

# 1SI-A4-A5 ANALYSER

## Chaîne d'énergie

Spécialité Sciences de l'Ingénieur



<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>4</b>
<b>1.1.</b>	<b>La chaîne d'information :</b>	<b>4</b>
1.1.1.	Les entrées / sorties	4
<b>1.2.</b>	<b>La chaîne d'énergie :</b>	<b>5</b>
1.2.1.	L'énergie chimique	5
1.2.2.	L'énergie rayonnante (Lumière et rayonnements)	5
1.2.3.	L'énergie nucléaire	5
1.2.4.	L'énergie électrique	5
<b>2.</b>	<b>CHAINE D'ENERGIE DANS LES SYSTEMES</b>	<b>5</b>
<b>2.1.</b>	<b>Alimenter</b>	<b>6</b>
2.1.1.	Sources électrique centralisée (EDF en France)	6
2.1.2.	Energie d'un fluide	6
<b>2.2.</b>	<b>Distribuer</b>	<b>6</b>
<b>2.3.</b>	<b>Convertir</b>	<b>7</b>
<b>2.4.</b>	<b>Transmettre</b>	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>ENERGIE ET GRANDEURS ASSOCIEES</b>	<b>7</b>
<b>3.1.</b>	<b>Unité de mesure</b>	<b>7</b>
<b>3.2.</b>	<b>Energie potentielle</b>	<b>8</b>
<b>3.3.</b>	<b>Energie cinétique</b>	<b>8</b>
<b>3.4.</b>	<b>Energie thermique</b>	<b>8</b>
<b>3.5.</b>	<b>Le rendement</b>	<b>9</b>
<b>3.6.</b>	<b>La puissance</b>	<b>9</b>
3.6.1.	Formule générale	9
3.6.2.	La puissance électrique	10
3.6.3.	La puissance mécanique d'un mouvement de rotation	10
3.6.4.	La puissance mécanique d'un mouvement de translation	10
<b>4.</b>	<b>APPLICATIONS</b>	<b>10</b>
<b>4.1.</b>	<b>L'énergie : Séance de révision</b>	<b>10</b>
<b>4.2.</b>	<b>L'énergie : Séance de télévision</b>	<b>11</b>
<b>4.3.</b>	<b>Rendement d'un four électrique</b>	<b>11</b>
<b>4.4.</b>	<b>Rendement d'une friteuse électrique</b>	<b>11</b>

4.5.	Rendement d'un groupe électrogène	12
4.6.	Batterie d'un véhicule électrique	13
4.7.	Batterie d'une Peugeot 106 électrique	14
4.8.	Etude énergétique d'une cafetière électrique	15
4.8.1.	Problématique :	15
4.8.2.	Données supplémentaires :	15
4.8.3.	Solutions	15
4.9.	Etude d'une bouilloire	16
4.10.	Etude d'un véhicule thermique	16
4.10.1.	Problématique	16
4.10.2.	Donnée supplémentaire	16
4.11.	Skieur et télésiège	17
4.12.	Energie d'une masse	17
4.13.	Bilan énergétique d'un lève-vitre électrique	18
4.14.	Automobile	18
4.15.	Installation photovoltaïque	18
4.15.1.	Introduction	18
4.15.2.	Problématique	19
4.16.	Etude d'un véhicule électrique	20
4.16.1.	Chaîne d'énergie	20
4.16.2.	Partie 1	21
4.16.3.	Partie 2	21
5.	TENSION ALTERNATIVE	23
5.1.	Introduction	23
5.1.1.	L'intensité efficace,	23
5.1.2.	La tension efficace	23
5.1.3.	Mesure	23
5.1.4.	Le Monophasé :	24
5.1.5.	Le Biphase	24
5.1.6.	Le Triphasé	24
5.1.7.	Le déphasage	24
5.1.8.	L'impédance	24
5.2.	Les puissances	25
5.2.1.	La puissance apparente	25
5.2.2.	La puissance active ou réelle « P »	25
5.2.3.	La puissance réactive	26
5.3.	Bilan des puissances	26

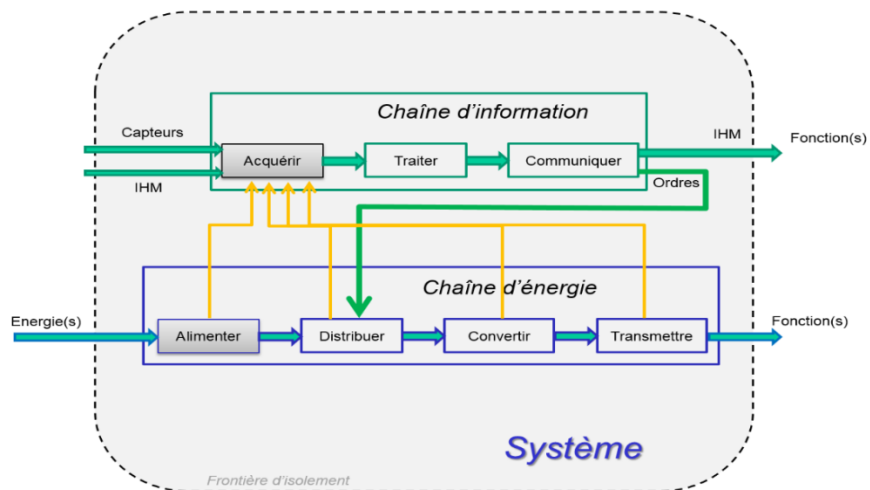
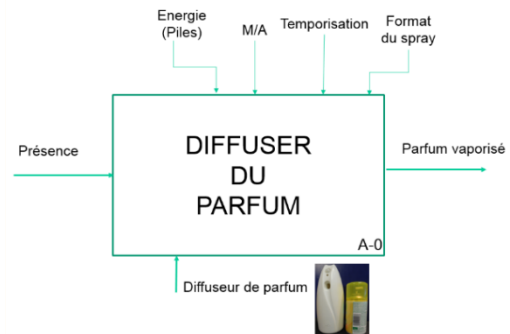
5.4.	Application Etude d'un monte-charge	26
5.4.1.	Données	26
5.4.2.	Problématique	27
6.	SYNTHESE : LES FORMULES A RETENIR	29

