BACCALAURÉAT GÉNÉRAL
SESSION 2012
Série S profil sciences de l'ingénieur
ÉTUDE D'UN SYSTÈME PLURITECHNIQUE
Durée de l'épreuve : 4 heures
Coefficient : 4

Le matériel autorisé comprend toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables alphanumériques ou à écran graphique, à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante, conformément à la circulaire n°99-181 du 16 novembre 1999.
Aucun document n'est autorisé.
Les réponses seront faites sur le document réponse et les feuilles de copies fournis aux candidats.
Il est conseillé de traiter les différentes parties dans l'ordre.

Camper Trolley

Composition du sujet et sommaire

– **présentation du système, problématique du sujet et questions** **pages 2/13 à 9/13**

Présentation du système et lecture du sujet

A. Analyses fonctionnelle et structurelle du Camper Trolley
B. Vérification des performances du Camper Trolley
C. Étude de la motorisation
D. Conditions d'adhérence du Camper Trolley
E. Bilan énergétique et autonomie
F. Conceptions matérielle et logicielle

– **documents techniques** **DT1 à DT3 pages 10/13 à 12/13**

– **document réponse** **DR1 page 13/13**

Conseil aux candidats

Vérifier la présence de tous les documents désignés ci-dessus.
La phase d'appropriation du questionnement passe par la lecture attentive de l'ensemble du sujet. Il est conseillé de consacrer environ 20 minutes à cette phase de découverte.

Présentation du système et problématique du sujet

Les loisirs font partie intégrante des sociétés de consommation actuelles. Les hommes apprécient particulièrement les voyages et les vacances. Certains optent pour le caravaning afin de goûter au mieux ces moments de détente.

Pour positionner correctement une caravane sur un emplacement dans un terrain, il faut manœuvrer celle-ci attelée au véhicule qui la tracte, ce qui n'est pas toujours très aisé. Il est donc souvent nécessaire de « désatteler » et de positionner manuellement la caravane. Cette opération, qui peut s'avérer très pénible, a donné naissance au besoin à l'origine de la conception d'un nouveau système : un petit robot tracteur, télécommandable à distance.

Ce petit robot, dont le nom commercial est *Camper Trolley*, possède les caractéristiques suivantes :

Fixation sur la caravane	sous la flèche (voir DT2)
Masse maximale de la caravane pouvant être tractée	1,5 tonne en conditions optimales d'adhérence
Masse du Camper Trolley	16 kg
Vitesse de déplacement	8 $m \cdot min^{-1}$
Autonomie	10 minutes d'utilisation en continu
Mode de transmission du mouvement	2 motoréducteurs agissant sur deux chenilles par l'intermédiaire de 2 transmissions pignons-chaîne
Alimentation en énergie	batterie lithium/ion 14,4 V 5600 mA·h
Rechargement	chargeur secteur 230 V ; sortie 14,4 V – 1 A ou panneau photovoltaïque 18 V – 1,17 W
Pilotage du Camper Trolley	télécommande munie de 5 touches : AV (avant), AR (arrière), GA (gauche), DR (droite), AU (arrêt d'urgence touche centrale)

robot Camper Trolley

télécommande

Problématique du sujet

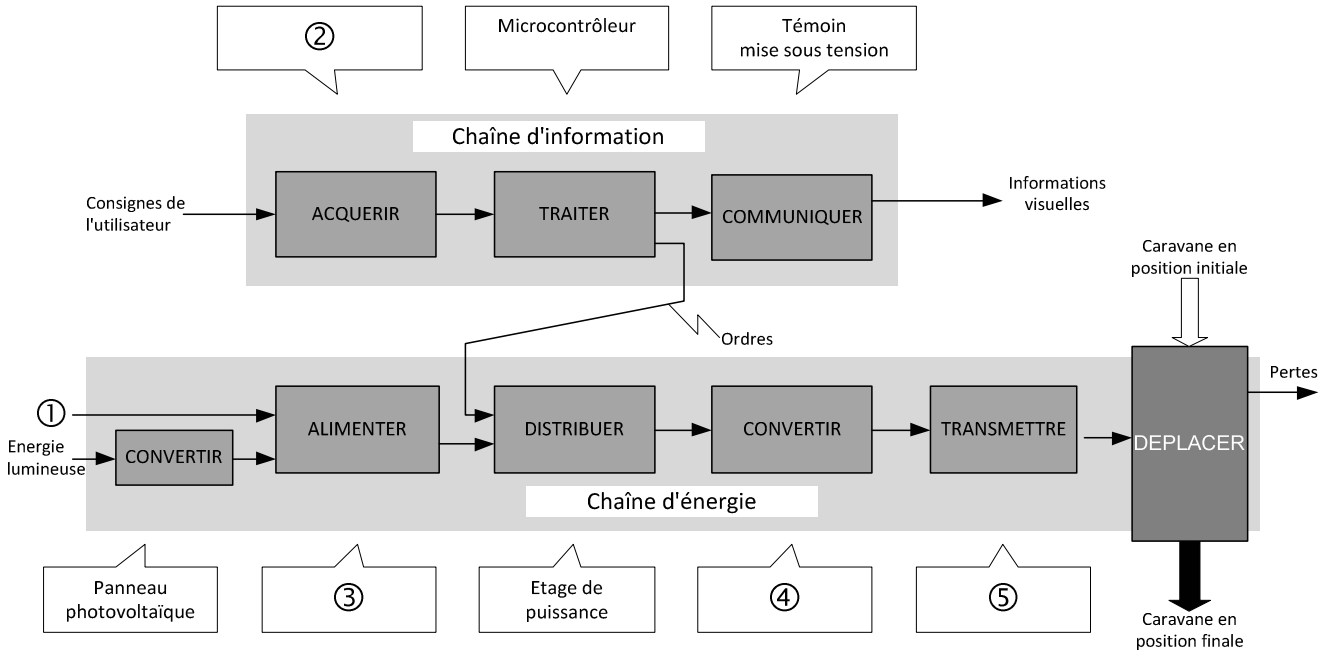
On souhaite vérifier que le système permet de répondre aux besoins plus spécifiques des caravaniers :

- *déplacer une caravane de taille moyenne dont la masse n'excède pas une tonne sur terrain herbeux humide ;*
- *faire varier la vitesse de déplacement afin d'avoir un positionnement plus précis de la caravane sur son emplacement.*

A. Analyses fonctionnelle et structurelle du Camper Trolley

L'objectif de cette partie est d'identifier des solutions techniques permettant au trolley de déplacer une caravane.

