

PRÉSENTATION DU SURF ELECTRIQUE OU E-SURF



Plus facile à pratiquer que le surf conventionnel, le surf électrique peut être appris par un amateur en 5 min. Les chutes sont moins fréquentes, donc l'amusement est plus rapide. Plus besoin non plus de prendre des grosses vagues, il peut même avancer sur une eau lisse.

Contrairement à la planche de surf tractée, la technologie électrique apporte un rendu plus silencieux et moins polluant. Il devient même plus facile de prendre des vagues : à l'aide d'une télécommande, on accélère lorsque la vague s'élève et on stoppe le moteur une fois qu'on est lancé. C'est grâce au foil, la petite aile située sous la planche (Voir figure 2), et un groupe propulseur (moteur, hélice), que l'engin s'élève au-dessus de l'eau.

ÉTUDE DES PERFORMANCES DU E-SURF

Problématique : dans les conditions aux limites stipulées par le fabricant, le groupe propulseur est-il suffisamment performant pour élever au-dessus de l'eau un surfeur de 85 kg sur la planche à une vitesse de 35 km.h⁻¹. Tout en garantissant une résistance et une fiabilité optimales.

Rappel : $P = m \times g$ (avec « g » accélération de la pesanteur ; $g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$).

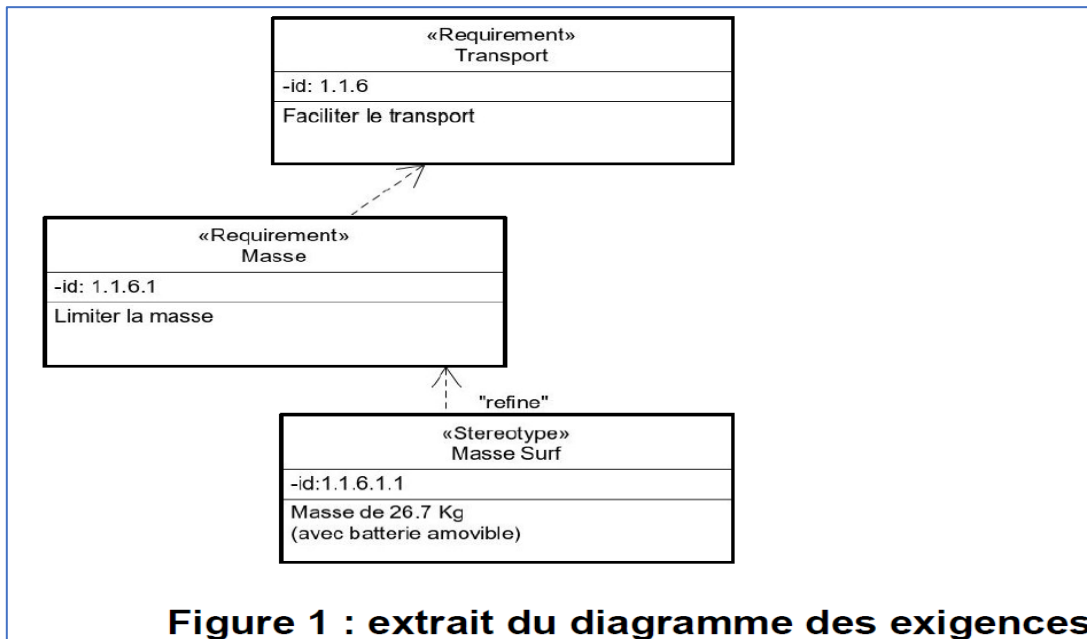
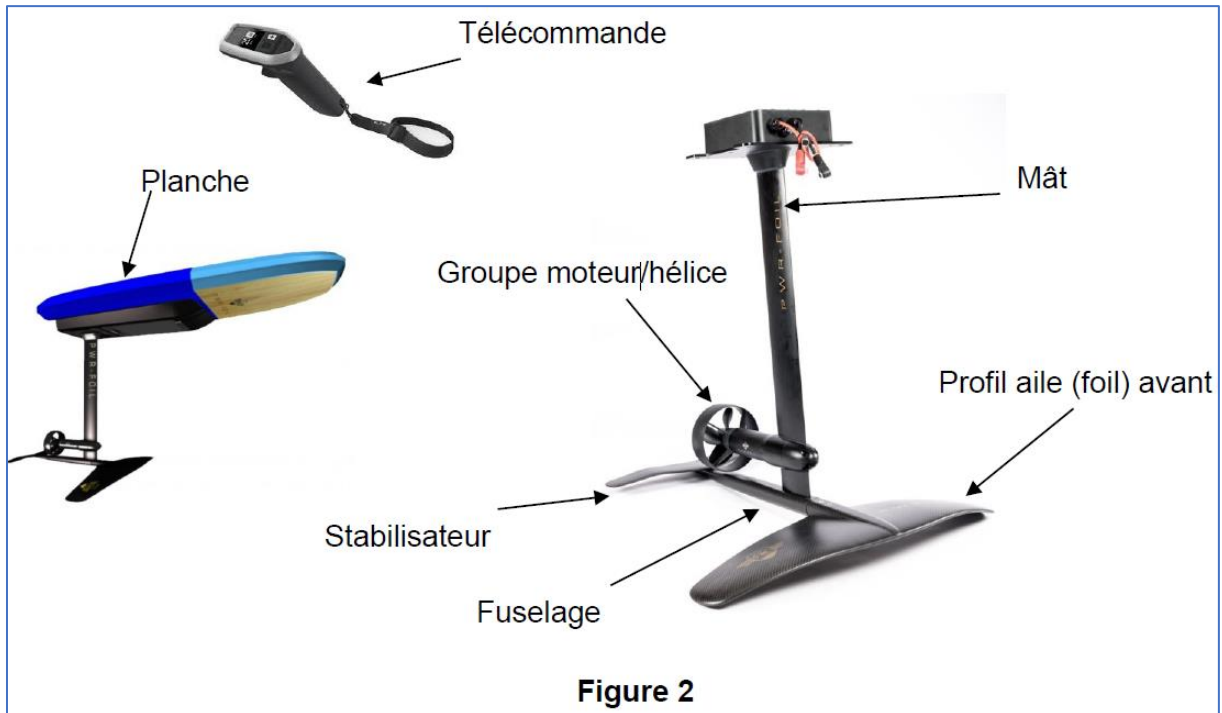


