



COURS PI

☆ *L'école sur-mesure* ☆

de la Maternelle au Bac, Établissement d'enseignement
privé à distance, déclaré auprès du Rectorat de Paris

TERM G

Sciences de l'Ingénieur

Module 3 - Autonomie des produits et projet pluri-technologique



- ✓ **Leçons détaillées**
pour apprendre les notions en jeu
- ✓ **Exemples et illustrations**
pour comprendre par soi-même
- ✓ **Prolongement numérique**
pour être acteur et aller + loin
- ✓ **Exercices d'application**
pour s'entraîner encore et encore
- ✓ **Corrigés des exercices**
pour vérifier ses acquis



v 7.1



SCIENCES DE L'INGÉNIEUR TERMINALE

Module 3 – Autonomie des produits et projet pluri-technologique

L'AUTEUR



Dorian JACQUOT

« C'est l'exigence et la bienveillance qui m'ont toujours animé pour concevoir ce manuel par lequel nous partons ensemble à la découverte de ce qui fait les sciences de l'ingénieur : la connaissance scientifique d'une part, mais aussi la démarche, la réflexion, la conception et la communication ». Ingénieur en systèmes mécaniques et professeur agrégé en sciences industrielles de l'ingénieur, Dorian enseigne cette discipline à la croisée des sciences et de l'innovation. Passionné par les langues, en plus de parler couramment Python, Java, HTML, CSS, PHP, C++... il maîtrise également l'anglais et l'espéranto.

PRÉSENTATION

Les produits technologiques sont conçus et développés à la suite d'un processus complexe, en plusieurs étapes, qu'on appelle un **projet**. L'ingénieur doit connaître ce processus, et être capable de mener une **démarche de projet**, du début à la fin, pour créer un produit innovant, adapté au monde d'aujourd'hui et à ses futurs utilisateurs.

Dans ce module, vous allez mener un **projet pluri-technologique**, dans lequel vous devrez mobiliser des connaissances en **démarche de projet**, et vos connaissances et savoir-faire dans plusieurs **domaines technologiques** à la fois, comme la mécanique ou l'électronique par exemple.

Avant de se lancer dans ce projet, il va falloir compléter vos connaissances, en abordant les derniers concepts du programme de Sciences de l'Ingénieur : vous allez notamment approfondir des notions concernant la **chaîne de puissance**, et ses interactions avec la **chaîne d'information**.



LE SOMMAIRE

Sciences de l'Ingénieur – Module 3 – Autonomie des produits et projet pluri-technologique

CHAPITRE 1. Les produits autonomes 1

Q COMPÉTENCES VISÉES

- Analyser la réversibilité d'un élément de la chaîne de puissance
- Stockage de l'énergie
- Analyser le comportement d'un système asservi
- Associer un modèle à un système asservi

Q PRÉREQUIS

- Modules, 1, 2 et 3 de Première SI

Première approche	2
1. Réversibilité de la chaîne de puissance.....	4
2. Stockage de l'énergie électrique	10
3. Autonomie de fonctionnement	15
4. Systèmes asservis.....	20
Le temps du bilan	27

CHAPITRE 2. Les projets pluri-technologiques 29

Q COMPÉTENCES VISÉES

- Analyser le besoin, l'organisation matérielle et fonctionnelle d'un produit par une démarche d'ingénierie système
- Imaginer une solution originale, appropriée et esthétique
- Élaborer une démarche globale d'innovation
- Matérialiser une solution virtuelle
- Utiliser un modèleur 3D
- Évaluer une solution
- Rendre compte de résultats
- Quantifier les écarts de performances entre valeurs attendues, valeurs mesurées et valeurs obtenues par simulation

Q PRÉREQUIS

- Chaîne d'information et de puissance
- Algorithmique
- Prototypage de la chaîne d'information
- Démarche de projet
- Projet : module 4 de Première SI

Première approche	30
1. Conception et prototypage de la partie matérielle	31
2. La démarche de projet	35
3. Le projet : présentation, besoin et cahier des charges.....	37
4. Le projet : en route	42
Les Clés du Bac : zoom sur le Grand Oral.....	45

CORRIGÉS 47



Tous les exercices proposés dans ce manuel disposent de corrigés-types.

Pour une meilleure manipulation :

- ✓ Dans la **version papier**, vous les retrouverez regroupés en toute fin du fascicule, et les repérez à leur impression sur **papier de couleur**.
- ✓ Dans la **version numérique** de l'ouvrage, ils vous sont accessibles en scannant le QR code ci-contre.





CHAPITRE 1

LES PRODUITS AUTONOMES



Dans ce premier chapitre, nous allons mobiliser un nombre important de notions que nous avons déjà rencontrées, à propos de la **chaîne de puissance**, de **l'énergie**, puis de la **chaîne d'information**, tout en les complétant. Ce croisement entre **énergie**, **mécanique**, **électronique** et **informatique** va nous permettre de définir ce qu'est un **produit autonome**, d'appréhender ses besoins, puis finalement de modéliser un tel produit.

Nous commencerons par revenir sur la chaîne de puissance, pour aborder le concept de **réversibilité** de ses composants. Nous approfondirons ensuite la fonction « **stocker de l'énergie** », que nous n'avons fait que survoler en première. Au terme de cette première moitié du chapitre, nous aurons vu comment les produits peuvent atteindre l'autonomie énergétique.

Dans la seconde moitié du chapitre, nous étudierons ce qu'on appelle des **produits mécatroniques** ou **robotiques**. Ces produits ont la particularité d'avoir :

- à la fois une chaîne de puissance très développée, manipulant des flux d'énergie importants et comportant des mécanismes complexes ;
- et à la fois une chaîne d'information complexe, embarquant de nombreux capteurs et une unité de traitement puissante, qu'on peut programmer.

Nous verrons que ces produits sont capables de mettre en œuvre, de manière autonome, des stratégies de **régulation** de certains de leurs paramètres (vitesse pour une voiture par exemple) : on dit alors que ces paramètres sont **asservis**.

Q COMPÉTENCES VISÉES

- Analyser la réversibilité d'un élément de la chaîne de puissance
- Stockage de l'énergie
- Analyser le comportement d'un système asservi
- Associer un modèle à un système asservi

Q PRÉREQUIS

- Modules 1, 2 et 3 de Première SI

- 4) Quels types de composants (sans rentrer dans les détails) de la chaîne d'information du drone vous semblent impliqués dans l'autonomie de ce produit ?

