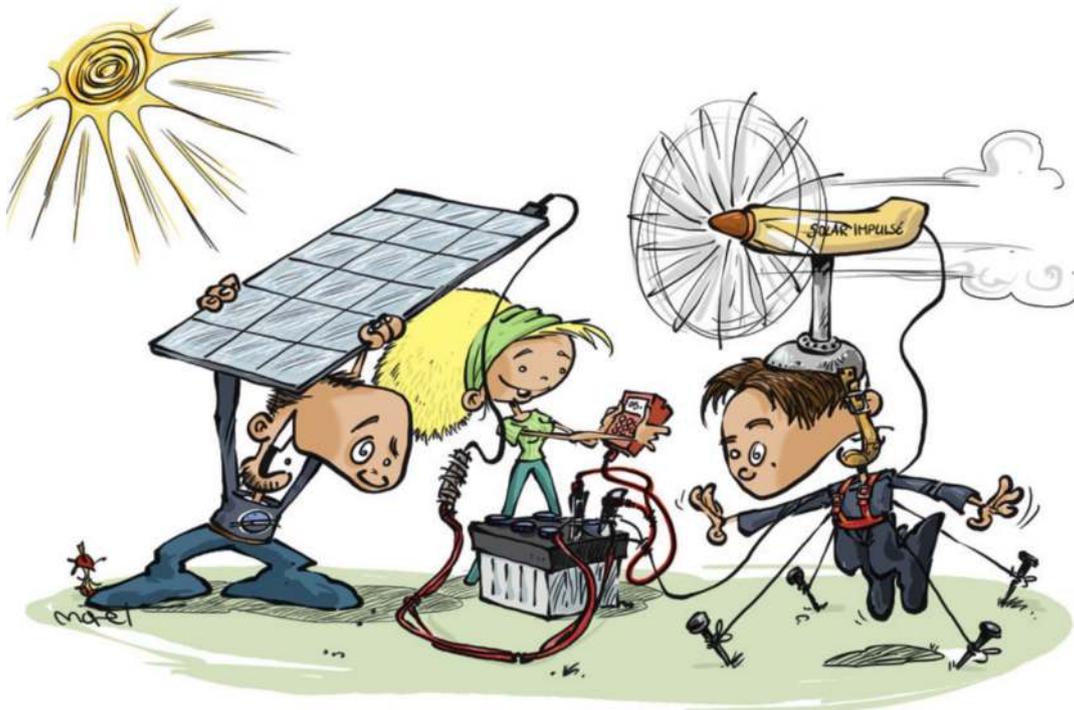
L'aviateur français Jean Mermoz réussit la première traversée postale sans escale de l'Atlantique Sud entre Saint-Louis (Sénégal) et Natal (Brésil) à bord de l'hydravion « Le Comte de la Vaulx ». Il parcourt en 21 heures les 3 200 kilomètres qui séparent les deux continents. Il permet ainsi l'ouverture de la liaison postale France-Amérique du Sud.



Mars-Juillet 2015 : André Borschberg traverse le Pacifique en avion solaire

L'avion monoplace Solar Impulse 2, piloté par les Suisses André Borschberg et Bertrand Piccard, était parti le 9 mars d'Abou Dhabi pour le premier tour du monde d'un avion propulsé par l'énergie solaire, long de 35 000 kilomètres et destiné à promouvoir l'usage des énergies renouvelables.

Il s'est posé à Hawaï le 3 juillet après avoir parcouru 7 200 kilomètres en 117 heures et 52 minutes, à une vitesse moyenne de 61,19 km, battant le record mondial de vol en solitaire.



Mai 2016 : des candidats du Concours Général STL-SPCL s'approprient la technologie de l'avion solaire pour fabriquer le « Mermoz Impulse »

Les auteurs tiennent à remercier les sociétés Sodapem Sommières, fabricant de pièces pour l'aéronautique, et Airbus Helicopters pour les documents et matériaux fournis.