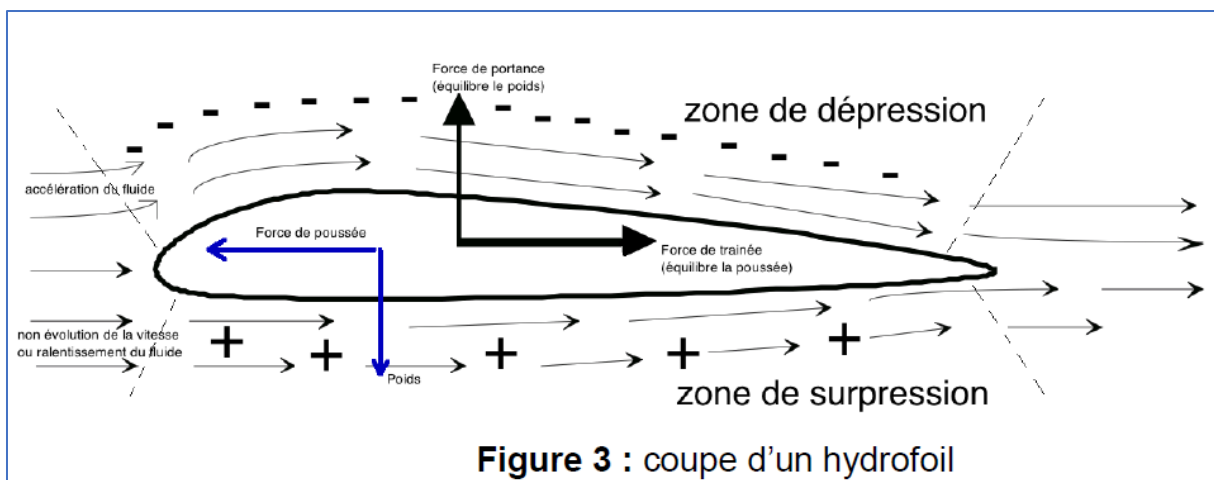
Figure 1 : extrait du diagramme des exigences

Q1: *Calculer la masse totale en kg de l'ensemble surfeur-planche-batterie. En déduire le poids total en N.*



Un foil (ou un hydrofoil) est une aile profilée (figures 2 et 3) qui se déplace dans l'eau. La vitesse de déplacement génère sur le foil une portance hydrodynamique capable de soulever un objet partiellement ou totalement hors de l'eau. Le but de ce transfert de portance est de réduire le frottement et donc la puissance nécessaire à la propulsion.

Si on déplace dans un fluide (air ou eau) un profil asymétrique, il se crée une différence de pression entre le dessous du profil (surface la plus faible ou intrados) et le dessus (surface la plus grande ou extrados). Voir figure 3.



La force F_z qui tend à faire monter le profil s'appelle la portance et est de la forme :

$$F_z = \frac{1}{2} C_z \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$$

avec :
 C_z : Coefficient de portance.
 ρ : 1025 kg.m⁻³ (masse volumique de l'eau de mer)
 S : 0.08 m² (surface immergée ou surface « mouillée »)
 V : Vitesse de déplacement en m.s⁻¹

Si on fait varier l'angle d'incidence α (Figure 4), les valeurs des coefficients de portance C_z et de traînée C_x varient comme présenté dans le tableau 5.