- 5) Quels types de composants (sans rentrer dans les détails) de la chaîne de puissance du drone vous semblent impliqués dans l'autonomie de ce produit ?

- 6) Comment les deux chaînes fonctionnent-elles ensemble pour donner l'autonomie complète au drone ?

CORRIGÉ

1. Éléments de réponse :

- on peut évoquer l'autonomie en énergie : dans ce cas le produit peut embarquer une réserve d'énergie (piles/batterie pour l'électricité ou réservoir d'essence par exemple), ou bien il peut produire sa propre énergie avec un panneau solaire portable.

- on peut aussi évoquer l'autonomie en termes de fonctionnement autonome : dans ce cas le produit peut se diriger tout seul, et effectuer des tâches complexes sans intervention humaine. Le produit est alors pourvu d'une IA.

2. Une voiture radiocommandée classique transporte une réserve d'énergie (pile, batterie ou essence), elle possède donc une autonomie énergétique. En revanche, elle est pilotée par radiocommande par un humain, et n'a donc aucune autonomie sur son fonctionnement.

3. Le DJI Dock est totalement autonome en énergie, il peut même se recharger tout seul avec son dock. En termes de fonctionnement, il est aussi parfaitement autonome, et peut se déplacer et réaliser des tâches de surveillance tout seul par exemple.

4. Le DJI Dock se sert d'un grand nombre de capteurs et d'une unité de traitement performante (microprocesseur) avec des algorithmes complexes (intelligence artificielle). Ces éléments lui permettent de connaître l'état de son environnement et de prendre les bonnes décisions pour réaliser ses tâches. Il doit notamment comporter des capteurs lui permettant de connaître son propre état (état de sa batterie, altitude, etc.) qui lui permettent de s'auto-gérer.

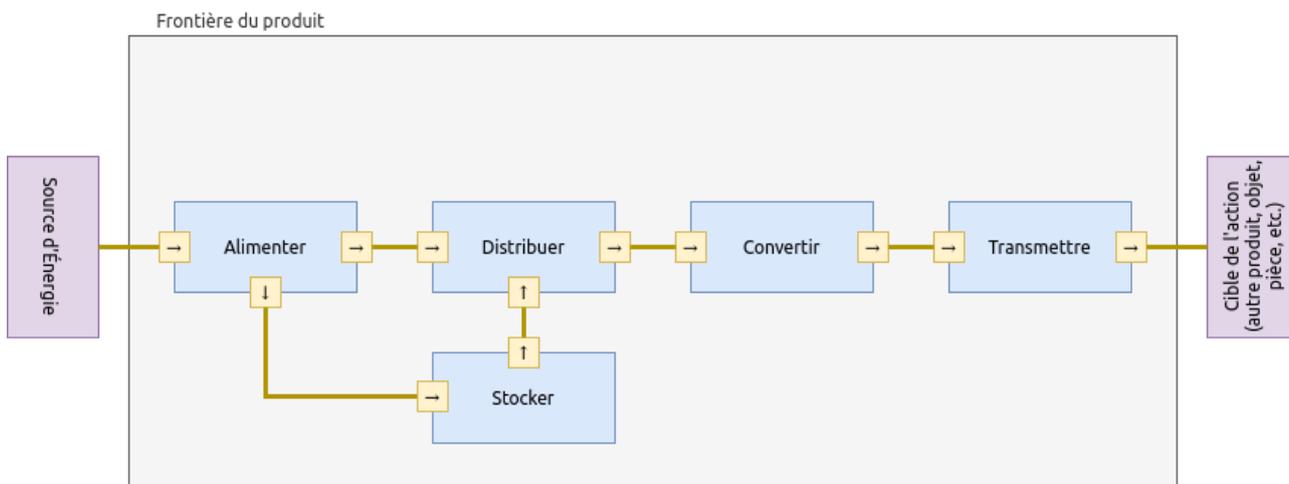
5. Le DJI Dock dispose d'une batterie, pour assurer son autonomie en énergie (fonction stocker), et du dock pour se recharger (fonction alimenter). Il dispose aussi d'actionneurs et de systèmes de transmission (moteurs, engrenages et les hélices) pour pouvoir se déplacer et ainsi réaliser les actions qu'il doit entreprendre : ces éléments lui donneront une « autonomie de mouvement ».

6. La chaîne d'information va contrôler la chaîne de puissance, un peu comme le cerveau contrôle les muscles. La chaîne de puissance va aussi transmettre des données à la chaîne d'information, comme l'état de la batterie par exemple.

RAPPEL : CHAÎNE DE PUISSANCE

La chaîne de puissance d'un produit est l'assemblage de plusieurs composants. Chaque composant reçoit, manipule et/ou transmet un flux d'énergie. Chaque composant est associé à une fonction de puissance, qui indique le rôle de composant dans la manipulation de l'énergie.

Structure d'une chaîne de puissance :



Remarque : un produit n'a pas besoin de posséder toutes les fonctions de la chaîne de puissance.



EXEMPLES

Une voiture électrique comporte :

- un système de charge et une prise électrique, qui lui donnent la fonction « alimenter » ;
- une batterie qui lui donne la fonction « stocker » ;
- une carte de contrôle du moteur, avec un variateur de tension qui lui donne la fonction « distribuer » ;
- un moteur électrique qui lui donne la fonction « convertir » ;
- un système de transmission direct entre l'arbre moteur et les roues avant, qui lui donne la fonction « transmettre ».



RÉVERSIBILITÉ DE LA CHAÎNE DE PUISSANCE

Composant réversible



L'ESSENTIEL

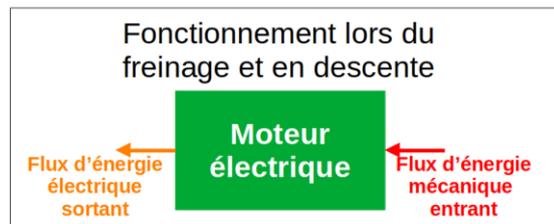
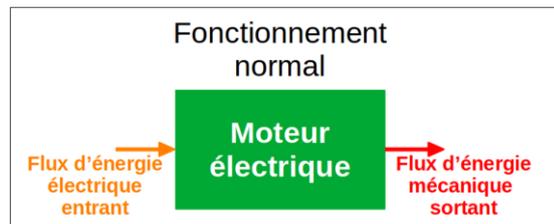
Un composant de la chaîne de puissance est réversible s'il peut être traversé par un flux d'énergie dans les deux sens.