## RAPPEL DUREFERENTIEL

	Compétences développées	Connaissances associées
A4	<b>Caractériser la puissance</b> nécessaire au fonctionnement d'un produit ou d'un système Repérer les échanges d'énergie sur un diagramme structurel	Grandeurs physiques (mécanique, électrique, thermique, etc.) mobilisées par le fonctionnement d'un produit
A5	<b>Caractériser l'énergie</b> nécessaire au fonctionnement d'un produit ou d'un système Repérer les échanges d'énergie sur un diagramme structurel	Grandeurs d'effort et de flux liées à la nature des procédés  Rendements et pertes
A2 A3	<b>Repérer les échanges</b> d'énergie sur un diagramme structurel	Diagrammes SysMI

## 1. Introduction

La fonction principale d'un système pluri technologique est d'apporter une valeur ajoutée à un *flux de matières, de données, et/ou d'énergies*. Pour chacun de ces trois flux, un ensemble de procédés élémentaires de stockage, de transport et de conversion, est mis en œuvre pour apporter **la valeur ajoutée** au flux entrant. Il est généralement possible de distinguer deux parties dans un système, **la chaîne d'information** qui agit sur les flux de données et **la chaîne d'énergie** qui agit sur les flux de matières et d'énergies.



### 1.1. La chaîne d'information :

Pour répondre aux fonctions définies dans le CdCF, le système doit pouvoir acquérir *des informations en provenance de l'IHM, du système, de son environnement*, les traiter *en fonction des exigences de fonctionnement*, et transmettre des ordres à la chaîne d'énergie et des informations par l'intermédiaire d'une IHM.

#### 1.1.1. Les entrées / sorties

La mise en fonction du produit est assurée par un interrupteur et un capteur de présence (Capteur IR).

**Les capteurs** sont les éléments principaux de la chaîne d'information en entrée. Ils permettent l'acquisition de données qui, après traitement, seront convertis en ordre de marche ou d'arrêt.

Les informations sont confirmées par des voyants ou des cadrans qui permettent à l'utilisateur d'être informé sur l'état du système.

## 1.2. La chaîne d'énergie :

Elle transforme l'énergie d'entrée pour obtenir l'action de sortie désirée conforme aux exigences du CdCF, en respectant les ordres transmis par la chaîne d'information.

### 1.2.1. L'énergie chimique

L'énergie chimique est l'énergie associée aux liaisons entre les atomes constituant les molécules. Certaines réactions chimiques sont capables de briser ces liaisons, ce qui libère leur énergie (de telles réactions sont dites exothermiques).

Combustion : Conversion en chaleur – et souvent en lumière.

Electrochimique : Conversion en électricité.

### 1.2.2. L'énergie rayonnante (Lumière et rayonnements)

C'est l'énergie transportée par les rayonnements.

L'énergie des rayonnements solaires peut être récupérée et convertie en électricité (énergie photovoltaïque) ou en chaleur récupérée (solaire thermique).

### 1.2.3. L'énergie nucléaire

En transformant les noyaux atomiques, les réactions nucléaires s'accompagnent d'un dégagement de chaleur.

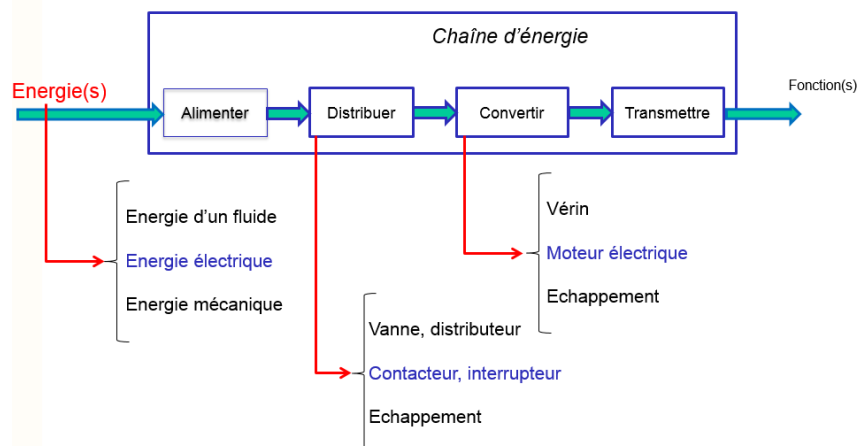
Dans les centrales nucléaires, on réalise des réactions de fission des noyaux d'uranium, et une partie de la chaleur dégagée est transformée en électricité.

### 1.2.4. L'énergie électrique

L'énergie électrique représente de l'énergie transférée d'un système à un autre (ou stockée dans le cas de l'énergie électrostatique) grâce à l'électricité, c'est-à-dire par un mouvement de charges électriques. Elle n'est donc pas une énergie en soi, mais un vecteur d'énergie.