Chaîne fonctionnelle de la phase de déplacement du Camper Trolley.

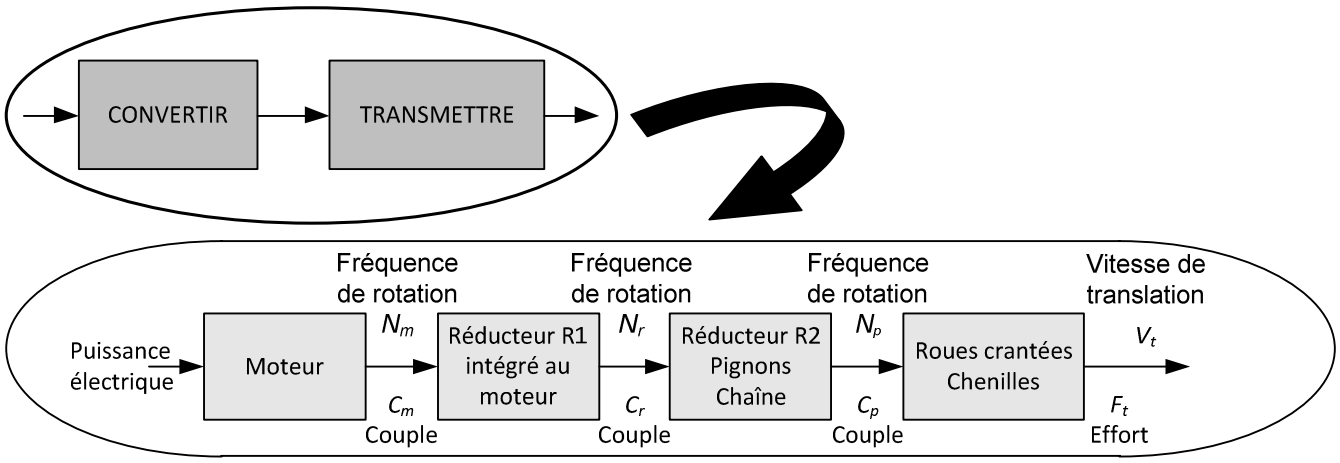


Q1) À l'aide de la présentation du système et du document technique DT1, indiquer la désignation des éléments qui réalisent les fonctions repérées ② à ⑤ ainsi que la grandeur repérée ①.

B. Vérification des performances du Camper Trolley

L'objectif de cette partie est de vérifier la vitesse du Camper Trolley par rapport au sol.

Les blocs fonctions « convertir » et « transmettre » du schéma de la page précédente peuvent se décomposer sous la forme suivante.



On rappelle les relations servant à modéliser le comportement du moteur à courant continu :

- force électromotrice, $E = U - r \cdot I$;
- relation entre force électromotrice et fréquence de rotation, $E = k \cdot \Omega$ avec $\Omega = 2\pi \cdot N$ (N en tr·s^{-1}) ;
- relation couple/intensité, $C_e = k \cdot I$; k est appelée « constante de couple » en N·m·A^{-1}.

La plaque signalétique sur le motoréducteur affiche les valeurs suivantes *:*

Z2D95-12/2GN234		
12 VDC	**13 A**	**95 W**
1 : 234	**30 N·m**	**19 tr·min^{-1}**
résistance de l'induit : ***r* = 0,11 Ω**		

Le document DT2 précise les caractéristiques de la chaîne cinématique constituée de la transmission pignons-chaîne et de la transmission roues crantées-chenille.

Q2) Faire correspondre les caractéristiques suivantes du motoréducteur avec leurs valeurs respectives :

Rapport de réduction du réducteur	**12 VDC**
Tension nominale	**30 N·m**
Courant nominal	**95 W**
Puissance utile en sortie moteur	**1 : 234**
Fréquence de rotation en sortie réducteur	**13 A**
Couple de sortie du réducteur	**19 tr·min^{-1}**

Q3) En utilisant les caractéristiques de la plaque signalétique, déterminer la fréquence de rotation N_m du moteur (avant le réducteur) à son régime nominal.

Sauf indication contraire, on prendra pour la suite N_m = 4 450 tr·min^{-1}.

Q4) Calculer la valeur de la force électromotrice E dans l'induit du moteur au point de fonctionnement nominal.

Q5) En déduire la valeur de la constante de couple *k.*

Q6) Vérifier que le couple électromagnétique C_e fourni par le moteur dans ces conditions vaut 0,295 N·m. Calculer le couple utile C_m délivré par le moteur. En déduire C_p le couple de pertes dans le moteur.

Dans la suite du sujet, on considère que ce couple de pertes C_p reste constant quelle que soit la fréquence de rotation du moteur.

Le courant I_0 absorbé par le moteur lorsqu'il n'entraîne aucune charge (courant mesuré à vide) vaut 4 A.

Q7) Vérifier la valeur de C_p calculée précédemment ainsi que la fréquence de rotation N_0 à l'aide de cette donnée.

En situation réelle, le moteur n'est pas alimenté sous sa tension nominale, mais par une batterie d'accumulateurs lithium/ion. Complètement chargée, elle délivre une tension de 15,9 V lorsque le moteur est en fonctionnement.

Q8) Vérifier que la fréquence de rotation à vide du moteur N_m pour cette nouvelle tension est proche de 6 500 tr·min^{-1}. En déduire la fréquence de rotation N_r de l'arbre de sortie du réducteur.

Sauf indication contraire, on prendra pour la suite N_m = 6 500 tr·min^{-1}.

Le pignon mené (repère 29) et la roue crantée (repère 27) sont en liaison encastrement et tournent à la même fréquence N_p.

À partir des caractéristiques des transmissions (documents techniques DT1 et DT2)

Q9) Calculer le rapport de réduction de la transmission pignons-chaîne : $i_2 = N_p / N_r$. En déduire le rapport de transmission global des deux réducteurs $i_g = N_p / N_m$.

Q10) Déterminer la fréquence de rotation N_p des roues crantées entraînant les chenilles.

Q11) Déterminer le diamètre primitif D_p d'une roue crantée. En déduire la norme de la vitesse V_c d'un point situé sur la chenille du Camper Trolley. On considérera une chenille d'épaisseur négligeable, en contact avec la roue crantée au niveau du cercle primitif.

On se place dans le cas d'un déplacement en ligne droite du Camper Trolley sur un sol sec, c'est-à-dire sans phénomène de glissement des chenilles par rapport au sol.

Q12) Déterminer la vitesse de déplacement V_t du Camper Trolley par rapport au sol. Conclure sur la valeur trouvée au regard des données du constructeur.