EXEMPLES

Si on reprend l'exemple de la voiture électrique, et qu'on analyse la réversibilité de son moteur, on remarque que :

- en fonctionnement normal, le moteur reçoit de la puissance électrique, provenant de la batterie et distribuée par un variateur de tension. Il convertit cette puissance électrique en puissance mécanique, puis la transmet aux roues ;
- lors de certaines phases particulières d'un trajet en voiture, comme le freinage ou lors des descentes, le moteur va se transformer en générateur de courant : il reçoit alors de la puissance mécanique en provenance des roues, qu'il convertit en puissance électrique et transmet au chargeur de la batterie pour la recharger.



Conclusion : le moteur est un composant réversible, car il peut être traversé par un flux d'énergie dans les deux sens.

Remarque : la réversibilité n'est pas à confondre avec le sens de rotation du moteur ! Si la voiture fait une marche arrière, le moteur tourne à l'envers, mais nous sommes toujours dans un cas où la puissance électrique entre dans le moteur et la puissance mécanique en sort.

La plupart des **systèmes de transmission mécaniques** sont réversibles : engrenages, pignon/crémaillère, poulies/courroie, pignons/chaînes, écrou/vis-sans-fin, etc. En effet, le premier élément peut entraîner le second, tout comme le second peut entraîner le premier.

Comme exemples de composants non réversibles, on peut citer :

- le moteur thermique, qui convertit une puissance chimique/thermique en puissance mécanique, mais n'est pas capable de faire l'opération inverse ;
- la lampe, qui convertit une puissance électrique en puissance rayonnante, mais n'est pas capable de faire l'opération inverse ;
- certaines variantes des systèmes de transmission mécaniques, dont on modifie la géométrie, sont irréversibles : c'est notamment le cas de certains types de systèmes écrou/vis-sans-fin qui permettent l'entraînement de l'écrou par rotation de la vis, mais qui bloquent l'entraînement de la vis par rotation de l'écrou. On obtient ainsi un système écrou/vis-sans-fin irréversible.

Chaîne de puissance réversible



L'ESSENTIEL

Une chaîne de puissance est réversible si et seulement si tous ses composants sont réversibles.

Si un seul des composants n'est pas réversible, alors la chaîne, dans son ensemble, n'est pas réversible.



À VOUS DE JOUER 1

Voici les chaînes de puissance de plusieurs produits.

Remarque : la direction des flèches dans les ports d'un composant indique le sens du flux d'énergie traversant un composant, à un instant t . Par exemple, une flèche vers la droite n'implique pas que le composant soit irréversible : cela signifie simplement qu'au moment choisi pour représenter la chaîne de puissance, le flux d'énergie allait « vers la droite ».

Chaîne de puissance véhicule 1 :



Chaîne de puissance véhicule 2 :



Chaîne de puissance radiateur :



1. À quel type d'énergie (mécanique, rayonnante, etc.) correspondent les couleurs bleu-vert, rouge, orange et violet ?

.....

.....

.....

.....

2. Pour chaque chaîne, encadrez en vert les composants réversibles et en rouge les composants non-réversibles.

3. Indiquez, en justifiant, si ces chaînes de puissance sont réversibles ou non.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4 QUADRANTS DE FONCTIONNEMENT DU MOTEUR

Vitesse angulaire et couple

Un **moteur électrique** est un composant capable de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation. Le mouvement de rotation produit par le moteur est caractérisé par :

- sa **vitesse angulaire**, ou **vitesse de rotation**, notée ω , et exprimée en rad/s ou en tr/min. Si la rotation se fait dans le sens trigonométrique, la vitesse de rotation est positive, sinon, elle est négative ;
- son **couple**, noté **C**, et exprimé en Nm. Il représente la « force de rotation » que le moteur imposera aux autres composants mécaniques de la chaîne de puissance. Le couple est positif si l'action du moteur consiste à pousser les autres composants mécaniques à tourner dans le sens trigonométrique, sinon, il est négatif.

Fonctionnement moteur et générateur

Le moteur électrique peut avoir **deux modes de fonctionnement** :

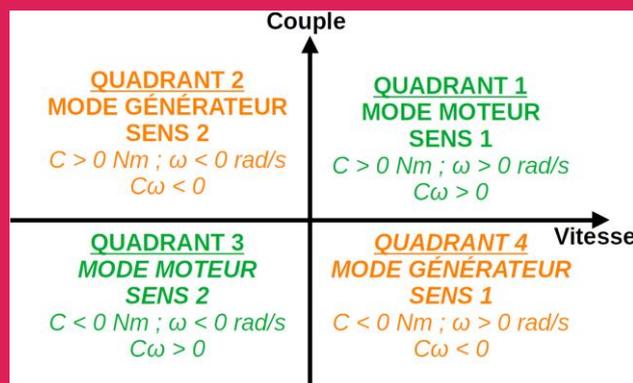
- Soit la vitesse de rotation du moteur et le couple ont le même signe (tous les deux positifs, ou tous les deux négatifs) : dans ce cas $P_{\text{moteur}} = C \times \omega > 0W$, le couple du moteur a pour rôle d'entraîner les composants mécaniques de la chaîne de puissance, de les pousser dans le sens de la rotation. On dit alors que le moteur fonctionne en « **mode moteur** », et que son action est **motrice**. Dans cette configuration, le moteur consomme de l'énergie électrique.
- Soit la vitesse de rotation du moteur et le couple ont des signes opposés (le couple moteur s'oppose au sens de rotation) : dans ce cas $P_{\text{moteur}} = C \times \omega < 0W$, le couple moteur a pour rôle de freiner les composants mécaniques de la chaîne de puissance, de s'opposer à leur rotation. On dit alors que le moteur fonctionne en « **mode générateur** », et que son action est **génératrice**. Dans cette configuration, le moteur produit de l'énergie électrique et **freine** le mécanisme.