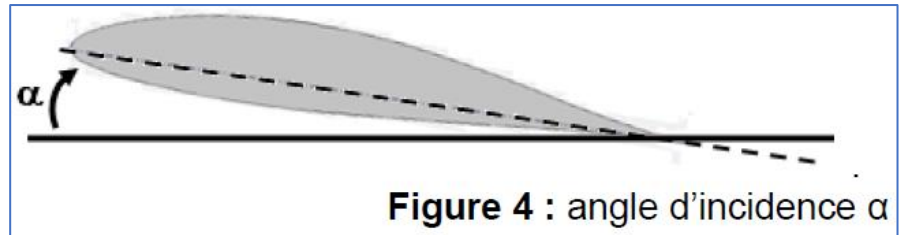


Figure 4 : angle d'incidence α

Incidence	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°
C _z	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.33	0.34	0.32
C _x	0.006	0.006	0.0065	0.008	0.0105	0.012	0.014	0.016	0.02

Tableau 5 : coefficients de portance C_z et de traînée C_x en fonction de α

Q2: Structurellement, l'angle est de 0°. **Calculer** la force de portance F_z. Dans ces conditions, **conclure** quant à la capacité du foil à soulever l'ensemble (surfeur + engin).

Q3: Le surfeur peut incliner la planche grâce à ses appuis. **Définir** alors l'angle d'incidence minimum α_{minimum} pour soulever l'ensemble.

Dimensionnement partiel du groupe moteur-arbre-hélice

La vitesse doit atteindre 35 km.h⁻¹. La figure 6 présente la chaîne de puissance partielle. Les résultats présentés ci-après sont issus de simulations.

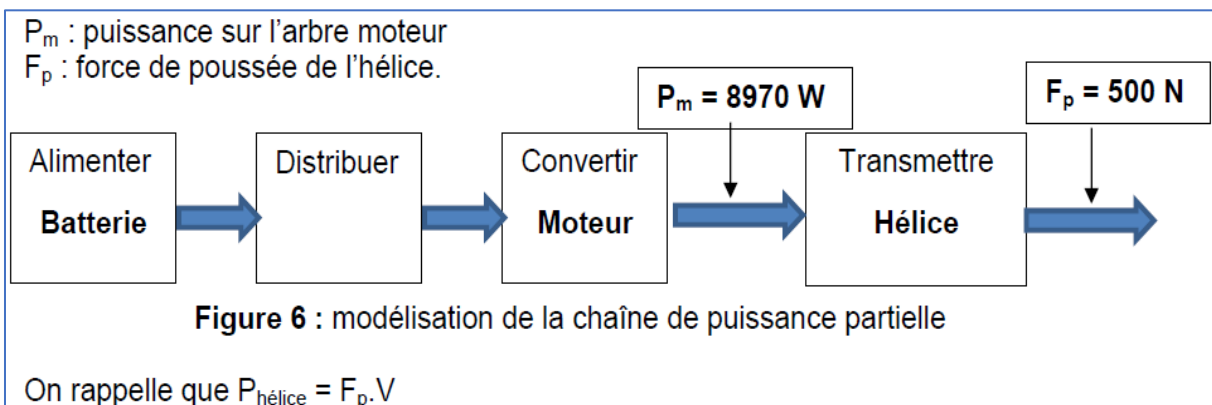


Figure 6 : modélisation de la chaîne de puissance partielle

On rappelle que P_{hélice} = F_p · V

Q4: **Calculer** le rendement entre l'arbre moteur et l'hélice. **Commenter** ce résultat.

Conditions de résistance hydrodynamique de l'hélice

Augmenter la portance des objets profilés sans pour autant augmenter de façon exagérée ses dimensions, implique d'augmenter la vitesse du surf. Cela implique, souvent, une augmentation de la fréquence de rotation du moteur, donc de l'hélice. Cependant, cette solution atteint voire dépasse elle aussi très vite les limites à cause d'un phénomène particulier : la cavitation. Cette limite est variable et dépend des paramètres liés à l'environnement (profondeur d'immersion, température, salinité, forme de l'hélice...). C'est un phénomène d'ébullition dû à une dépression avec apparition de bulles de vapeur qui vont avoir des effets très néfastes sur le fonctionnement comme le décrochage du profil, l'apparition de bruits et de vibrations, d'usure voire la destruction de la surface.