C. Étude de la motorisation

L'objectif de cette partie, est de déterminer le couple C_m que doit fournir chacun des deux moteurs du Camper Trolley pour tracter la caravane.

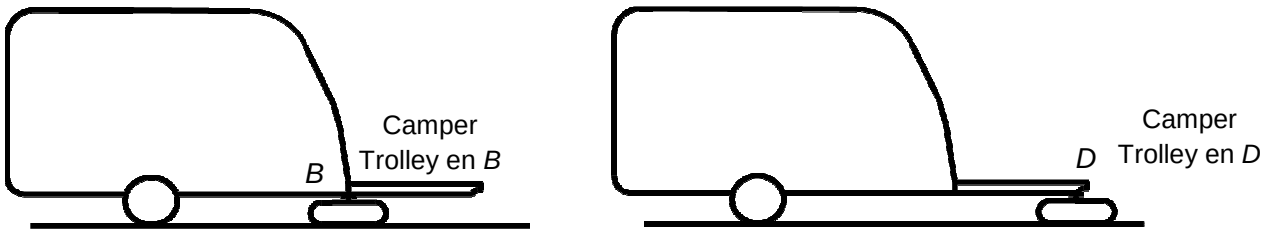
Le document technique DT2 propose un schéma de la caravane de poids $\left\|\vec{P}\right\| = 15$ kN sur lequel apparaissent les dimensions et les points utiles. *G* est le centre d'inertie de la caravane.

Le constructeur préconise de fixer le Camper Trolley sur la caravane le plus loin possible du point d'attelage avec le véhicule (point *D*).

Remarque : lors de l'utilisation du Camper Trolley pour tracter la caravane, il faut relever la petite roue d'appui (en contact avec le sol au point *C*) pour ne plus avoir contact de celle-ci sur le sol.

Hypothèse :

- *problème dans le plan $(O_0, \vec{x}, \vec{y})$;*
- *Camper Trolley à l'arrêt ;*
- *action mécanique du Camper Trolley sur la caravane modélisée par un glisseur tel que $\vec{B}(trolley \rightarrow caravane) = B_y(trolley \rightarrow caravane) \cdot \vec{y}$.*

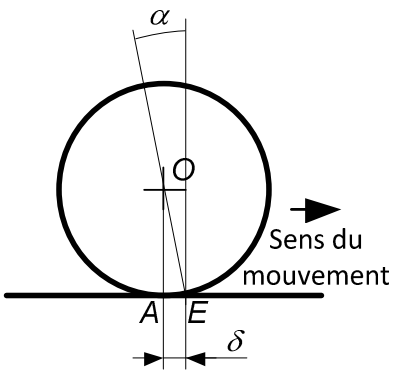


Q13) En utilisant, au point *A*, le théorème du moment statique (principe fondamental de la statique) appliqué à la caravane, déterminer la valeur de $B_y(trolley \rightarrow caravane)$ dans le cas où le Camper Trolley est fixé au point *B*. Déterminer la valeur de cette même action dans le cas où il est fixé au point *D* (voir ci-dessus). Expliquer pourquoi le fait de choisir le point *B* permet d'améliorer l'adhérence du Camper Trolley sur le sol.

Sauf indication contraire, on considérera pour la suite que le Camper Trolley est fixé au point *B* et que la valeur de l'action mécanique $B_y(trolley \rightarrow caravane)$ est de 1 700 N.

Lorsqu'une roue roule sur le sol (voir figure ci-après), on peut modéliser l'action mécanique de contact du sol sur la roue par une résultante dont le point d'application *E* est situé « en avant » (dans le sens du mouvement roue/sol) par rapport à un axe vertical passant par le centre *O* de la roue. Cette distance *AE* notée δ s'appelle le « facteur de roulement ». Elle est fonction de la pression de gonflage du pneu et de la déformation du sol. Sur un terrain dur (bitume ou assimilé), on utilise couramment comme valeur $\delta = 1\,\text{cm}$.

Afin de déterminer complètement l'action mécanique du Camper Trolley sur la caravane au point *B* il faut préalablement isoler une roue de la caravane.



On néglige le poids de la roue devant les autres actions mécaniques mises en jeu.

Le facteur de frottement entre la roue et le sol est *f* = 0,7.

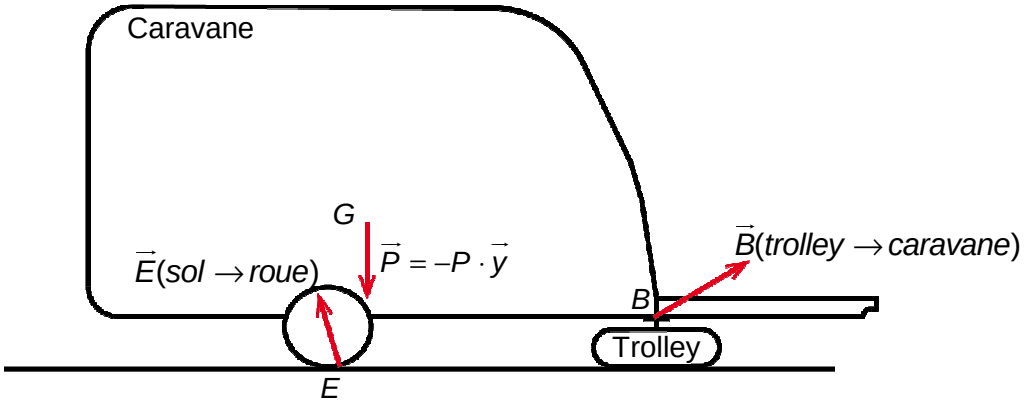
La roue est en équilibre, et soumise à l'action de deux efforts de même norme et de sens opposés :

$$\vec{E}(sol \rightarrow roue) \text{ et } \vec{O}(caravane \rightarrow roue)$$

Q14) Dans ces conditions, préciser s'il y a roulement sans glissement de la roue sur le sol. Justifier la réponse.