## 2. Chaîne d'énergie dans les systèmes

Dans la chaîne d'énergie, quatre fonctions peuvent être présentes :



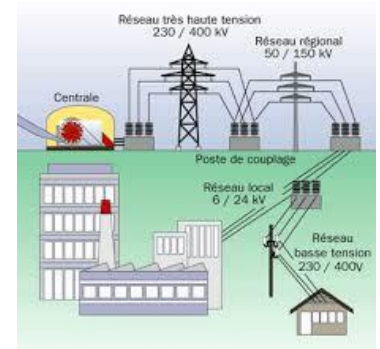
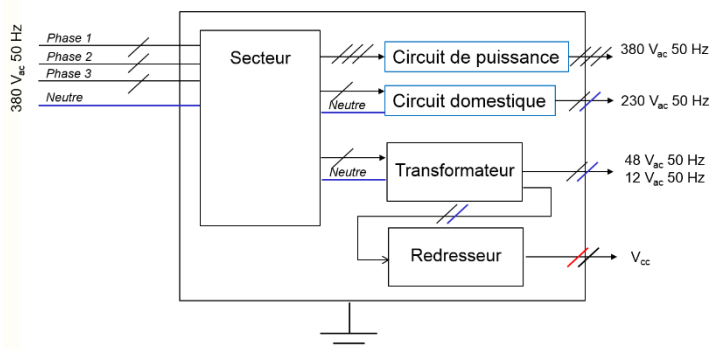
Dans les systèmes de notre quotidien, les actionneurs utilisés pour garantir la fonction **Convertir** sont très souvent des moteurs électriques. Ils permettent la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique. Ils sont déterminés en fonction des :

- Spécifications de la fonction à garantir
- Paramètres de sortie désirés (Temps, action mécanique, déplacement)

L'énergie d'entrée est très souvent une source électrique (secteur, piles ou accumulateur).

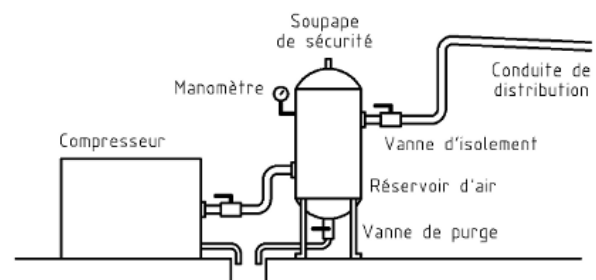
## 2.1. Alimenter

### 2.1.1. Sources électrique centralisée (EDF en France)



### 2.1.2. Energie d'un fluide

Dans l'industrie, l'usage d'air comprimé et hydraulique (huile ou eau) est très répandu. La production de cette énergie est assurée par des compresseurs, qui convertissent l'énergie électrique en pression.



## 2.2. Distribuer

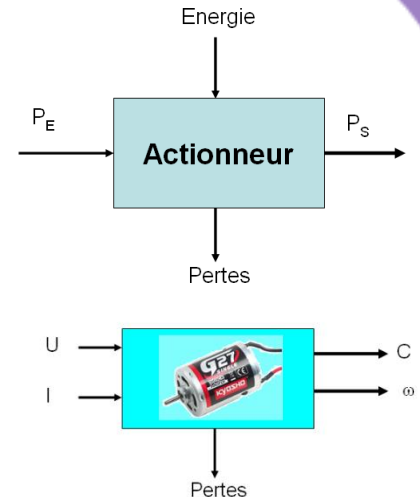
Cette fonction est garantie par des composants pilotés par la chaîne d'information.

L'énergie fournie par l'alimentation, qu'elle soit d'origine électrique, pneumatique ou autre, doit être distribuée aux actionneurs du système :

- Distribution en tout ou rien, la source d'énergie est alors mise directement en relation avec l'actionneur.
- Distribution par modulation, dans ce cas l'actionneur reçoit l'énergie de façon graduelle.

### 2.3. Convertir

Quelle que soit l'énergie utile au fonctionnement d'un système, le réseau électrique est majoritairement l'énergie initiale. Le composant qui assure la conversion d'énergie est un moteur électrique par exemple. Il permet la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique.



### 2.4. Transmettre

La fonction du système impose nécessairement une trajectoire que la transmission doit permettre. Il faut donc élaborer des mécanismes qui devront :

- Transformer un mouvement de translation en mouvement de rotation alternatif ou continu
- Transformer un mouvement de rotation en mouvement de translation alternatif ou continu
- Amplifier ou diminuer le mouvement d'entrée, rotation ou translation
- Générer un mouvement plan

## 3. Energie et grandeurs associées

### 3.1. Unité de mesure

Dans le système S.I., l'unité de mesure est le **Joule**, son symbole est « J ».

Un **joule** est l'énergie fournie par une puissance (P) de un watt pendant un temps (t) d'une **seconde**.

$$E_{(Joule)} = P_{(Watt)} \times t_{(Seconde)}$$

Un **joule** est le travail fourni par un circuit électrique pour faire circuler un courant (I) d'un **ampère** à travers une résistance (R) d'un ohm pendant un temps (t) d'une **seconde**.

$$E_{(Joule)} = P_{(Watt)} \times t_{(Seconde)}$$

D'autres unités sont utilisées :

- La calorie : 1 Ca = 4,1845 J
- Le watt heure : 1 Wh = 3600 J

#### Remarque :

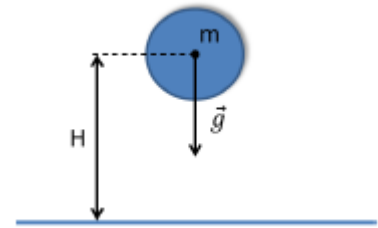
Les appareils que nous trouvons dans le commerce ont une puissance donnée en watt.