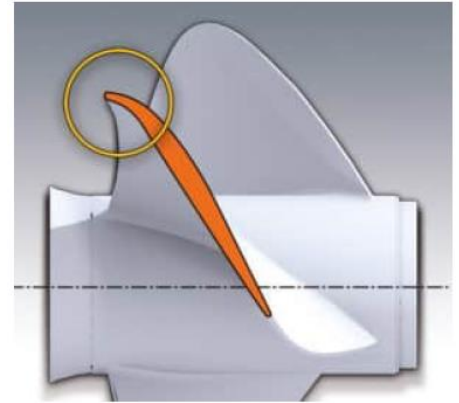
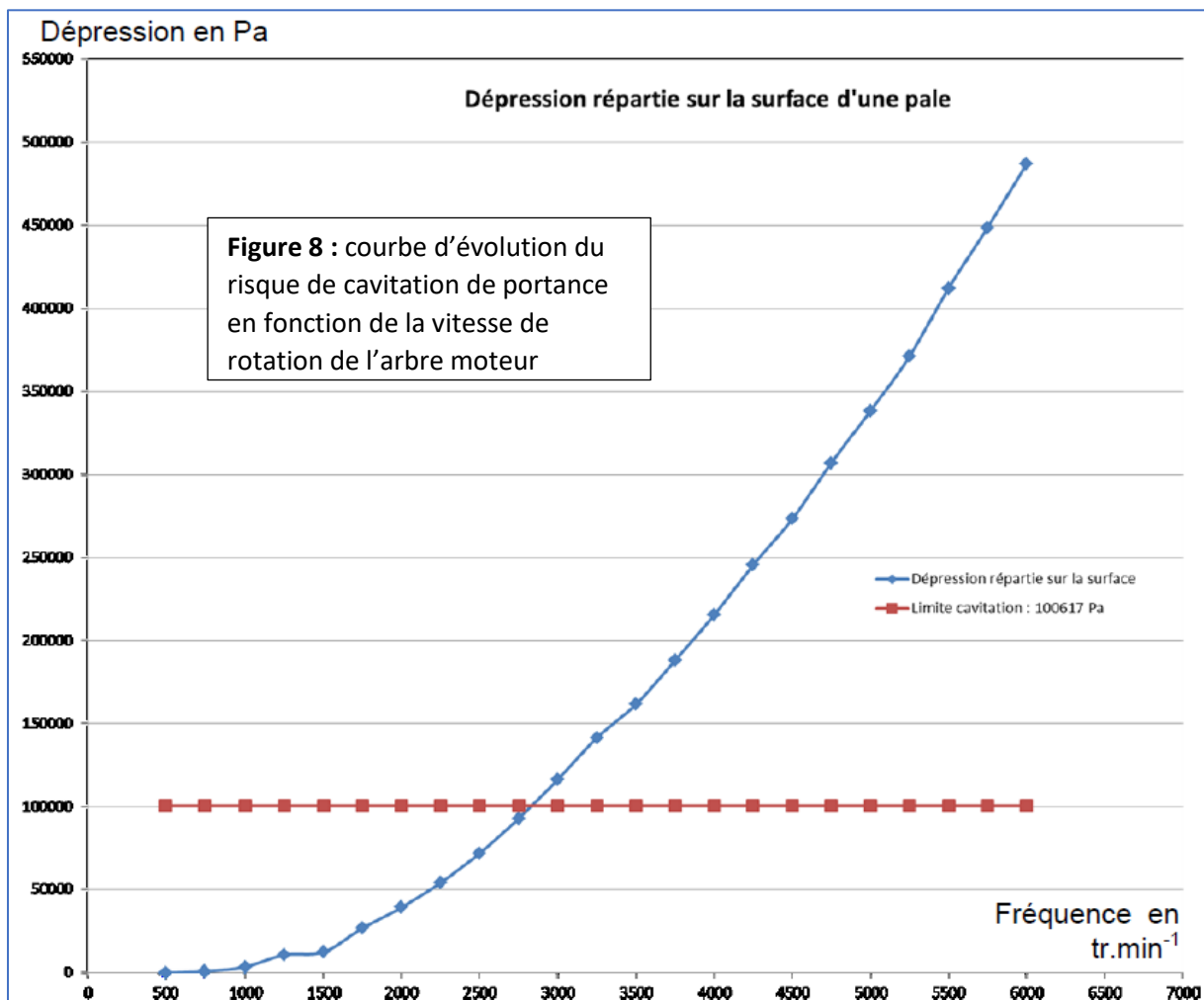


Figure 7: une hélice est formée de pales s'apparentant à un foil

La figure 8 montre la variation de dépression répartie sur une pale en fonction du régime moteur ainsi que la limite de cavitation, calculée à 100 617 Pa.



Q5: *Préciser, pour la fréquence de rotation étudiée de $3\,000\text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$, si le phénomène de cavitation existe. Évaluer à partir de quelle valeur de fréquence de rotation apparaît ce phénomène.*

MODIFICATION DU COMPORTEMENT DU E-SURF

De nombreux centres de loisirs, basés sur le littoral méditerranéen, souhaitent élargir leur gamme d'activités nautiques en proposant du e-surf à des enfants dès l'âge de 7 ans.

Le constructeur du e-surf est sollicité afin de rendre la commande du mouvement plus adaptée à un tout jeune public au petit gabarit et d'y associer un fonctionnement davantage personnalisé.