On isole maintenant **l'ensemble de la caravane** (voir document technique DT2 et figure ci-dessous sur laquelle les normes et directions des vecteurs ne modélisent pas les actions réelles) qui est soumise à trois actions mécaniques :

- une action à distance, le poids : $\vec{P} = -P \cdot \vec{y}$
- deux actions mécaniques de contact : $\vec{E}(sol \rightarrow roue)$ et $\vec{B}(trolley \rightarrow caravane)$



Le principe fondamental de la statique (PFS) appliqué à l'ensemble isolé donne en projection :

- sur l'axe $(O_0, \vec{x})$: $B_x(trolley \rightarrow caravane) - \left\|\vec{E}(sol \rightarrow roue)\right\| \cdot \sin\alpha = 0$
- sur l'axe $(O_0, \vec{y})$: $B_y(trolley \rightarrow caravane) + \left\|\vec{E}(sol \rightarrow roue)\right\| \cdot \cos\alpha - P = 0$

Par ailleurs, une relation géométrique donne, si *D* est le diamètre de la roue : $\tan\alpha = \dfrac{2\delta}{D}$.

Q15) Déterminer $B_x(trolley \rightarrow caravane)$ en fonction de *P*, $B_y(trolley \rightarrow caravane)$, δ et *D*. Donner sa valeur lorsque $\delta = 0$. En déduire la conséquence sur la motorisation du trolley.

Sauf indication contraire, on prendra pour la suite : 105 mm pour le diamètre primitif des roues crantées et 500 N pour la composante horizontale de l'action mécanique du Camper Trolley sur la caravane au point *B*.

La norme de cette action se répartit à égalité sur les deux chenilles, il faut donc la diviser par deux pour pouvoir obtenir F_t et en déduire le couple C_r de chacun des deux motoréducteurs.

Q16) Calculer le rendement η de la chaîne cinématique constituée de la transmission pignons-chaîne et de la transmission roues crantées-chenille (voir document technique DT2).

Q17) En écrivant la définition du rendement η de cette chaîne cinématique, calculer le couple C_r en sortie d'un des deux motoréducteurs. Conclure sur la valeur du couple C_r trouvé au regard des données du constructeur.

D. Conditions d'adhérence du Camper Trolley

L'objectif de cette partie est d'évaluer la capacité du Camper Trolley à déplacer une caravane de taille moyenne, dont la masse n'excède pas 1 tonne, sur un terrain herbeux humide.

Dans cette partie, on considère de nouvelles hypothèses.

$B_x\left(caravane \rightarrow trolley\right) = -1620$ N et $B_y\left(caravane \rightarrow trolley\right) = -1100$ N.

La composante sur l'axe $(O_0, \vec{y})$ de l'action mécanique du sol sur le Camper Trolley est : $B_y\left(sol \rightarrow trolley\right) = -B_y\left(caravane \rightarrow trolley\right) + p$, p étant la norme du poids du trolley.

La composante sur l'axe $(O_0, \vec{x})$ de l'action mécanique de la caravane sur le Camper Trolley est : $B_x\left(caravane \rightarrow trolley\right)$.

Q18) Indiquer si, dans ces conditions, la transmission des chenilles sur le sol est sans glissement. On prendra $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ et un facteur de frottement entre la chenille et le sol de 0,3.

Q19) Conclure sur la capacité du Camper Trolley à tracter la caravane sur terrain humide.

E. Bilan énergétique et autonomie

Autonomie

Le courant absorbé par le Camper Trolley en fonctionnement d'avance linéaire en condition de traction maximale vaut 13 A par moteur, soit 26 A. La capacité de la batterie est 5,6 A·h.

Q20) Déterminer l'autonomie t_{th} du Camper Trolley dans ces conditions (en minute et seconde).

Q21) Calculer la distance maximale d_{th} théorique sur laquelle il est possible de déplacer la caravane (en mètre) dans ces mêmes conditions si la vitesse d'avance vaut 6,5 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$.

En situation réelle les moteurs ne sont pas sollicités en permanence ; la marche s'effectue par à-coups, un seul moteur est en fonctionnement lorsque le Camper Trolley vire à gauche ou à droite et les moteurs absorbent un courant plus faible lorsqu'il tourne sur lui-même.

Q22) Compléter le document réponse DR1 afin de calculer le courant moyen I_{moy} absorbé par le Camper Trolley d'après le profil d'utilisation.

Q23) On estime la vitesse moyenne de déplacement dans ces conditions égale à $5\ \text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. Déterminer dans ce cas l'autonomie en temps d'utilisation $t_{réel}$, ainsi que la distance de déplacement $d_{réelle}$ correspondante (en mètre).

Rechargement

La charge de la batterie peut être effectuée, soit à l'aide du chargeur secteur qui délivre 1 A sous la tension de charge de la batterie (16,4 V), soit à l'aide du panneau solaire intégré dont les caractéristiques sont données sur de document DT3.

On souhaite recharger la batterie, après épuisement total, au moyen du chargeur fourni.

Q24) Déterminer le temps de charge t_{chg} minimal nécessaire pour recharger la batterie lorsque cette dernière est complètement déchargée.

On souhaite maintenant étudier les possibilités de recharge de la batterie par l'intermédiaire du panneau photovoltaïque intégré (toujours dans le cas d'une batterie complètement déchargée).

Q25) Déterminer le courant moyen I_{sol} de charge pour un éclairement de type soleil direct. En déduire la durée de charge t_{sol} de la batterie dans ces conditions, en heures, puis en jours à 12 h de charge par jour.

En situation réelles les conditions d'éclairement d'une semaine-type sont :

- temps d'ensoleillement productif, 12 h/jour ;
- exposition du panneau à mi ombre ;
- 4 jours ensoleillés, 2 jours nuageux.

Q26) Déterminer le courant moyen de charge I_{camp}. En déduire le temps de rechargement t_{camp} du Camper Trolley dans ces conditions. Cette option de charge est-elle réaliste ?

F. Conceptions matérielle et logicielle

Conception matérielle

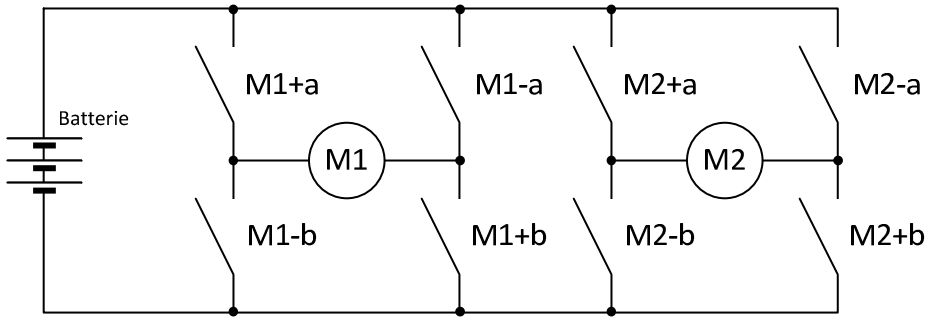
Malgré toutes ses qualités, le Camper Trolley est peu commode à manipuler car on ne sait pas comment le porter aisément. Afin de pallier cet inconvénient, on désire lui intégrer un système de préhension.