### 3.2.Énergie potentielle

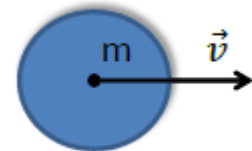
Une masse « m » subissant une accélération « g » et pouvant réaliser un déplacement « H » dispose d'une énergie potentielle « E ».



$$E = m \times g \times H \left\{ \begin{array}{l} m \text{ masse kilogramme (kg)} \\ g \text{ accélération de la pesanteur (m/s}^2\text{)} \\ H \text{ la hauteur de chute (m)} \end{array} \right.$$

### 3.3.Énergie cinétique

Une masse « m » se déplaçant dans un mouvement de translation à une vitesse « v » dispose d'une énergie cinétique « E ».



$$E = \frac{1}{2} m \times V^2 \left\{ \begin{array}{l} m \text{ en kilogramme (kg)} \\ V \text{ Vitesse du solide (m/s)} \end{array} \right.$$

### 3.4.Énergie thermique

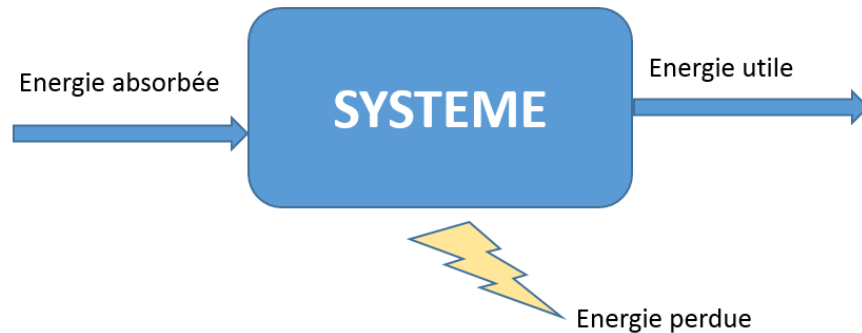
La chaleur est la quantité d'énergie échangée par un corps qui passe d'une température T1 à une température T2.

$$E = m \times C \times (T_2 - T_1) \left\{ \begin{array}{l} m \text{ en kilogramme (kg)} \\ C \text{ Capacité thermique massique (J.kg}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{)} \\ T_2 \text{ et } T_1 \text{ Température en Kelvin (K)} \end{array} \right.$$

### 3.5. Le rendement

Le rendement est le rapport entre l'énergie utile et l'énergie absorbée.

$$\eta = \frac{E_{Utile}}{E_{Absorbée}}$$



Forme d'énergie absorbée	Machine	Forme d'énergie restituée	Rendement
Thermique	Moteur à explosion	Mécanique	40 %
	Turbine à vapeur	Mécanique	45 %
	Chaudière	Thermique	80 %
Mécanique	Alternateur	Electrique	95%
	Dynamo	Electrique	90%
Chimique	Pile	Electrique	50 %
	Accumulateur	Electrique	70 %
Electrique	Moteur électrique	Mécanique	90 %
	Radiateur	Thermique	100 %
	Lampe à filament	Lumineuse	3 %
	Cuve d'électrolyse	Chimique	70 %

Les rendements sont propres à chaque système, les valeurs ci-dessus ne sont données qu'à titre indicatif et ne seraient se substituer aux valeurs déterminées dans chaque cas particulier traité.

### 3.6. La puissance

La puissance d'un système se définit par la quantité d'énergie qu'il fournit ou qu'il absorbe dans l'unité de temps.

Elle se mesure en Watt, symbole « W ».

#### 3.6.1. Formule générale

$$P = \frac{E}{t} \begin{cases} P \text{ en Watt (W)} \\ E \text{ en Joule (J)} \\ t \text{ en seconde (s)} \end{cases}$$

### 3.6.2. La puissance électrique

$$P = U \times I \begin{cases} P \text{ en Watt (W)} \\ U \text{ en Volt (V)} \\ I \text{ en Ampère (A)} \end{cases}$$

### 3.6.3. La puissance mécanique d'un mouvement de rotation

$$P = C \times \omega \begin{cases} P \text{ en Watt (W)} \\ C \text{ en Newton mètre (N.m)} \\ \omega \text{ en radians par seconde (rad/s)} \end{cases}$$

### 3.6.4. La puissance mécanique d'un mouvement de translation

$$P = F \times V \begin{cases} P \text{ en Watt (W)} \\ F \text{ en Newton (N)} \\ V \text{ en mètre par seconde (m/s)} \end{cases}$$

## 4. Applications

### 4.1.L'énergie : Séance de révision

Un élève passe un aspirateur d'une puissance de 1300 W dans sa chambre, pendant 8 minutes.

L'énergie consommée en 1 heure est de :

$$E_{(W.h)} = 1300 \times 1 = 1300 \text{ W.h}$$

1°) Calculer, en joules, l'énergie transférée à cet appareil pendant la durée du nettoyage. Exprimer ensuite ce résultat en kWh.

L'énergie consommée en 8 minutes est :

$$E_{1(W.h)} = \frac{8}{60} \times 1,3 = 0,1733 \text{ kW.h}$$

$$E_{1(J)} = \frac{8}{60} \times 1,3 \times 3600 = 624 \text{ kJ}$$

Ce même élève révise son chapitre de sciences de l'ingénieur pour le prochain devoir pendant 1 heure et 30 minutes. Pour cela, il s'éclaire avec une lampe de bureau de 60 W.

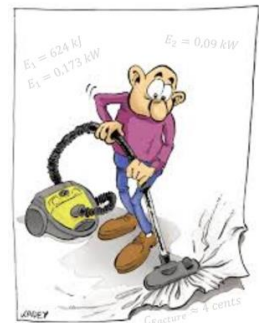
2°) Calculer, en kW, l'énergie transférée à cette lampe pendant cette révision. Exprimer ensuite ce résultat en joules.

L'énergie consommée durant 1h30 :

$$E_{2(W)} = 1,5 \times 60 \cdot 10^{-3} = 9 \cdot 10^{-2} \text{ kW.h}$$

3°) Calculer le prix de cette séance de nettoyage et de révisions sachant que le prix d'un kilowattheure est de 0,174 €<sup>1</sup>.

$$\text{Coût}_{1+2} = (0,1733 + 0,9) \times 0,174 \approx 0,187\text{€}$$



<sup>1</sup> [www.fournisseurs-electricite.com](http://www.fournisseurs-electricite.com)

#### 4.2.L'énergie : Séance de télévision

Durant son temps libre, cet élève fait fonctionner son téléviseur 275 jours par an à raison de 3 heures par jour. Il la laisse en veille le reste du temps, c'est à dire 21 heures par jour pendant 275 jours et 24 heures par jour pendant les 90 jours restant dans l'année.