Sources : <http://solarimpulse.com>, <http://fr.solarpedia.net>, <http://lemonde.fr>, <https://openclipart.org>



« Étudier comment transformer une maquette en balsa en un avion solaire, le « Mermoz Impulse », en s’inspirant du projet Solar Impulse. »



Maquette en balsa à énergie potentielle élastique (futur « Mermoz Impulse »)



(Bertrand Piccard)
Maquette à énergie solaire (maquette de Solar Impulse à l’échelle $\approx 1/100^e$)



Pour réaliser cette transformation, il convient de déterminer :

1. la **puissance électrique** que peuvent fournir les cellules photovoltaïques et le **nombre de cellules** que la maquette peut embarquer ;
2. la **puissance mécanique** que peut fournir le moteur à élastique de la maquette ;
3. l’**énergie** que peuvent stocker les accumulateurs, ainsi que le **nombre d’accumulateurs** nécessaires pour permettre le vol de nuit ;
4. le **matériau** à employer pour renforcer la structure de l’avion et lui permettre de supporter la masse de la maquette et de ses accessoires.

Au fur et à mesure de l’avancement de vos travaux, vous pourrez comparer les caractéristiques techniques de « Mermoz Impulse » à celles de Solar Impulse.

Caractéristiques techniques	Solar Impulse	« Mermoz Impulse »
Nombre de cellules	17 248	
Surface des cellules	270 m ²	
Puissance des moteurs	4 × 12,9 kW	
Nombre d’accumulateurs	4	
Matériau	Nid d’abeille, fibre de carbone, composite	

I. Récupérer l'énergie solaire



Une cellule photovoltaïque, aussi appelée cellule solaire, est un composant électronique qui convertit l'énergie solaire en énergie électrique. L'énergie récupérée est d'autant plus grande que la surface exposée est importante.

Étape 1 Déterminer la surface de la maquette qui peut être utilisée pour y placer des cellules photovoltaïques afin de capter l'énergie solaire. En déduire le **nombre de cellules** que le « Mermoz Impulse » pourrait emporter.

Étape 2 On dispose d'une cellule photovoltaïque faisant office de générateur, d'un voltmètre, d'un ampèremètre, d'une résistance ajustable et d'une source lumineuse. Proposer un montage électrique permettant de mesurer simultanément la tension aux bornes de la cellule éclairée ainsi que l'intensité du courant délivré par la cellule.

Appel ① Présenter le schéma du montage et sa réalisation

Étape 3 Mesurer simultanément la tension U aux bornes de la cellule et l'intensité I du courant la traversant sous cet éclairage.

Appel ② Expliquer comment déduire des mesures la puissance maximale délivrée par la cellule

Étape 4 À partir des mesures précédentes, représenter l'évolution de la puissance électrique délivrée par la cellule en fonction de la tension. En déduire la valeur de la **puissance maximale** délivrée par la cellule et noter la tension de fonctionnement associée.

Déterminer la puissance électrique totale maximale dont l'avion pourra disposer.

II. Étudier la propulsion à élastique



Le moteur à élastique sera remplacé par un micromoteur électrique de masse et de puissance comparables, tels ceux utilisés en modélisme. Pour faire un choix adapté, il faut mesurer au préalable la puissance délivrée par le moteur à élastique de la maquette.

Des informations complémentaires sont données en annexe.

Étape 5 Déterminer expérimentalement la valeur de la **puissance délivrée par le moteur à élastique** de la maquette.

Appel ③ Présenter la stratégie de résolution de la problématique expérimentale avant de la mettre en œuvre

III. Stocker l'énergie



On estime qu'au cours d'une journée, les moteurs sont directement alimentés par le Soleil durant 8 h et par les batteries durant 16 h. Celles-ci doivent donc être en nombre suffisant pour maintenir l'avion en vol durant les phases nocturnes.

Des informations complémentaires sont données en annexe.

Étape 6 Déterminer théoriquement la valeur de l'**énergie** que doivent stocker les accumulateurs afin de maintenir la maquette en vol lors des phases nocturnes.

Étape 7 Réaliser le montage permettant de visualiser la charge et la décharge du condensateur.