Q27) Préciser en argumentant votre choix une solution envisageable pour permettre une manipulation plus aisée du système. Un croquis peut aider à une bonne compréhension de la solution proposée.

Conception logicielle

On souhaite maintenant adapter la commande du Camper Trolley pour permettre d'obtenir une plus grande souplesse de fonctionnement, afin de pouvoir manœuvrer la caravane avec une meilleure précision.

Les moteurs sont pilotés de la façon suivante :



Les informations provenant du clavier de la télécommande ainsi que les sorties de pilotage des transistors sont connectées sur le microcontrôleur de la façon suivante :

Port A	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
Transistor	M2-b	M2+b	M1-b	M1+b	M2-a	M2+a	M1-a	M1+a
Port B	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
Touche	-	-	-	AU	GA	DR	AR	AV

Q28) Expliquer le rôle de l'opération décrite dans la macro MASQUE du document réponse DR1. Les valeurs numériques sont notées en décimal. Il est nécessaire d'effectuer une conversion en binaire.

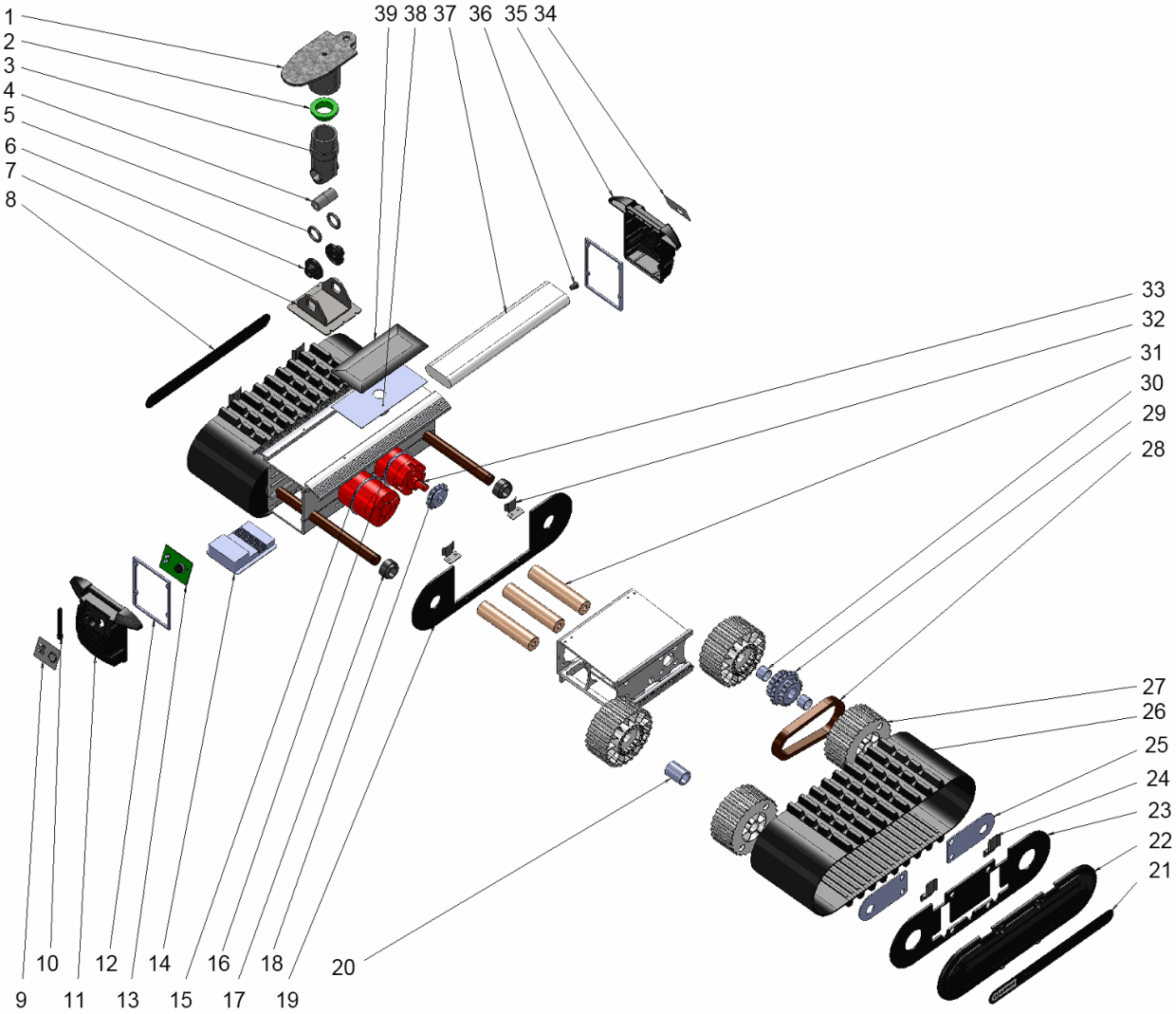
Un extrait du programme principal est donné sur le document DR1.

Q29) Donner la valeur de *C0* à tester pour obtenir un délai de deux secondes à partir du moment où la variable *TOUCHE* = 9 est vraie. Donner l'état des variables des ports A et B avant et après ce délai et décrire le fonctionnement correspondant du Camper Trolley. On négligera le temps des instructions.

On souhaite maintenant pouvoir appliquer une rampe de vitesse au démarrage du Camper Trolley ; on affecte pour cela une variable *VITESSE* qui devra évoluer progressivement de la valeur 55 à 255 par paliers de 10 sur une durée de 4 s.

Q30) Proposer une structure d'algorithme correspondant à ce cahier des charges. Citer la grandeur physique à laquelle doit correspondre la variable *VITESSE* sur le moteur. Conclure sur l'intérêt de la rampe de vitesse et sur la méthode utilisée pour la réaliser.