Pour permettre l'évolution des jeunes surfeurs débutants, deux tranches d'âge sont prises en compte :

- Groupe 1 / Tranche d'âge : 6-10 ans pour une masse embarquée de 15 à 22 kg
- Groupe 2 / Tranche d'âge : 10-13 ans pour une masse embarquée de 22 à 36 kg

A chaque groupe sont associés trois niveaux de performance : niveau 1 débutant, niveau 2 confirmé, niveau 3 expert.

Problématique : développer, pour le jeune surfeur débutant de moins de 40 kg, un programme permettant de :

- gérer automatiquement la vitesse de déplacement de la planche de surf en fonction de la consigne donnée grâce à la télécommande,
- informer à chaque démarrage le jeune surfeur du parcours à réaliser,

Analyse de deux parcours différents

Pour commencer, on désire faire évoluer les surfeurs débutants (niveau 1) sur 2 parcours différents. L'un des parcours est réservé au 1^{er} groupe et l'autre au groupe 2.

Le surfeur doit effectuer des allers retours dans le plan (O, X,Y) à la vitesse de $1\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (on considère que cette vitesse est constante) :

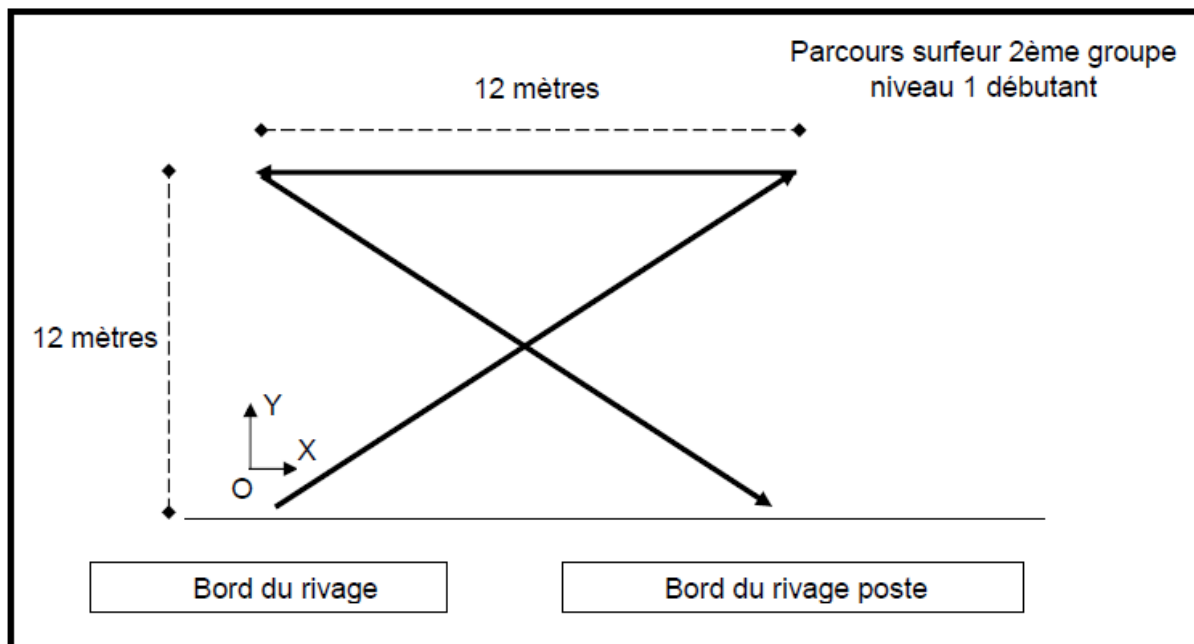
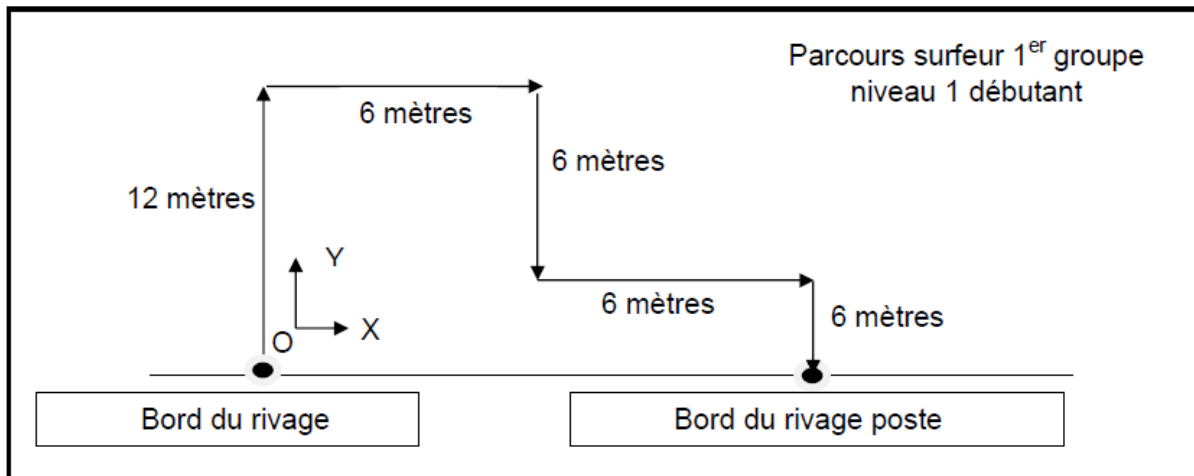