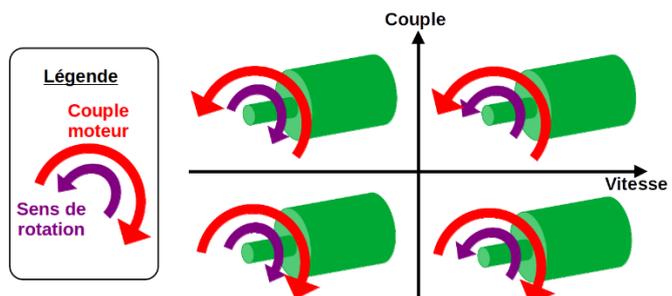
L'ESSENTIEL

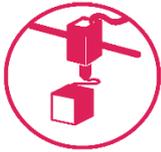
Les différentes configurations de fonctionnement d'un moteur électrique peuvent être représentées dans un graphique, qu'on appelle les 4 quadrants de fonctionnement du moteur :

- en quadrants 1 et 3, le moteur est en mode moteur ;
- en quadrants 2 et 4, le moteur est en mode générateur ou frein.



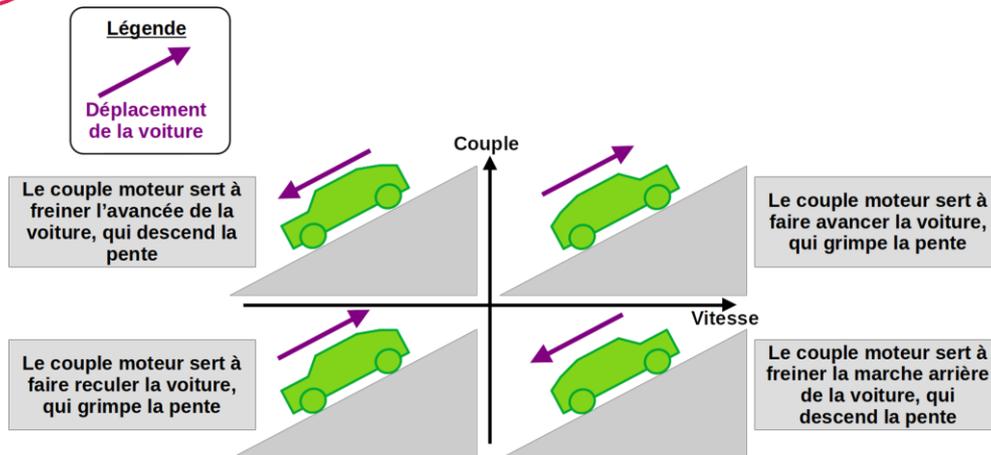
Si on représente, dans chaque quadrant, le sens de rotation du moteur et le couple qu'il applique aux autres éléments, on obtient :





EXEMPLES

Pour illustrer les 4 quadrants avec une application concrète, on peut représenter le déplacement d'une voiture électrique sur une pente :



Cet exemple illustre bien le fait qu'un véhicule électrique est en mesure de récupérer de l'énergie dans certains cas de figure. En particulier, lorsque le véhicule est en pente, et que son mouvement suit la pente. Le véhicule peut alors utiliser son moteur comme frein : il récupère ainsi de l'énergie tout en limitant/contrôlant la vitesse. Cela s'applique aussi si le véhicule doit freiner pour s'arrêter à un stop ou à un feu rouge.



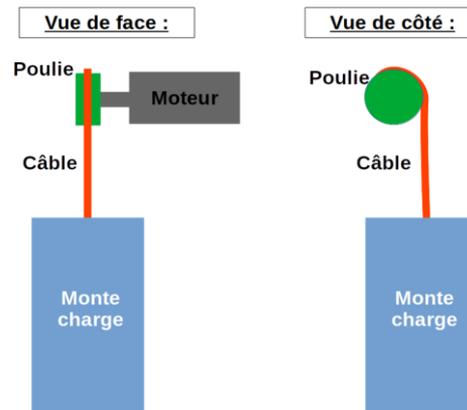
À VOUS DE JOUER 2

Voici la chaîne de puissance d'un monte-charge :

Rappel : la direction des flèches dans les ports d'un composant indique le sens du flux d'énergie traversant un composant, à un instant t : elle n'implique pas que le composant soit irréversible, même si la flèche est unidirectionnelle.



Ci-contre, un schéma simplifié de sa structure mécanique. Le câble s'enroule autour de la poulie durant la montée, et se déroule lors de la descente. Le moteur électrique est réversible, et il peut être utilisé pour freiner la descente du monte-charge.



1. Lors de la montée du monte-charge, dans quel mode se trouve le moteur électrique ?

.....

2. Lors de la montée du monte-charge, dans quel quadrant se trouve le moteur électrique ? Note : « sens 1 » = sens trigonométrique.

.....

3. Lors de la descente du monte-charge, qui est freinée, dans quel mode se trouve le moteur électrique ?

.....

4. Lors de la descente du monte-charge, qui est freinée, dans quel quadrant se trouve le moteur électrique ?

.....

Au cours de la montée du monte-charge, une personne saute sur le monte-charge. Sa masse, combinée à celle déjà sur le monte-charge, provoque la descente du monte-charge alors que le moteur continue d'essayer de le faire monter.

5. Dans cette situation, dans quel mode se trouve le moteur électrique ?

.....

.....

6. Dans cette situation, dans quel quadrant se trouve le moteur électrique ?

.....

.....

Étude mécanique générale : dans cette dernière partie, il va falloir mobiliser des connaissances des modules précédents.

7. Dans cette question, nous nous plaçons dans une situation d'équilibre statique : le moteur va retenir le monte-charge en position statique. Le monte-charge (et son chargement) a alors une masse de 340kg. Déterminez la norme de la force $\overrightarrow{F}_{\text{monte-charge} \rightarrow \text{câble}}$.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

8. En isolant l'ensemble {poulie+câble}, et sachant que le rayon de la poulie est de 8cm, quel sera le couple produit par le monte-charge, sur l'axe de la poulie, pour une masse du monte-charge de 340kg (la masse du câble, du moteur et de la poulie sont négligées) ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Le moteur met ensuite le monte-charge en mouvement, en abaissant temporairement son couple, afin d'engager la descente du monte-charge. Dans la suite, on supposera que le couple exercé par le moteur sur la poulie est de 265Nm durant toute la descente. On considérera aussi que la descente se fait à vitesse constante de 0,1 m/s.

9. Quelle est la vitesse de rotation, en tour/s, puis la vitesse angulaire, en rad/s, de la poulie ?

.....
.....
.....

10. Lors de la descente, la poulie entraîne le moteur, qui est en mode générateur et reçoit donc de la puissance. Quelle est la puissance mécanique de rotation, qui sera reçue par le moteur ?