*Appel ④ Présenter le montage à un membre du jury **avant** d'alimenter le circuit.*

Étape 8 À l'aide de l'enregistrement de la décharge du condensateur dans une résistance, déterminer la valeur de la capacité d'un condensateur. En déduire le **nombre de condensateurs** nécessaires pour réaliser le « *Mermoz Impulse* » à partir de la maquette fournie.

IV. Renforcer la structure porteuse



Afin de supporter la masse de la maquette et des nouveaux accessoires, il faut renforcer la structure de la maquette uniquement constituée de balsa. Pour cela, différents matériaux spécialement conçus pour l'aéronautique peuvent être utilisés : alliages de titane, d'aluminium et un composite.

Des informations complémentaires sont données en annexe.

Étape 9 Déterminer expérimentalement les masses volumiques du balsa, du composite et d'un des deux alliages fournis. En déduire la nature de l'alliage fourni.

Appel ⑤ Présenter la ou les méthode(s) choisie(s) pour mesurer les masses volumiques, ainsi que pour améliorer la précision de ces mesures

V. Synthèse



Les diverses expériences et mesures réalisées, complétées des documents disponibles, éclairent les points principaux de la problématique d'ensemble du vol solaire en général et de celui de l'adaptation de la maquette en particulier.

Étape 10 À partir des travaux réalisés, préciser si ce projet peut aboutir en l'état ou quelles évolutions seraient à envisager afin de permettre au « *Mermoz Impulse* » de voler un jour grâce à l'énergie solaire.

Rédiger une synthèse argumentée (maximum 20 lignes)

ATTERRISSAGE

RÉUSSI



Le Lycée Mermoz et ses enseignants sont heureux de vous avoir accueilli à bord durant ces quelques heures et espèrent vous revoir très prochainement au sein de l'établissement.

*En guise de souvenir, nous vous offrons le « *Mermoz Impulse* »* 

VI. Annexes

Mesurer la puissance du moteur à élastique

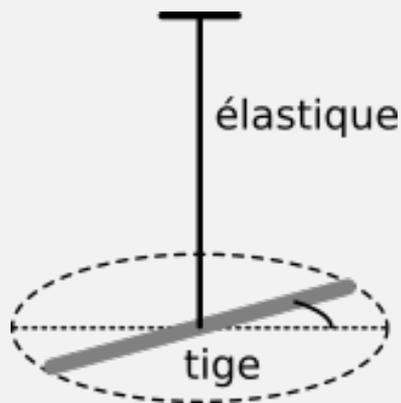
On admet que, pour un tour de l'élastique lié à l'hélice, la puissance moyenne délivrée par le moteur à élastique peut être approchée par la relation

$$P \approx 5 \times 10^2 \times k \quad (\text{en watt})$$

où k est un coefficient caractéristique de l'élastique appelé constante de torsion.

Pour déterminer k , on peut utiliser la mesure de la période T des oscillations d'une tige de masse m et de longueur ℓ suspendue en son milieu à l'élastique (voir ci-dessous). La période est donnée par la relation

$$T = \pi \ell \sqrt{\frac{m}{3k}} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{ll} m & \text{masse de la tige en kg} \\ \ell & \text{longueur de la tige en m} \\ k & \text{constante de torsion de l'élastique en N m/rad} \end{array}$$



Stocker l'énergie

Le jour, l'avion profite directement de l'énergie solaire convertie en énergie électrique par les panneaux photovoltaïques. Simultanément, une partie de cette énergie est stockée dans des accumulateurs, ou batteries, pour poursuivre le vol de nuit (ci-contre, un modèle de batterie utilisée dans le *Solar Impulse*).

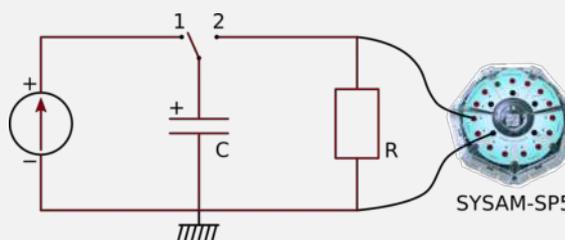


Dans la maquette, la batterie est modélisée par un ensemble de condensateurs identiques associés en dérivation. La capacité de l'ensemble est supposée être égale à NC , où N est le nombre de condensateurs utilisés et C la capacité de chaque condensateur. L'étude de la décharge d'un seul de ces condensateurs à travers une résistance permet de déterminer la valeur de sa capacité C .