DT1 − Constitution du Camper Trolley −



Rep.	Nb.	Désignation	Rep.	Nb.	Désignation
1	1	Patte de montage soudée	21	1	Étiquette latérale gauche
2	1	Bague nylon	22	2	Couvercle
3	1	Bras de suspension	23	2	Flasque extérieur
4	1	Bague de suspension	24	4	Guide chenille extérieur
5	1	Anneau élastique pour arbre 20 × 4,5	25	4	Plaque de maintien d'arbre de roue
6	1	Bagues	26	2	Chenille pas p = 12,7 mm
7	1	Fixation du bras de suspension	27	8	Roue crantée Z_{27} = 26 crans
8	1	Étiquette latérale droite	28	2	Chaîne
9	1	Étiquette on/off	29	2	Pignon mené Z_{29} = 19 dents
10	1	Antenne caoutchouc	30	4	Bague de roue crantée motrice PTFE
11	1	Couvercle – coté récepteur	31	6	Galet
12	1	Joint mousse	32	4	Guide chenille intérieur
13	1	Carte récepteur (circuit imprimé)	33	2	Motoréducteur
14	1	Module de commande moteur	34	1	Étiquette côté chargeur
15	1	Joint caoutchouc	35	1	Couvercle côté chargeur
16	1	Joint caoutchouc – côté arbre	36	1	Connecteur d'alimentation
17	16	Entretoise	37	1	Batterie lithium/ion
18	2	Pignon moteur Z_{18} = 14 dents	38	1	Adhésif double face
19	2	Flasque intermédiaire	39	1	Panneau photovoltaïque
20	2	Bague de roue crantée porteuse			

DT2 − Caractéristiques des transmissions −

Transmission pignons-chaîne

- nombre de dents du pignon menant repère 18 : Z_{18} = 14 ;
- nombre de dents du pignon mené repère 29 : Z_{29} = 19 ;
- rendement $\eta_2 = 0{,}97$.

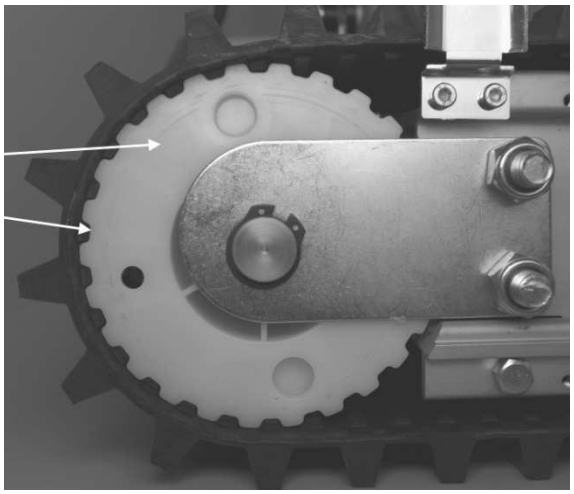
Transmission roues crantée-chenille

Rendement : $\eta_3 = 0{,}83$

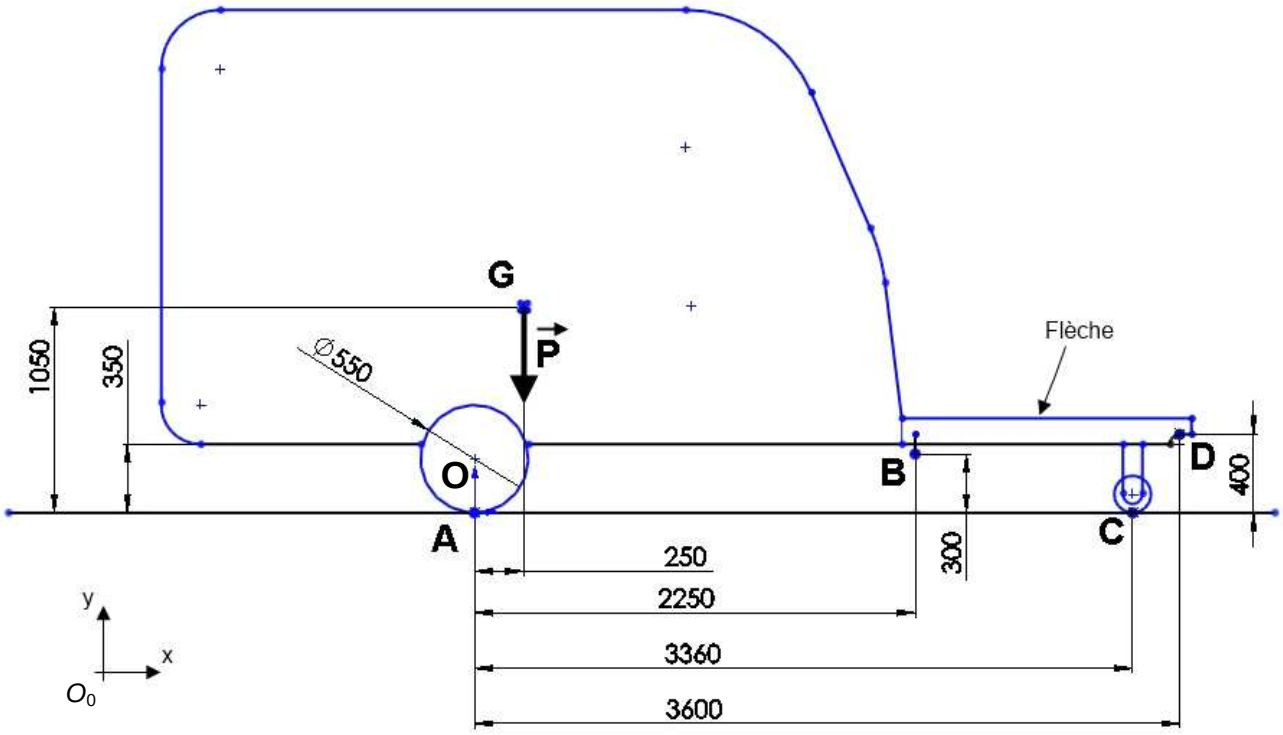
Roue crantée repère 27 : Z_{27} = 26 crans

Chenille et roue : pas p = 12,7 mm

Diamètre primitif : D_p avec $D_p = \dfrac{Z \cdot p}{\pi}$



Dimensions de la caravane (en mm)



DT3 − Caractéristiques des dispositifs de rechargement de la batterie −

Chargeur secteur :