.....
.....
.....

11. Le moteur possède un rendement de 0,92 : quelle sera finalement la puissance récupérée par le réseau électrique ?

.....
.....
.....

12. Sachant qu'une descente complète est longue de 3,2m, quelle sera l'énergie totale récupérée lors d'une descente ? Donnez le résultat en Wh.

.....
.....
.....



LES PRODUITS AUTONOMES

Stockage de l'énergie électrique

Dans la partie précédente, nous avons vu que certains produits possèdent une chaîne de puissance réversible. Lorsqu'ils passent en « mode générateur », ils peuvent récupérer de l'énergie, et éventuellement la stocker. Dans cette partie, nous allons étudier les technologies et systèmes de stockage qui peuvent être utilisés pour assurer le stockage de l'énergie électrique.

Remarque : ce qui sera présenté dans cette partie est valable pour tous les produits ayant besoin de stocker de l'énergie électrique, pas uniquement ceux dont la chaîne de puissance est réversible.

PILES ET ACCUMULATEURS

Les principaux systèmes de stockage d'énergie électrique sont les **pires** et les **accumulateurs**. Les accumulateurs, qu'on appelle couramment « piles rechargeables », se distinguent par le fait qu'ils peuvent être rechargés en énergie. Les piles et les accumulateurs fournissent un **courant électrique continu**, à une tension fixe, en se déchargeant.



L'ESSENTIEL

Une pile ou un accumulateur est caractérisé par :

- la tension à ses bornes, notée U , et exprimée en Volt (V) ;
- l'intensité maximale du courant qu'il peut délivrer, notée I_{\max} , et exprimée en Ampère (A) ;
- sa capacité, notée Q , qui représente la quantité de courant qu'il peut délivrer et s'exprime en ampère-heure (Ah) ou souvent en milliampère-heure (mAh).

Remarque : l'intensité maximale n'est pas toujours donnée, car, la plupart du temps, le courant nécessaire pour alimenter le produit est généralement très faible par rapport à ce que la pile/accumulateur d'énergie peut produire.

Pour faire fonctionner un appareil, la tension de la pile/accumulateur doit être la même que la tension de fonctionnement de l'appareil. De plus, l'intensité maximale de la pile/accumulateur doit être supérieure à celle nécessaire à l'appareil pour fonctionner.



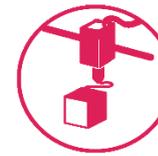
L'ESSENTIEL

La puissance maximale qu'une pile ou un accumulateur peut délivrer vaut :

$$P_{\max} = U \times I_{\max}$$

L'énergie contenue dans une pile ou un accumulateur vaut :

$$E = Q \times U$$



EXEMPLES

Les piles AAA, aussi nommées LR03, sont un des modèles les plus courants. On s'en sert dans les télécommandes et les petits produits électroniques ; elles possèdent une tension de 1,5V, et une capacité comprise entre 1000 mAh et 1500 mAh selon les modèles.



Les piles AA, qui sont un peu plus grandes, possèdent aussi une tension de 1,5V, mais leur capacité est plus importante, autour des 2000mAh à 3000mAh selon les modèles.

Des accumulateurs au format AA, utilisant la technologie NiMH (une des technologies d'accumulateurs les plus courantes, aux côtés des accumulateurs au Lithium), auront une tension de 1,2V et une capacité autour des 2000mAh. Elles pourront être rechargées environ 1000 fois.

Remarque : le nombre de cycles de recharge d'un accumulateur n'est pas infini : au bout d'un moment l'accumulateur ne peut plus être rechargé correctement. Le nombre de cycles dépend de la technologie.



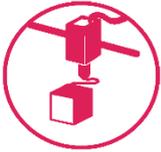
L'ESSENTIEL

L'autonomie d'une source d'énergie, qu'on notera A , s'exprime en h. Elle vaut :

$$A = \frac{Q}{I_{\text{moy}}}$$

avec :

- Q la capacité de la source d'énergie, en Ah ou mAh ;
- I_{moy} , l'intensité moyenne du courant, en A ou mA.



EXEMPLES

Soit une pile AAA, ayant une capacité de 1300 mAh. Si on l'utilise dans une télécommande, qui consomme en moyenne un courant de 0,05mA, alors l'autonomie de la pile sera :

$$A = \frac{Q}{I_{moy}} = \frac{1300}{0,05} = 26000h \approx 3ans$$

La même pile, dans une voiture radiocommandée, qui consomme en moyenne un courant de 2800mA, aura une autonomie :

$$A = \frac{Q}{I_{moy}} = \frac{1300}{2800} \approx 0,464h \approx 28min$$



À VOUS DE JOUER 3

Soit un accumulateur Li-Po délivrant un courant maximal de 8,4A, avec une tension de 3,6V. Sa capacité est de 2500Ah. Sa durée de vie est de 1200 cycles de recharge.

L'accumulateur est installé sur un thermostat d'ambiance. Le thermostat consomme, en fonctionnement normal, un courant de 0,3mA à 3,6V. Lors des pics de consommation, le thermostat a besoin d'1W pour fonctionner. En moyenne, sa consommation de courant sera de 0,6mA.

1. Est-ce que cet accumulateur convient pour faire fonctionner le thermostat en fonctionnement normal. Justifiez.

.....

.....

.....

.....

2. Est-ce que l'accumulateur peut délivrer une puissance suffisante pour faire fonctionner le thermostat ? Justifiez.

.....

.....

.....

3. Au bout de combien de temps l'accumulateur devra-t-il être rechargé ?

.....

.....

.....

4. Quelle énergie totale, en kWh, pourra-t-il stocker au cours de sa vie ?

.....

.....

.....

BATTERIE



L'ESSENTIEL

Une batterie, dont le nom complet est « batterie d'accumulateurs », est un assemblage de plusieurs accumulateurs de mêmes caractéristiques (mêmes tensions, intensités et capacités).