La puissance du téléviseur est de 100 W quand il fonctionne et de 20 W quand il est en veille.

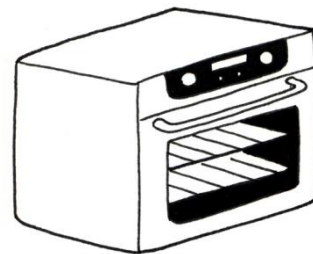
- 1) Calculer la quantité d'énergie transformée par le téléviseur en fonctionnement pendant une année.
- 2) Calculer la quantité d'énergie transformée par le téléviseur en veille pendant une année.
- 3) En déduire le coût de l'économie qu'il réaliserait chaque année en éteignant son téléviseur sachant que le prix du kilowattheure est de 0,15 €.

$$R : E_{\text{Fonctionnement}} = 82,5 \text{ KW.h}, E_{\text{Veille}} = 158,7 \text{ KW.h}, C_{\text{Eco}} = 23,8\text{€}$$



#### 4.3.Rendement d'un four électrique

Un four d'une puissance maxi de 1400 W est utilisé 15 minutes pour réchauffer un plat. L'énergie thermique fournie durant cette période est de 945 kJ. Calculer le rendement de l'appareil.



$$R : E_{15 \text{ minute}} = 1260 \text{ kJ}, \eta = 75\%$$

#### 4.4.Rendement d'une friteuse électrique

Une friteuse consomme une quantité d'énergie électrique de 3600 kJ en trente minutes.

Elle fournit une quantité d'énergie thermique de 0,125 kWh en cinq minutes.

Calculer le rendement de l'appareil.



$$R : P_{\text{Entrée}} = 2000 \text{ W}, P_{\text{Sortie}} = 1500 \text{ W} \eta = 75\%$$

#### 4.5. Rendement d'un groupe électrogène

Un groupe électrogène est constitué d'un moteur à essence accouplé à un alternateur. Un litre d'essence contient une quantité d'énergie chimique potentielle de 35475 kJ.

Caractéristiques techniques :

- Autonomie de 10 heures
- Deux tensions : 230 Vac 50 Hz et 12 Vcc
- Puissance électrique : 3000 W
- Puissance mécanique du moteur : 5,15 kW
- Réservoir : 15 litres



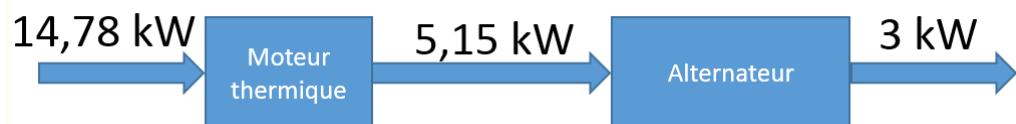
#### Compléter la chaîne d'énergie du groupe électrogène

Calcul de la quantité d'énergie absorbée :

Le réservoir est de 15 litres et l'autonomie est de 10 heures, soit une consommation de 1,5 litre à l'heure.

$$E_{\text{Absorbée}(W.h)} = \frac{35475 \times 10^3 \times 1,5}{3600} = 14,78 \text{ kW.h}$$

Soit une puissance de 14,78 W pour une heure de fonctionnement.



#### Calculer le rendement de l'alternateur

$$\eta_{\text{Alternateur}} = \frac{3}{5,15} = 0,5825, \text{ soit une efficacité énergétique de } 58,25\%$$

#### Calculer le rendement du moteur thermique

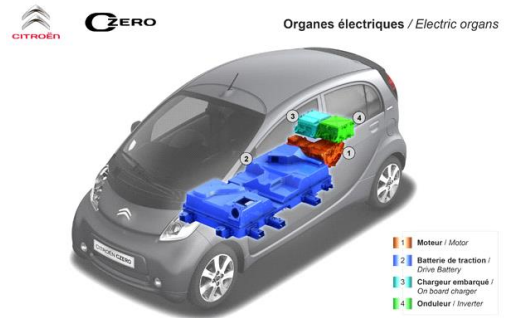
$$\eta_{\text{Moteur}} = \frac{5,15}{14,78} = 0,3484, \text{ soit une efficacité énergétique de } 34,84\%$$

#### Calculer le rendement du groupe électrogène.

$$\eta_{\text{Groupe}} = \frac{3}{14,78} = 0,20297, \text{ soit une efficacité énergétique de } 20,9\%$$

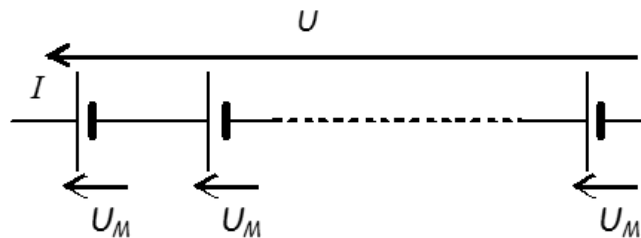
#### 4.6. Batterie d'un véhicule électrique

La structure d'un véhicule électrique est représentée ci-contre. Une des difficultés est le stockage de l'énergie électrique dans les batteries.



##### Etude de la batterie d'accumulateurs.

La batterie d'accumulateurs est réalisée par l'assemblage en série de 19 monoblocs. Un **monobloc** est un élément accumulateur de masse 12,7 kg. Il présente une tension de 6 V à ses bornes et peut débiter un courant électrique de 100 A pendant une heure : on dit qu'il a une capacité (correspondant à la quantité d'électricité stockée) de 100 Ah.



- Que peut-on dire de l'intensité du courant débité par l'ensemble des accumulateurs ?
- Leurs capacités s'ajoutent-elles dans cette association série ?
- Déterminer la tension  $U$  aux bornes de la batterie d'accumulateurs.