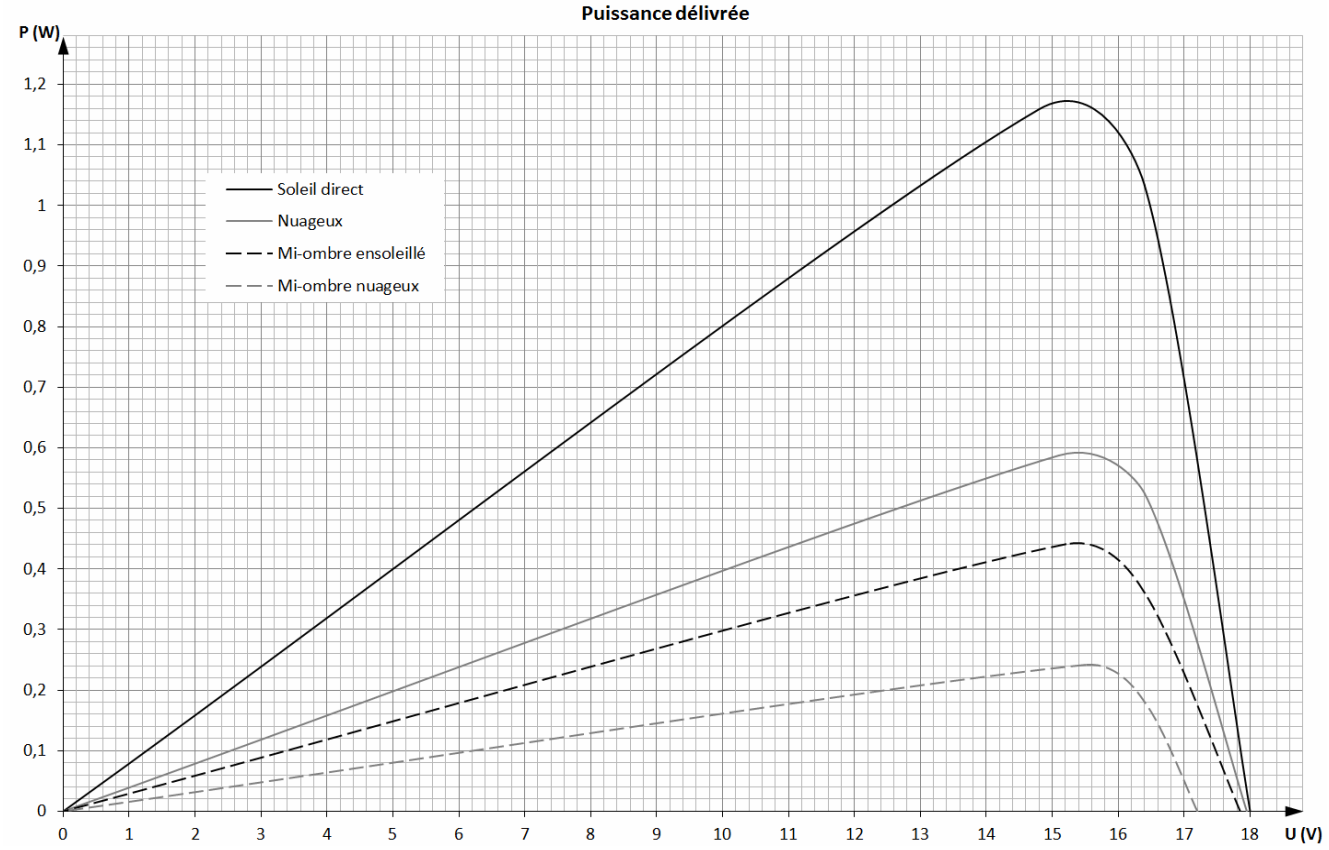
Tension d'entrée :	230 V
Tension de sortie :	16,4 V
Courant de charge :	1,0 A

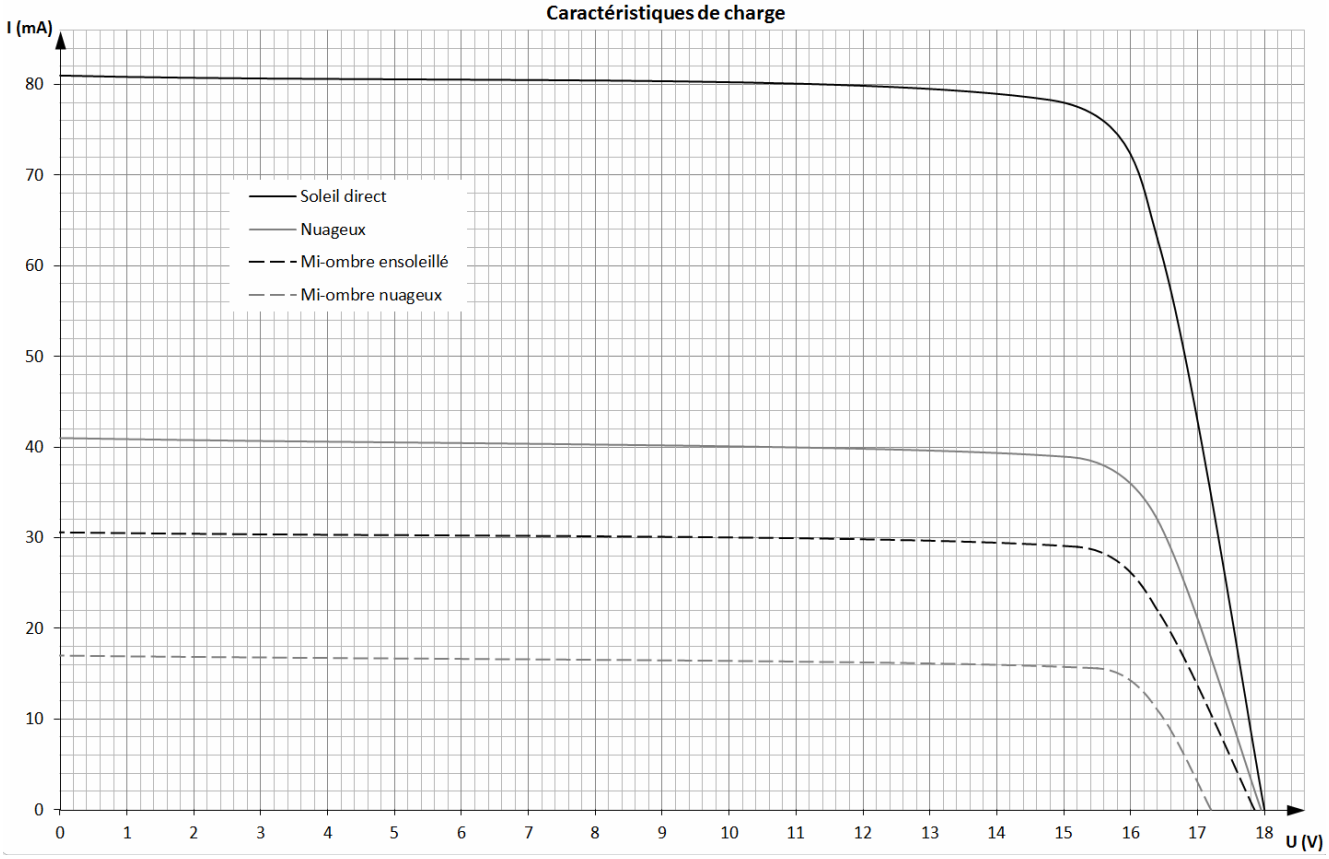
Panneau solaire photovoltaïque :