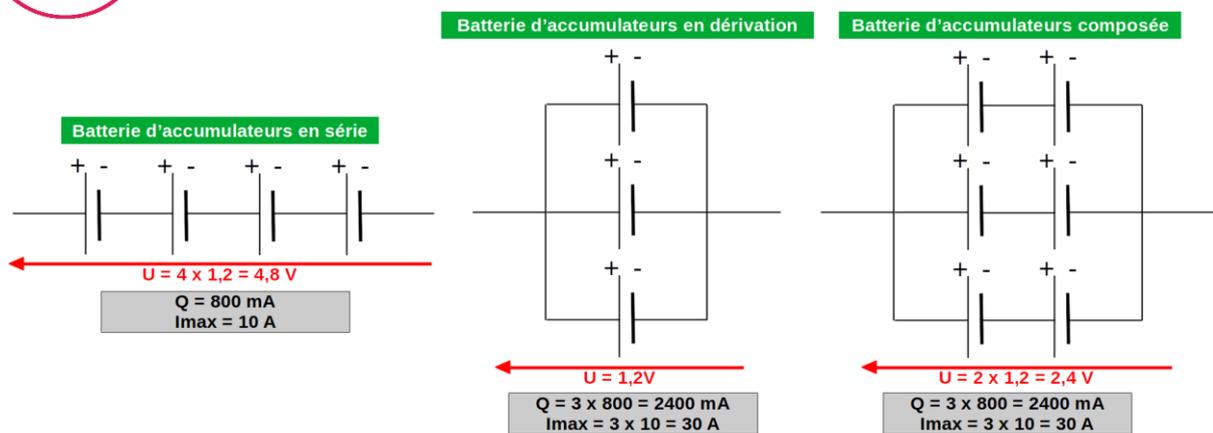
Dans une batterie, les accumulateurs peuvent être associés :

- en **série** : dans ce cas, leurs tensions s'additionnent, et la capacité et l'intensité maximale de la batterie sont égales à celles d'un seul accumulateur ;
- en **dérivation / parallèle** : dans ce cas, leurs capacités et leurs intensités maximales s'additionnent, et la tension de la batterie est égale à celle d'un seul accumulateur ;
- en mélangeant série et dérivation.



EXEMPLES

Voici une série de 3 batteries, construites autour d'un même accumulateur de tension 1,2V, de capacité 800mA et d'intensité max 10 A :



Remarque : on parle aussi parfois de cellules d'une batterie, au lieu d'accumulateurs. Ce n'est pas exactement la même chose, mais au lycée on pourra considérer que cellule = accumulateur.



À VOUS DE JOUER 4

On dispose de six batteries possédant une tension de 12V, et étant capable de délivrer un courant maximal de 60A. Leur capacité est de 45Ah.

1. Quelle est la puissance maximale délivrable par une de ces batteries ?

.....

.....

.....

Vous n'êtes pas obligé d'utiliser les 6 batteries pour les questions suivantes.

2. Proposez, avec un schéma, une association permettant de créer une super-batterie (batterie composée de plusieurs autres batteries associées en série et/ou dérivation) de 60V et 60A. Quelles seront sa capacité et sa puissance maximale ?

.....

.....

.....

3. Proposez, avec un schéma, une association permettant de créer une super-batterie de 12V et 180A. Quelles seront sa capacité et sa puissance maximale ?

.....

.....

.....

4. Proposez, avec un schéma, une association permettant de créer une super-batterie de 36V et 120A. Quelles seront sa capacité et sa puissance maximale ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

03 LES PRODUITS AUTONOMES

Autonomie de fonctionnement

En plus de l'autonomie en énergie, apportée par une batterie, certains produits sont **autonomes** dans leur fonctionnement. Ces produits sont souvent rangés dans la catégorie des **produits mécatroniques** ou **produits robotiques**, ils possèdent à la fois :

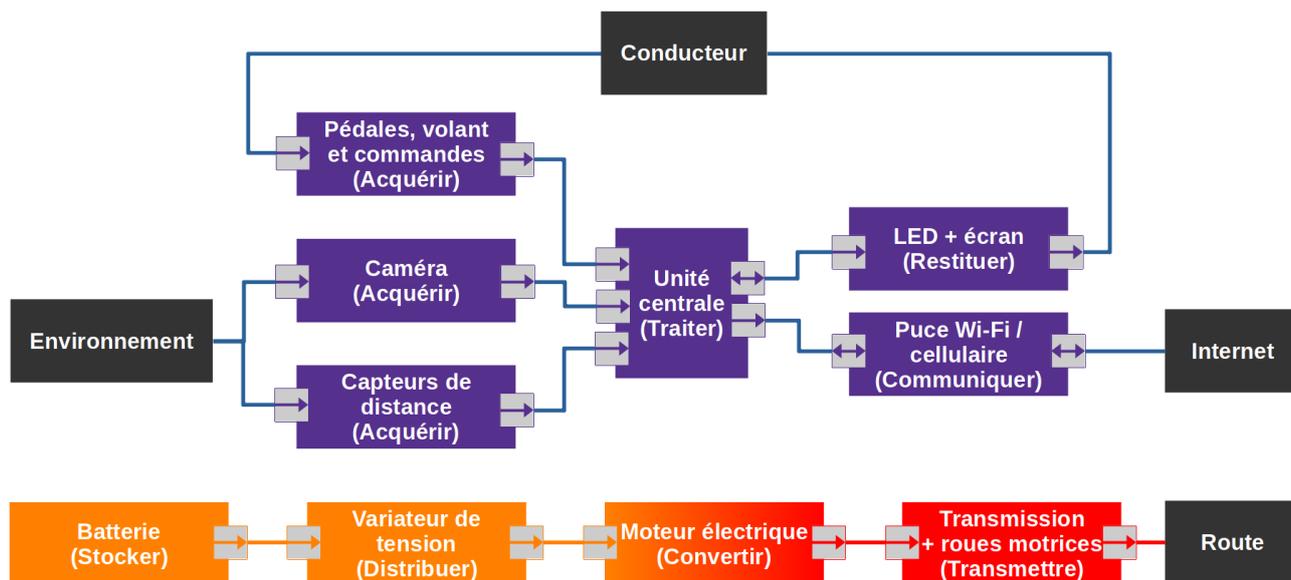
- une partie mécanique/énergétique complexe, pour produire une action ;
- une partie informatique/électronique sophistiquée, pour « sentir » et analyser son environnement, puis prendre des décisions.

Ces produits sont très courants de nos jours (drones, voitures, avions, robots industriels, etc.), et ils ont la propriété de pouvoir fonctionner partiellement, ou intégralement, de manière autonome. Pour cela, leur chaîne d'information et leur chaîne de puissance ne se contentent pas d'exister : elles communiquent ensemble !