Figure 9 : secteur d'apprentissage numéro 1

Q6: *Déterminer la durée de chaque parcours. En déduire en une heure, le nombre de démarrages que va effectuer le e-surf si l'on prend en compte uniquement une pause du jeune surfeur de 5 minutes entre deux parcours successifs.*

Affichage du pictogramme du parcours

Sur le boîtier de la télécommande, le constructeur envisage d'indiquer le parcours à effectuer par des pictogrammes. Il pense au choix d'une matrice à 25 DEL réparties sur 5 lignes et 5 colonnes (voir figure 10), commandée par le microcontrôleur de la carte de commande afin que le jeune surfeur visualise quel type de parcours est associé à son niveau (figure 11).

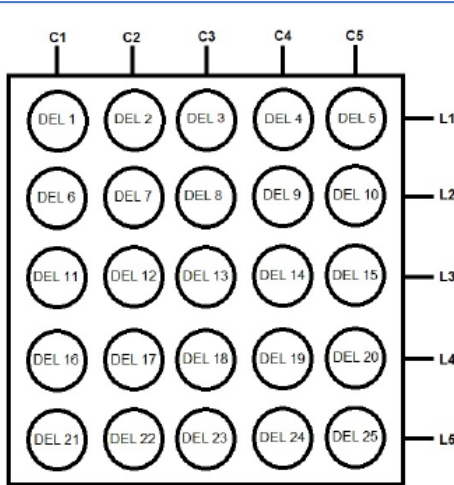


Figure 10 : matrice 25 DEL

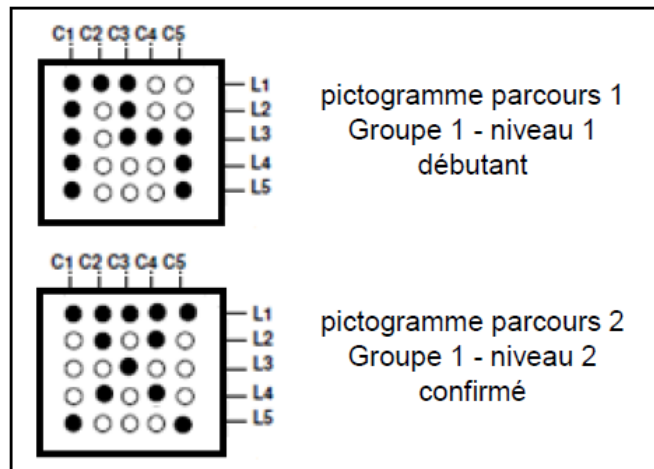
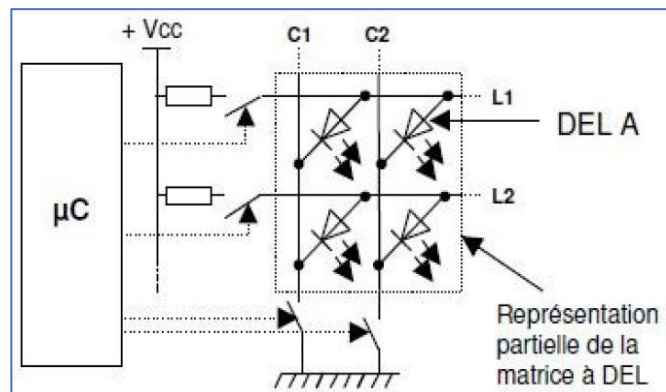


Figure 11 : pictogrammes des parcours

Pour commander une DEL, il suffit d'activer sa ligne et sa colonne.

Pour commander la DEL A, il faut activer sa ligne et sa colonne (soit L1 et C2 du schéma ci-contre) ce qui nécessite d'utiliser deux sorties du microcontrôleur.



Q7: *Indiquer* quelles sont les DEL de la matrice de la figure 10 qui devront s'allumer pour afficher le pictogramme du parcours 1. *Indiquer* quelles sont les lignes et les colonnes qu'il est nécessaire d'activer pour allumer DEL 13 et DEL 21.

Le microcontrôleur possède 2 ports de sorties de 8 bits chacun dédiés à la commande des DEL de la matrice.