Valeurs nominales :	18,0 V – 1,17 W

Batterie :

Capacité :	5 600 mA·h
Tension nominale :	14,4 V





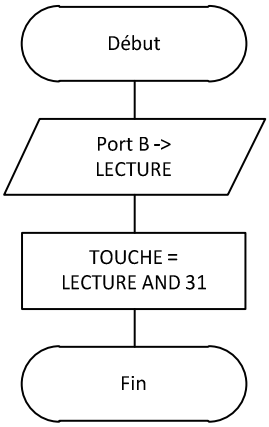
DR1

Bilan énergétique (Q22)

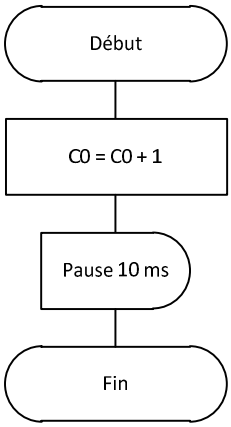
Valeur moyenne de l'intensité : _____

Conception Logicielle (Q28, Q29, Q30)

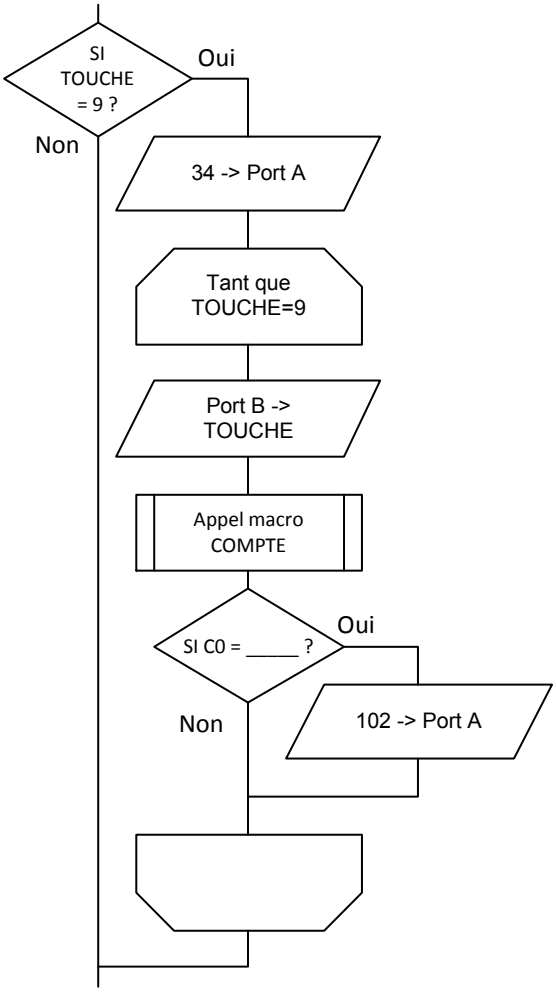
Macro MASQUE



Macro COMPTE

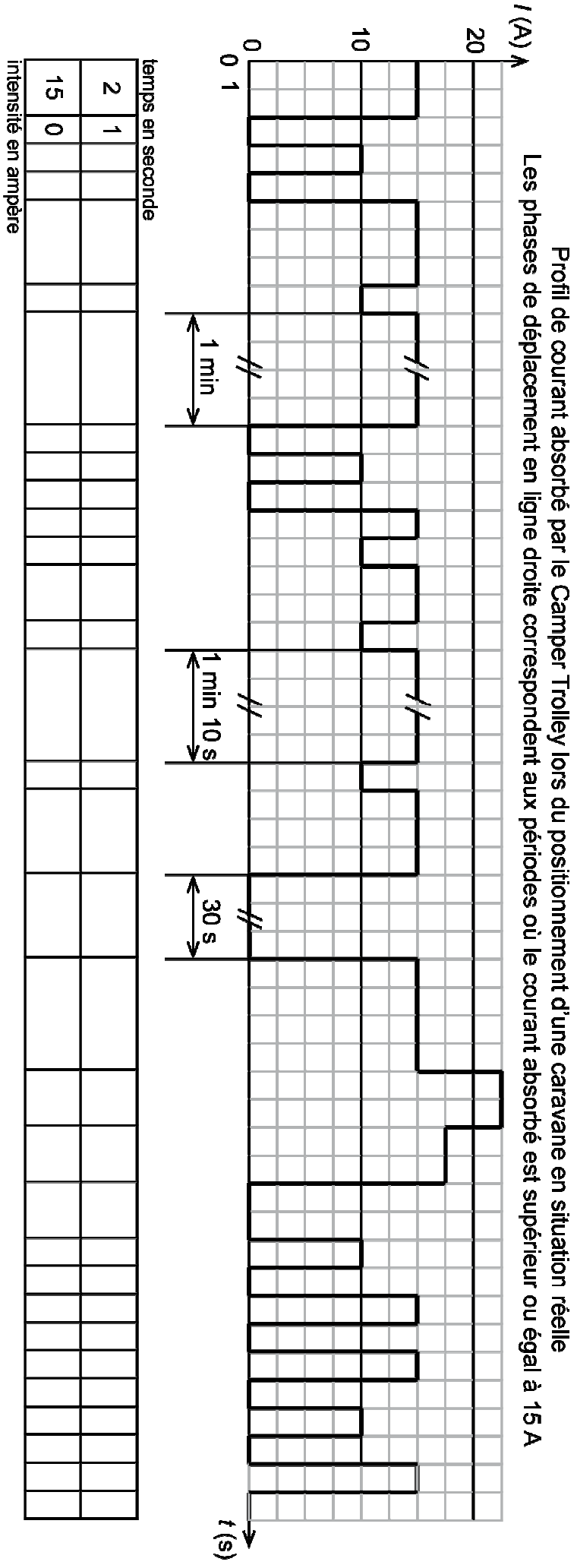


Programme à modifier



Profil de courant absorbé par le Camper Trolley lors du positionnement d'une caravane en situation réelle

Les phases de déplacement en ligne droite correspondent aux périodes où le courant absorbé est supérieur ou égal à 15 A



intensité en ampère

15	0	2	1

temps en seconde