ETUDE D'UNE BATTERIE

Dans cette première sous-partie, nous allons analyser un produit : une voiture.

Ci-dessous, vous trouverez une version simplifiée de sa chaîne d'information et de sa chaîne de puissance, représentées sous forme de diagramme SysML de blocs internes :



À VOUS DE JOUER 5

Prenez quelques minutes pour bien analyser le diagramme de blocs internes.

1. Listez les composants de la chaîne d'information.

.....

2. Listez les composants de la chaîne de puissance.

.....

.....

3. À quoi correspondent les couleurs rouge et orange dans le diagramme ?

.....
.....

4. En vous basant uniquement sur les informations présentes sur ce diagramme, est-ce que la voiture semble capable de réguler sa vitesse, ou même de s'arrêter tout simplement ? N.B. : réguler sa vitesse signifie être capable d'atteindre une vitesse voulue, puis être capable de la maintenir de manière stable.

.....
.....
.....
.....
.....
.....

ETUDE D'UNE VOITURE PARTIELLEMENT AUTONOME

La voiture précédente ne disposait, d'après son diagramme de blocs internes, d'aucun moyen de contrôler sa chaîne de puissance : elle n'était donc pas autonome dans son fonctionnement (bien qu'elle soit autonome en énergie !).

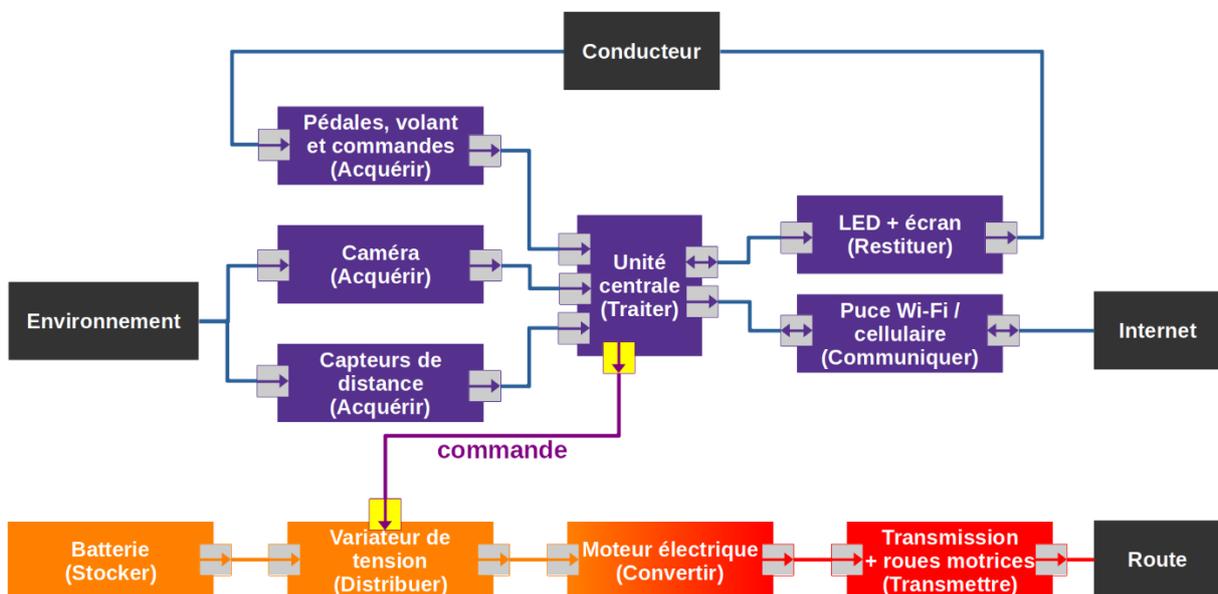


L'ESSENTIEL

Dans un produit autonome, la chaîne d'information pilote la chaîne de puissance en lui envoyant des commandes.

La commande est un **signal électronique** produit par l'élément intelligent du produit, c'est-à-dire celui qui va traiter l'information. Dans la voiture, ce sera donc l'unité centrale qui produira le signal. La commande est généralement transmise au composant chargé de distribuer la puissance. Le signal a pour objectif d'indiquer la quantité du flux d'énergie à transmettre aux autres composants de la chaîne de puissance.

On obtient ainsi le diagramme de blocs internes suivant, avec la commande qui va de l'unité centrale au variateur de tension :





À VOUS DE JOUER 6

Prenez quelques minutes pour bien analyser le diagramme de blocs internes.

1. D'après ce schéma, est-ce que la voiture semble en mesure de s'arrêter ou de démarrer sur demande de l'utilisateur ? Si oui, expliquez comment ce contrôle se déroulera en citant les composants impliqués, et en précisant leurs rôles respectifs. Si non, expliquez ce qu'il manque à la voiture.

Note pour la question suivante : la voiture ne dispose d'aucun dispositif pour connaître l'inclinaison de la route, ou pour connaître sa propre inclinaison.

2. D'après ce schéma, est-ce que la voiture semble en mesure de réguler sa vitesse à une valeur précise, choisie par le conducteur ? Si oui, expliquez comment la régulation se déroule, en citant les composants impliqués dans la régulation, et en précisant leurs rôles respectifs. Si non, expliquez ce qu'il manque à la voiture.

ETUDE D'UNE VOITURE AUTONOME

La voiture précédente ne disposait, d'après son diagramme de blocs internes, d'aucun moyen de mesurer sa vitesse réelle. Elle ne pouvait donc pas savoir si, malgré la commande transmise à sa chaîne de puissance, elle roulait à la vitesse demandée.