**La batterie d'accumulateur fournit l'énergie électrique au moteur qui propulse le véhicule. En fonctionnement nominal, le moteur absorbe un courant continu d'intensité  $I = 183$  A. La capacité de la batterie est de 100 Ah.**

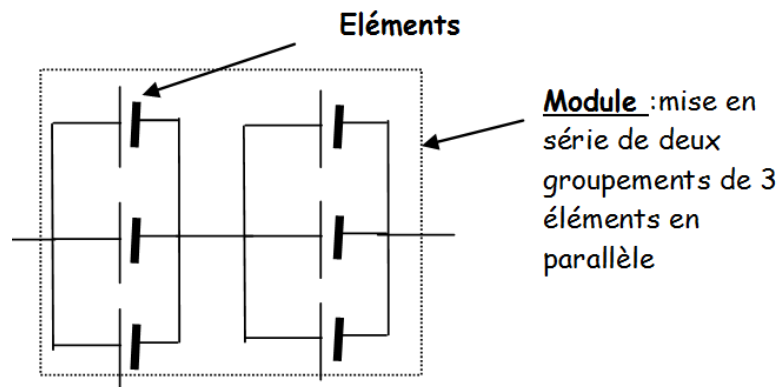
- Calculer l'énergie totale dont on dispose dans cette batterie.
- Calculer la puissance à laquelle est débitée l'énergie
- Calculer le temps  $t_0$  au bout duquel la batterie sera complètement déchargée.

**La charge complète des batteries dure 6 h 30. La durée de vie de la batterie correspond à 1500 cycles de charge et de décharge. On estime qu'en fonctionnement nominal, la batterie peut se décharger en 30 min.**

- Quel est le nombre maximal de cycle de charge et de décharge possible par jour.
- En déduire le nombre de jours correspondant à la durée de vie de la batterie.

#### 4.7. Batterie d'une Peugeot 106 électrique

La batterie d'une Peugeot 106 électrique est de type Lithium-Ion. Elle contient un certain nombre d'« éléments » associés en « modules » comme ci-dessous.



Les modules sont associés les uns aux autres en série.  
La tension moyenne aux bornes d'un élément vaut 3,5 V.

- Déterminer la tension  $U_m$  aux bornes d'un module.
- Sachant que la batterie contient en tout 180 éléments, déterminer le nombre de modules que contient cette batterie puis la tension  $U_o$  à ses bornes

**Pour que le véhicule roule à 110 km/h, la batterie doit fournir une puissance constante de  $P_{\text{Batterie}} = 20 \text{ kW}$ . Pour cette condition de fonctionnement, le constructeur de la batterie annonce une énergie disponible  $W_{\text{Batterie}} = 24 \text{ kWh}$ .**

- Déterminer l'énergie disponible d'un élément notée  $W_{\text{Élément}}$  en Wh.
- Déterminer la capacité d'un élément de batterie  $E_{\text{Élément}}$  en Ah.

**Au régime de fonctionnement décrit ci-dessus :**

- Déterminer la durée  $t_{\text{Batterie}}$  (en heures) pendant laquelle la batterie pourra fournir la puissance  $P_{\text{Batterie}}$ .
- En déduire l'autonomie du véhicule à 110 km/h, c'est à dire la distance « d » qu'il est capable de parcourir à cette vitesse



## 4.8. Etude énergétique d'une cafetière électrique

### 4.8.1. Problématique :

Une cafetière électrique chauffe 70cl d'eau en 4min 30s de 18°C à 100°C avec une tension d'alimentation de 220Vac 50 Hz.

Données :

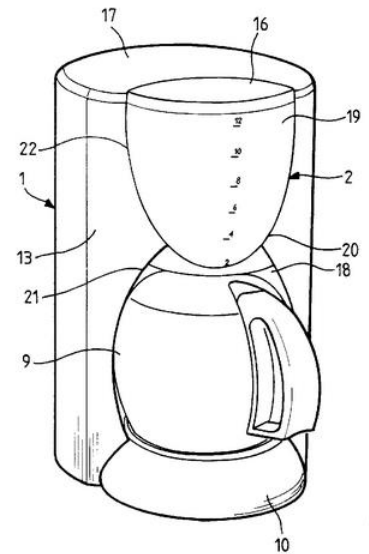
- $C_{eau} = 4,185 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$
- $\rho_{eau} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Les pertes de chaleur pendant le chauffage sont estimées à 18%.

Quelle est l'énergie (la quantité de chaleur) reçue par l'eau au cours du chauffage ?

Quelle est l'énergie électrique nécessaire pour chauffer l'eau ?

Quelle est la puissance consommée par la cafetière ?

Calculer la valeur de la résistance de la cafetière.



### 4.8.2. Données supplémentaires :

Dans l'étude de l'énergie électrique, les paramètres sont :

- La tension en Volt, symbole U
- La nature de la tension (continue, alternative)
- Le courant en Ampère, symbole I
- La charge (Résistive, capacitive, inductive)

Dans le cas particulier d'une charge résistive :

$$U_{Volt} = R_{Ohm} \times I_{Ampère} \quad (1)$$

Les pertes par effet joule (Perte thermique due au passage du courant dans une résistance) dans une charge résistive :  $Q_{Watt} = R \times I^2 \quad (2)$

En combinant avec l'équation (1) :  $Q_{Watt} = \frac{U^2}{R}$

### 4.8.3. Solutions

La quantité de chaleur est

$$E_1 = m \times C \times (T_2 - T_1) = 0,7 \times 4,185 \cdot 10^3 \times (100 - 18) = 240,219 \text{ kJ}$$

Energie électrique absorbée nécessaire à chauffer l'eau est

$$E_{absorbée} = \frac{E_1}{1 - 0,18} = 292,95 \text{ kJ}$$

La puissance consommée par la cafetière est :

$$P = \frac{E_{absorbée}}{t} = \frac{292,95}{(4 \times 60) + 30} = 1,085 \text{ kW}$$

La résistance est de :

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{230^2}{1085} = 44,6 \Omega$$



#### 4.9. Etude d'une bouilloire

Une bouilloire électrique comporte les indications suivantes : 220Vac ; 2 kW ; 1l.