On rappelle que l'énergie stockée dans un condensateur de capacité C chargé sous la tension U vaut : $E = \frac{1}{2}CU^2$.

ATTENTION : le condensateur étant polarisé, il faut être très vigilant sur les branchements à ses bornes et faire vérifier le montage par un membre du jury **avant** de l'alimenter.

- Réaliser le montage suivant constitué d'un générateur de tension continue, d'un interrupteur trois points, d'un condensateur électrochimique de capacité C inconnue, d'une résistance de valeur $R = 10 \Omega$ et de l'interface d'acquisition SYSAM-SP5 reliée à un ordinateur.



- Charger le condensateur sous la tension pour laquelle la puissance électrique délivrée par la cellule photovoltaïque est maximale.
- À l'aide du logiciel Latis-Pro[®], enregistrer la courbe donnant l'évolution temporelle de la tension U aux bornes du condensateur lors de sa décharge dans la résistance R .
- En déduire la valeur de la capacité C du condensateur.

La décharge pourra être modélisée par une loi de décroissance exponentielle proposée par Latis-Pro[®]. Cette loi contient un terme de la forme $\exp(-t/\tau)$ où $\tau = RC$ est la constante de temps du système.

Matériaux aéronautiques

Afin de renforcer la tenue mécanique de la structure de la maquette, il est possible d'utiliser des métaux spéciaux employés dans l'aéronautique.

Des échantillons de ces métaux ont été fournis avec leurs caractéristiques techniques.

Ci-contre, une partie des échantillons disponibles, qui sont des alliages à base de fer, de titane et d'aluminium.



Ci-dessous, un extrait des documents techniques relatifs à des alliages de titane et d'aluminium qui semblent les alliages les plus prometteurs.

1		ALLIAGE D'ALUMINIUM 7010-T7451 TOLES EPAISSES 6 < a ≤ 150 mm																	
2	Composition chimique %	Elément	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ni	Zr	Ti	Autres		Al				
		min.	-	-	1,5	-	2,1	-	5,7	-	0,10	-	-	-	-	Le reste			
		max.	0,12	0,15	2,0	0,10	2,6	0,05	6,7	0,05	0,16	0,06	0,05	0,15					
8	Epreuve Traitement thermique Prélèvement	-																	
9	Dimensions concernées	a	mm	6 < a ≤ 50			50 < a ≤ 75			75 < a ≤ 100			100 < a ≤ 125		125 < a ≤ 150				
10	Épaisseur de placage sur chaque face	%																	
11	Sens du prélèvement	L			LT		L			LT		ST		L		LT		ST	
12 T R A C T I O N	Température	θ	°C																
	Limite conv. d'élasticité	R _{p0,2}	MPa	≥ 430	≥ 430	≥ 435	≥ 435	≥ 405	≥ 420	≥ 420	≥ 390	≥ 405	≥ 405	≥ 375	≥ 390	≥ 390	≥ 365		
	Résistance	R _m	MPa	≥ 490	≥ 495	≥ 490	≥ 495	≥ 470	≥ 480	≥ 490	≥ 460	≥ 465	≥ 475	≥ 445	≥ 455	≥ 460	≥ 435		
	Allongement	$\frac{A_{50\text{mm}}}{A_{4d}}$	%	≥ 9	≥ 6	≥ 9	≥ 6	-	≥ 9	≥ 6	-	≥ 9	≥ 5	-	≥ 8	≥ 4	-		
16	Striction	Z	%																
40	Courbe R	3	6 < a ≤ 25 mm																
		7	Sens T-L K _{IC} ≥ 60 MPa√m																
40	Facteur d'intensité de contrainte critique	3	25 mm < a ≤ 150 mm						60 mm ≤ a ≤ 150 mm										
		7	L-T			T-L			S-L										
			K _{IC} ≥ 26,4 MPa√m			K _{IC} ≥ 24,2 MPa√m			K _{IC} ≥ 22 MPa√m										
44	Etat de surface	7	Voir IGC 04.32.105																
46	Fatigue	7	σ max. MPa	Nbre de cycles			R	K _t	Sens										
			≥ 280 ≥ 160 ≥ 130 ≥ 125	10 ⁴ 10 ⁵ 10 ⁶ 10 ⁷			0,1	2,3	T-L										
61	Santé interne	3	12 < a ≤ 60 mm						a > 60 mm										
		7	Classe A selon IGC 04.25.116						Classe B selon IGC 04.25.116										
68	Masse volumique	7	ρ = 2,83 kg/dm ³ (pour information)																