Q8: *Déterminer* le nombre de sorties du microcontrôleur disponibles pour l'affichage des pictogrammes. Afin de valider le choix du constructeur, **compléter** le tableau ci-dessous

	C1	C2	C3	C4	C5	
Parcours 1	<input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	Les colonnes impliquées sont les colonnes :
Parcours 2	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	

	L1	L2	L3	L4	L5	
Parcours 1	<input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	Les lignes impliquées sont les lignes :
Parcours 2	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	

Bilan : Nombre de colonnes utilisées : $N_c = \dots\dots\dots$

Nombre de lignes utilisées : $N_l = \dots\dots\dots$

Nombre de sorties nécessaires : $N_t = N_c + N_l = \dots\dots\dots$

Le choix du constructeur peut être validé Oui Non puisque

.....

Variation de la vitesse du surf (pilotage du moteur)

Lorsque la réussite du parcours 1 a été enregistrée par le moniteur du centre de loisirs, les jeunes apprentis surfeurs doivent emprunter le parcours 2 et imposer une consigne de vitesse de déplacement du e-surf égale à 5 km.h^{-1} .

Pour assurer le pilotage de l'engin dans une plage de réglage de vitesse $0-20 \text{ km.h}^{-1}$, adaptée aux jeunes surfeurs, le constructeur propose d'utiliser une fonction de programmation du microcontrôleur : la commande de la vitesse du moteur par PWM (PWM, pour Pulse Width Modulation, ou MLI en français pour Modulation de Largeur d'Impulsion).

Q9: Compléter le tableau ci-dessous :

	Vitesse (km.h^{-1})	Rapport cyclique α	PWM réglé à (entier arrondi à la valeur supérieure)
Vitesse minimale	0	0	0
Vitesse imposée parcours 1	1
Vitesse imposée parcours 2	5
Vitesse A	10	50 % (= 0,5)	128
Vitesse B	75 % (= 0,75)
Vitesse maximale	20	100 % (= 1)	255

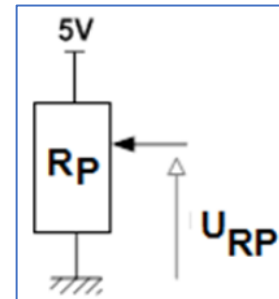
Variation de la vitesse du surf (acquisition de l'information)

Lorsque la réussite du parcours 2 à 5km.h^{-1} a été validée par le moniteur du centre de loisirs, les jeunes apprentis surfeurs vont s'exercer à décoller de la surface de l'eau pour obtenir le niveau 2 confirmé.

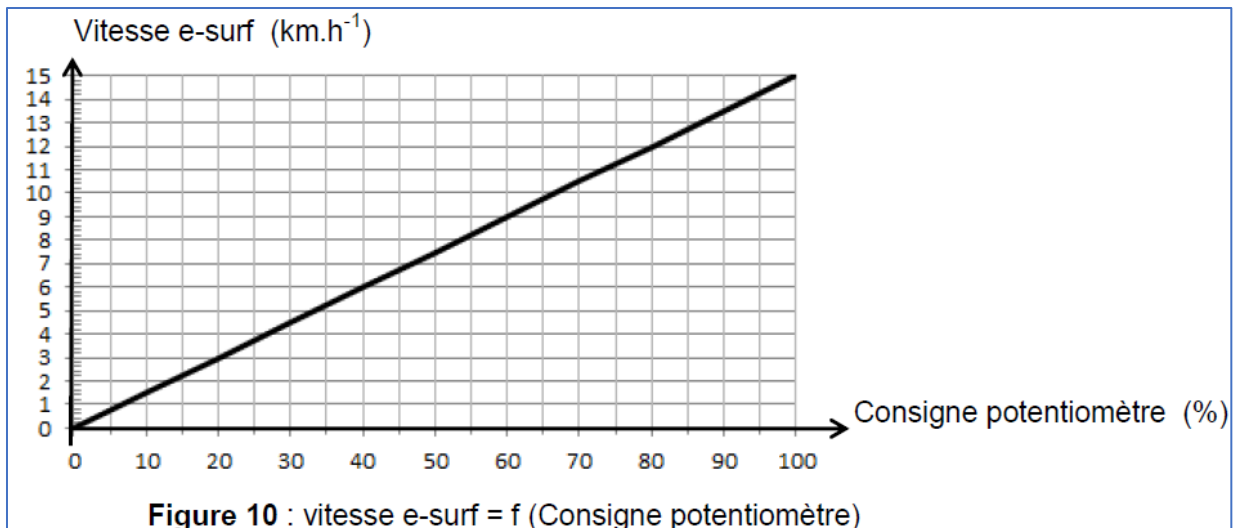
Ils vont donc utiliser le même parcours en faisant varier la vitesse du e-surf dans une plage de réglage de la vitesse imposée à $0\text{-}15\text{ km.h}^{-1}$.