Les pertes de chaleur de la bouilloire sont négligées ainsi que sa capacité calorifique.

- $C_{eau} = 4,185 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$
- $\rho_{eau} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Calculer l'intensité efficace  $I$  du courant électrique circulant dans la résistance chauffante de la bouilloire.

Calculer la valeur  $R$  de la résistance chauffante.

Calculer la durée nécessaire pour porter à ébullition 1 l d'eau à 20°C.



$$R : I_{efficace} = 9,4 \text{ A}, R = 24,2 \Omega, E = 93 \text{ Wh}, t_{100^\circ\text{C}-20^\circ\text{C}} = 2 \text{ min } 48 \text{ s}$$

#### 4.10. Etude d'un véhicule thermique

##### 4.10.1. Problématique

On considère un véhicule automobile (de masse 1400kg,  $g=9.81 \text{ m/s}^2$ ) :

Trajet 1 : Une force de traction de 1600 N est nécessaire à son déplacement à 85 km/h sur une route plate de 12 km.

Trajet 2 : Le trajet est de 15 km et monte d'une pente de 3° par rapport à l'horizontale, le conducteur ne voulant pas réduire sa vitesse la force développée par la voiture est de 2300 N.



- Calculer le travail de la force de traction pour le trajet 1
- Calculer le travail de la force de traction pour le trajet 2.
- Calculer la puissance nécessaire au trajet 1
- Calculer la puissance nécessaire au trajet 2

##### 4.10.2. Donnée supplémentaire

Le travail d'une force constante  $\vec{F}$  pour un déplacement rectiligne  $\vec{AB}$  de son point d'application est :  $W_{AB} = \|\vec{F}\| \times \|\vec{AB}\| \times \cos(\vec{F}, \vec{AB})$

Solutions

$$\text{Trajet 1 : } W_{T1} = F_{T1} \times d_{T1} \times \cos(0) = 1600 \times 12 \cdot 10^3 = 19,2 \text{ MJ}$$

$$\text{Trajet 2 : } W_{T2} = F_{T2} \times d_{T2} \times \cos(0) = 2300 \times 15 \cdot 10^3 = 34,5 \text{ MJ}$$

$$\text{Trajet 1 : } P_{T1} = F_{T1} \times V_{T1} = 1600 \times \frac{85 \cdot 10^3}{3600} = 37,8 \text{ kW}$$

$$\text{Trajet 2 : } P_{T2} = F_{T2} \times V_{T2} = 2300 \times \frac{85 \cdot 10^3}{3600} = 54,3 \text{ kW}$$

#### 4.11. Skieur et télésiège

Un skieur de masse  $m = 65 \text{ kg}$  emprunte un télésiège de longueur  $l = 2 \text{ km}$  et de dénivelé  $d = 700 \text{ m}$ . La vitesse du télésiège est de  $18 \text{ km/h}$ . Arrivé en haut de la piste, il descend celle-ci pour retourner au départ du télésiège. Le skieur descend la piste et atteint la vitesse de  $36 \text{ km/h}$   
 $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ , accélération de pesanteur terrestre supposée constante.



##### Phase de montée

Calculer le travail de la force exercée par le télésiège sur le skieur.

Calculer le travail de la force de pesanteur sur le skieur.

Calculer l'énergie cinétique du skieur.

##### Phase de descente

Calculer l'énergie cinétique emmagasinée par le skieur.

R :  $W_{\text{Télésiège} \rightarrow \text{skieur}} = 446,4 \text{ kJ}$ ,  $W_{\text{Pesanteur} \rightarrow \text{skieur}} = 446,4 \text{ kJ}$ ,  $E_{\text{Montée}} = 812,5 \text{ J}$ ,  
 $E_{\text{Descente}} = 3,25 \text{ kJ}$

#### 4.12. Energie d'une masse

Si l'on considère  $100 \text{ kg}$  de fonte poussés par un athlète sur  $0,7 \text{ m}$  de hauteur.

Quelle est l'énergie potentielle gagnée par cette fonte ?

Si l'athlète lâche brutalement cette masse, quelle est la vitesse atteinte lors du contact avec le sol.

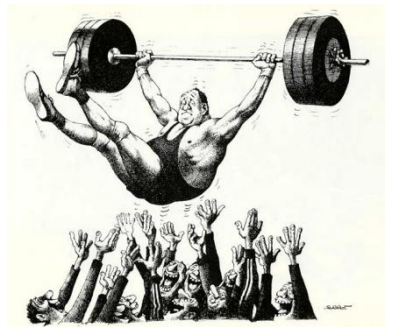
Lors d'un exercice l'athlète effectue une montée et une descente toutes les  $3 \text{ s}$ .

Quelle est la puissance développée par l'athlète ?

Un gérant de salle de fitness imagine investir dans une machine dynamométrique capable de remplacer cette charge de  $100 \text{ kg}$ . Il estime qu'elle fonctionnerait environ  $4 \text{ h/jour}$  à ce régime.

Quelle énergie quotidienne pourrait-il en tirer ?

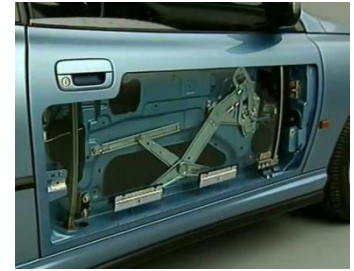
Combien de temps pourrait-il faire fonctionner une ampoule à LED de  $20 \text{ W}$



R :  $E_{\text{Potentielle}} = 686,7 \text{ J}$ ,  $V_{\text{Fonte}} = 3,7 \text{ m/s}$ ,  $P_{\text{Athlète}} = 228,9 \text{ W}$ ,  $E_{\text{Quotidienne}} = 915,6 \text{ Wh}$   
 $t_{\text{Led } 20 \text{ W}} = 45 \text{ h } 47 \text{ min}$

#### 4.13. Bilan énergétique d'un lève-vitre électrique

Un moteur d'un lève-vitre d'une automobile, à courant continu et à aimant permanent, est alimenté par une tension constante  $U = 13 \text{ V}$ . Il consomme une intensité constante de  $13,5 \text{ A}$  durant une manœuvre. Une manœuvre comprend une montée et une descente de la vitre. La durée totale de cette opération est égale à 6 secondes.