1		ALLIAGE DE TITANE T-A 6V ETAT RECUIT BARRES RONDES POUR USINAGE												
2	Composition chimique %	Elément	Al	V	Fe	C	O ₂	H ₂	N ₂	Autres		Ti		
			Min.	5,50	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Max.	6,75	4,5	0,30	0,08	0,20	0,0125	0,05	0,10	0,40	Le reste	
8	Epreuve Traitement thermique Prélèvement		-											
9	Dimensions concernées		D	mm	D ≤ 75				75 < D ≤ 300					
10	Epaisseur du placage sur chaque face		%		-									
11	Sens du prélèvement		L ou T											
12	T R A C T I O N	Température	θ	°C	Température ambiante									
13		Limite conv-d'élasticité	R _{p0,2}	MPa	≥ 830									
14		Résistance	R _m	MPa	900 ≤ R _m ≤ 1160									
15		Allongement	A _{5,65-50}	%	≥ 10				≥ 8					
16		Striction	Z	%	≥ 25				≥ 20					
40	Facteur d'intensité de Contrainte critique		3	Sens de prélèvement L- T										
			7	Dimension K1C MPa√m	D ≥ 50 mm Noter les résultats									
44	Etat de surface		6	Meulé, tourné ou rectifié										
			7	Examen visuel suivant IGC 04.33.150										
46	Fatigue		3	Sens du prélèvement L										
			7	Dimension R	D ≥ 25 mm		K _t	Nbre de cycles	σ MPa					
				0,1	2,3	10 ⁴ 10 ⁵ 10 ⁶	Noter les résultats							
51	Macrographie		3	Coupe	Transversale				Longitudinale					
			7	Dimension	50 < 0 ≤ 150 mm		150 < D ≤ 300 mm		D ≤ 300 mm					
			Niveau suivant AMS 2380	≤ 30		≤ 40		Fibrage rectiligne Absence de structure en bande hétérogène						
61	Santé interne		7	Dimension	D ≥ 12mm Classe A de IGC 04.25.115 ou classe A de l'AMS 2631									
68	Masse volumique		7	ρ	kg/dm ³	4,5 (pour information)								

Évaluation d'incertitudes

Lorsqu'une grandeur X est déterminée à partir de deux autres grandeurs Y et Z , l'incertitude composée $U(X)$ sur X dépend des incertitudes $U(Y)$ et $U(Z)$ sur Y et Z et de la relation liant X , Y et Z .

Le tableau suivant donne les expressions de l'incertitude composée $U(X)$ dans quelques cas simples de relation entre X , Y et Z .

Relation	Incertitude composée
$X = Y + Z$	$U(X) = \sqrt{U^2(Y) + U^2(Z)}$
$X = Y - Z$	$U(X) = \sqrt{U^2(Y) + U^2(Z)}$
$X = \lambda Z$ avec λ une constante	$U(X) = \lambda U(Z)$
$X = YZ$	$\frac{U(X)}{X} = \sqrt{\frac{U^2(Y)}{Y^2} + \frac{U^2(Z)}{Z^2}}$
$X = \frac{Y}{Z}$	$\frac{U(X)}{X} = \sqrt{\frac{U^2(Y)}{Y^2} + \frac{U^2(Z)}{Z^2}}$