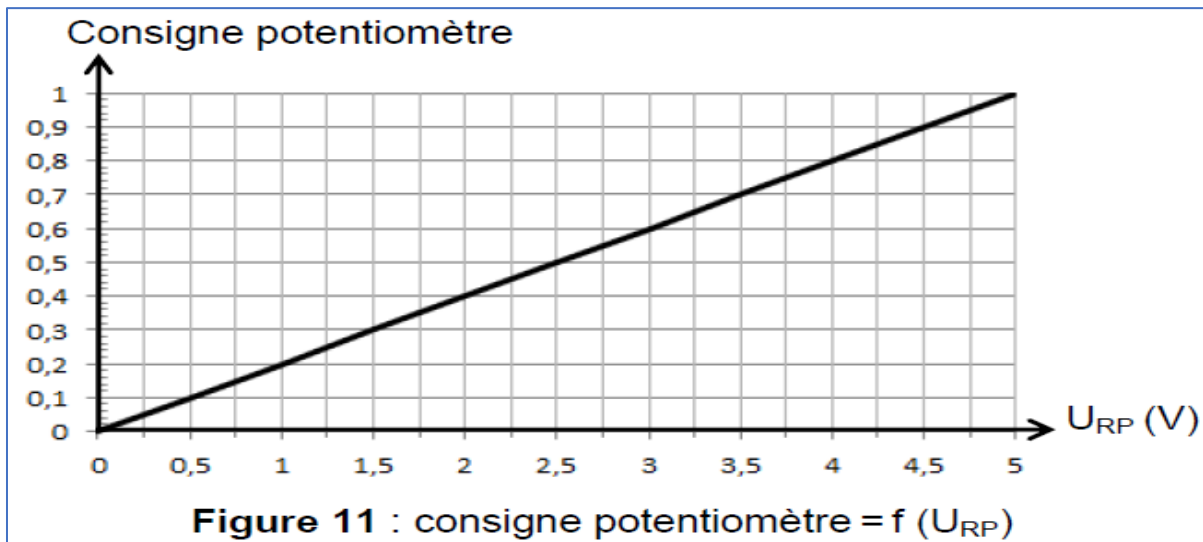
Pour assurer le pilotage de l'engin dans une plage de réglage de vitesse $0\text{-}15\text{ km.h}^{-1}$, adaptée aux jeunes surfeurs du groupe 2, le constructeur propose alors d'intégrer dans la télécommande un potentiomètre R_P d'une valeur de $10\text{ k}\Omega$.

La tension U_{RP} (image de la vitesse) ne doit pas dépasser 5V à l'entrée du microcontrôleur lorsque la valeur de la vitesse est maximale (15 km.h^{-1}) comme l'indique le schéma ci-contre.



Q10: A partir des figures ci-dessous, déterminer la consigne de réglage du potentiomètre entraînant une vitesse de déplacement de 8 km.h^{-1} , vitesse à partir de laquelle le surfeur a la sensation de voler au-dessus de l'eau. **Déduire** la tension U_{RP} qui correspond à cette consigne.





Le microcontrôleur va réaliser une conversion analogique numérique de **U_{RP}**. Le signal est numérisé par un convertisseur analogique numérique sur 8 bits.

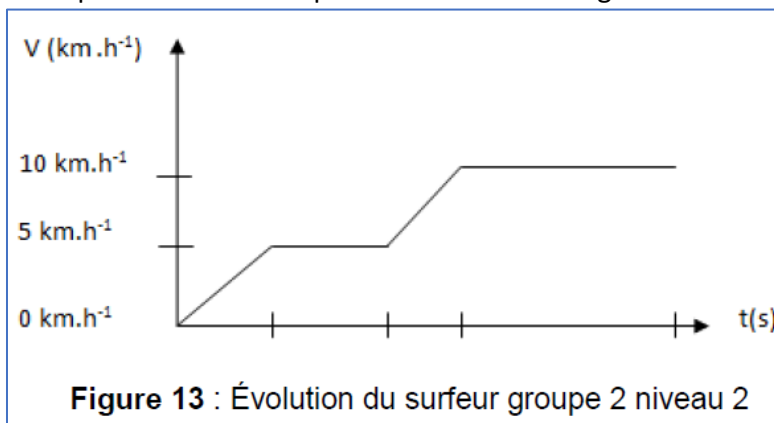
	Désignation	Notation
Entrées	Tension à pleine échelle	U _{PE}
	Résolution en entrée (quantum)	$q = U_{PE} \times [1/(N_{PE} - 1)]$
Sorties	Nombre de bits	n
	Nombre de points mesurables	$N_{PE} = 2^n$
	Résolution en sortie	$1/(N_{PE} - 1)$

Figure12 :caractéristiques principales d'un convertisseur CAN

Q11: *Calculer la valeur du quantum pour cette conversion.*

Q12: *Déterminer la valeur décimale de la conversion de la tension **U_{RP}** correspondant à $V = 8 \text{ km.h}^{-1}$*

Le 1^{er} profil de vitesse imposé est fourni sur la figure 13 suivante :



Q13: *Déterminer les valeurs décimales de la conversion de la tension **U_{RP}** correspondant à $V = 0 \text{ km.h}^{-1}$, 5 km.h^{-1} , 10 km.h^{-1} , 15 km.h^{-1}*