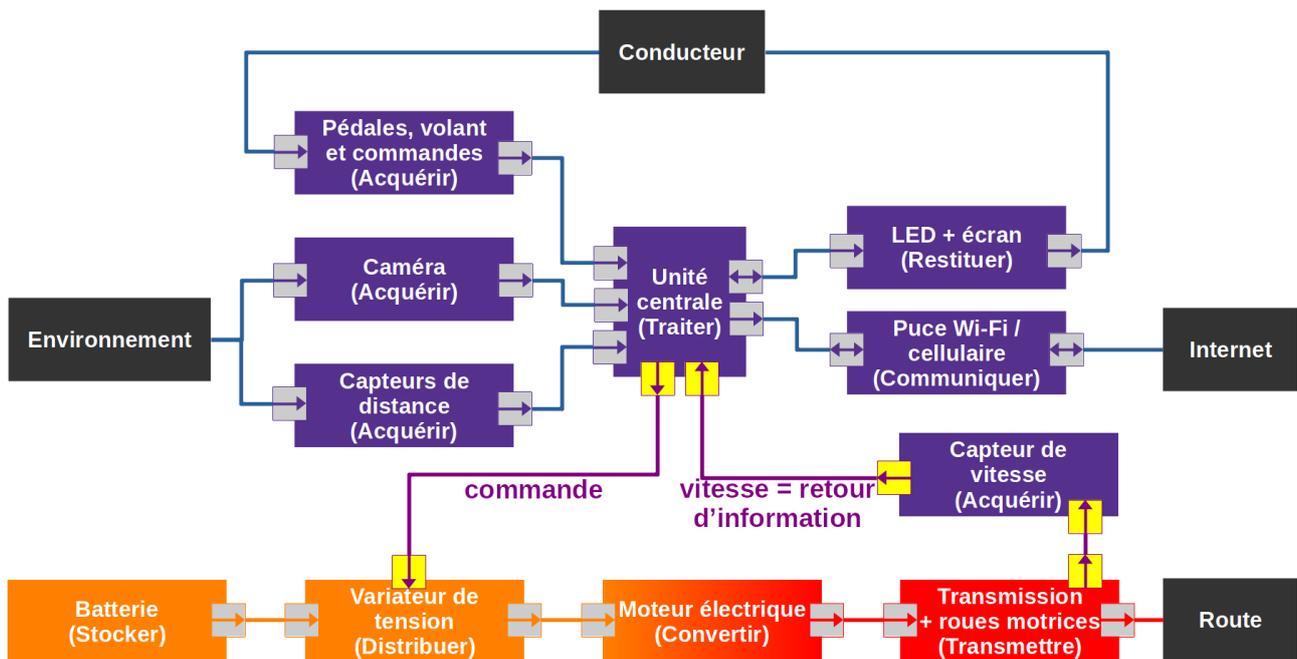
On peut donc imaginer qu'en fonction de la pente de la route, la vitesse pouvait grandement varier. Ce qui manquait à cette voiture c'est un **retour d'information**, de la chaîne de puissance vers la chaîne d'information.



L'ESSENTIEL

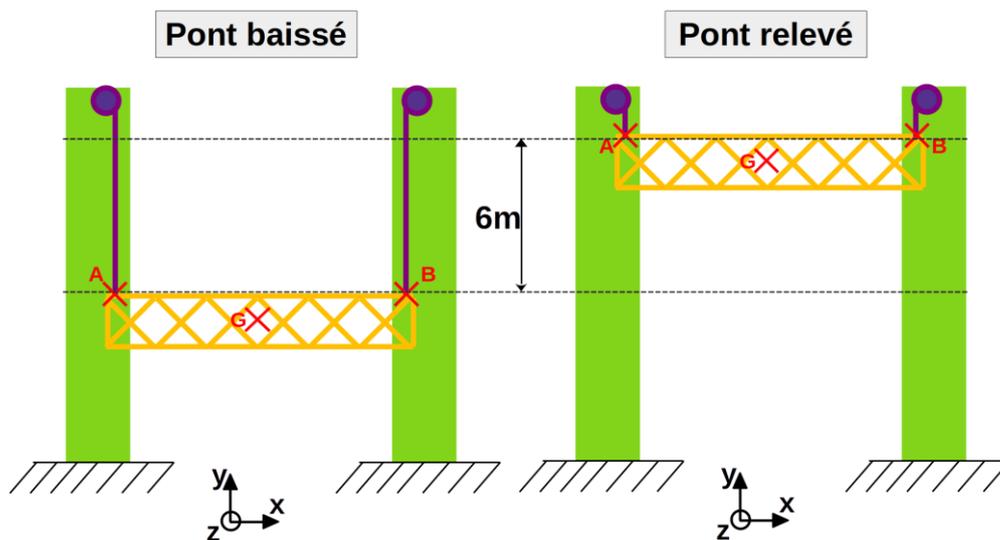
Dans un produit autonome, la chaîne de puissance informe la chaîne d'information en lui envoyant des données mesurées par des capteurs.

L'information à retourner est généralement mesurée au niveau des éléments réalisant la fonction « transmettre », en bout de chaîne de puissance. Le signal produit par le capteur est envoyé au composant chargé de traiter l'information, afin qu'il puisse ajuster la commande en fonction de l'information retournée. En ajoutant le capteur au bon endroit, et le flux d'information qu'il produit, on obtient :



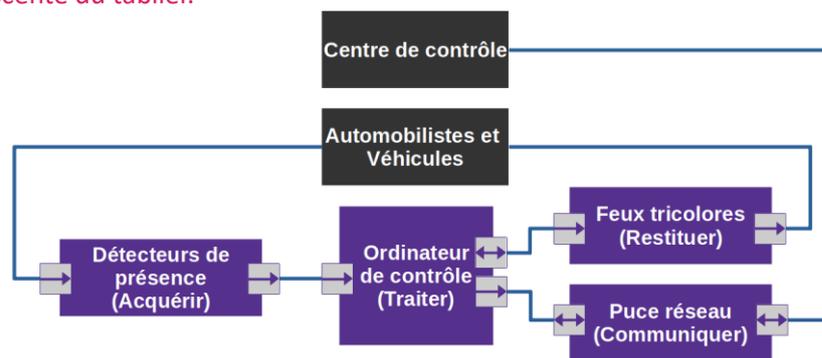
À VOUS DE JOUER 7

Dans cet exercice, on va étudier un pont mobile, capable de se lever. Lors de la levée, le tablier réalise un mouvement de translation verticale, en étant tiré par 2 câbles.



Pour connaître la position exacte du tablier (et en déduire sa vitesse et son accélération si besoin), le pont dispose de **capteurs de longueur résistifs**. Ces capteurs déterminent la longueur de câble déroulé, en mesurant la résistance électrique du câble (qui est proportionnelle à la longueur de câble).

1. Voici la chaîne d'information et la chaîne de puissance de ce pont. Elles sont pour le moment séparées : placez les capteurs de longueur résistifs, puis ajoutez les flux d'information et d'énergie nécessaires pour que le pont puisse être autonome et puisse piloter lui-même, de manière précise, la montée/descente du tablier.



2. Décrivez la boucle d'information permettant au pont de lever le tablier à une hauteur de 8,5m

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....