Calculer l'énergie électrique  $W_{\text{Moteur}}$  absorbée par ce moteur lorsque l'on effectue 100 manœuvres.

Calculer l'énergie chimique  $W_{\text{Chimique}}$  fournie par la combustion du carburant pour effectuer ces 100 manœuvres sachant que le rendement  $W_M / W_C$  est égal à 25 %.

Sachant que 1 litre de carburant peut fournir par combustion une énergie de 32000 kJ, calculer, en mL, le volume  $V$  de ce super carburant consommé pour ces 100 manœuvres

$$R : W_{\text{Moteur}} = 105,3 \text{ kJ}, W_{\text{Chimique}} = 421,2 \text{ kJ}, V_{\text{Carburant}} = 13 \text{ ml}$$

#### 4.14. Automobile

Une automobile se déplace à vitesse constante  $V=80\text{km/h}$  sur une route horizontale. Sa consommation est de 7,2 l aux 100 km. Le moteur fournit une puissance mécanique  $P_m=23 \text{ ch}$  (1ch=735 W).

La combustion d'un litre d'essence produit une énergie égale à 32.MJ.

Calculer la puissance mécanique fournie par le moteur

Calculer le volume nécessaire pour faire 80 km, en déduire l'énergie de combustion (pour faire 80 km)

En déduire la puissance de combustion

Calculer le rendement de ce moteur.

Déterminer la puissance transférée à l'environnement sous forme de chaleur (puissance perdue).

$$R : P_{\text{Moteur}} = 16905 \text{ W}, V_{\text{Carburant}} = 5,76 \text{ l}, P_{\text{Combustion}} = 51200 \text{ W}, \eta_{\text{Moteur}} = 33\%, \\ P_{\text{Perdue}} = 51200 \text{ W}$$

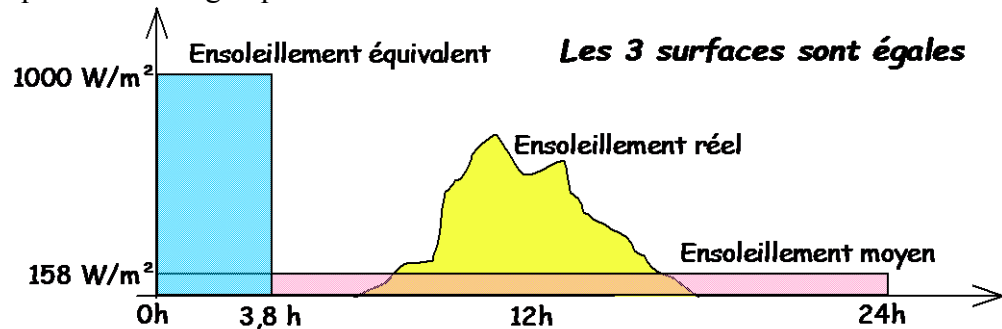
#### 4.15. Installation photovoltaïque

##### 4.15.1. Introduction

L'énergie solaire reçue sur terre correspond à une puissance d'environ  $1 \text{ kW/m}^2$ . A cause des nuages, de la pollution et de la rotation de la terre cette puissance reçue fluctue au cours des jours et de l'année.

Diverses grandeurs sont données par les sites de météorologie tels que le nombre d'heure d'ensoleillement d'un site qui correspond au nombre d'heure où le lieu considéré reçoit une puissance lumineuse dépassant environ  $400 \text{ W/m}^2$  (par exemple : A Rouen on compte qu'il y a 1750h d'ensoleillement par an).

Pour chaque lieu est aussi donné le nombre d'heures équivalent plein soleil soit le nombre d'heures où un ensoleillement de  $1\text{kW/m}^2$  fournirait la même quantité d'énergie que la réalité.



A Annemasse le nombre d'heures équivalentes/jour est de 3,8 h sur une surface orientée au sud et inclinée d'un angle égal à la latitude.

Dans le commerce, un panneau photovoltaïque est caractérisé par sa puissance crête qui correspond à la puissance électrique que fournirait le panneau sous un ensoleillement de  $1000\text{ W/m}^2$ .




Le coût de l'énergie facturé par EDF est de 10 c€/kWh

Un crédit d'impôt est accordé par l'état n'existe plus

Le coût d'une installation photovoltaïque (2013)

Puissance	Intégration Simplifiée au Bâti (ISB)	Intégration Au Bâti (IAB)
< 3 kWc	2,9 à 3,6 €HT/Wc	3 à 3,8 €HT/Wc
3 à 36 kWc	2,7 à 3,3 €HT/Wc	2,8 à 3,4 €HT/Wc
36 à 100 kWc	2,3 à 3 €HT/Wc	2,4 à 3 €HT/Wc

Les tarifs de rachat de l'énergie photovoltaïque sont les suivants.(2013)

Tout type d'installation		
 Résidentiel	 Enseignement ou santé	 Autres bâtiments
		Tarifs applicables du 01/01/14 au 31/03/14
Intégration au bâti	0-9 kW	28,51 c€ / kWh
	0-36 kW	14,54 c€ / kWh
	36-100 kW	13,81 c€ / kWh
	0-12 MW	7,36 c€ / kWh
Intégration simplifiée au bâti		

#### 4.15.2. Problématique

Nous allons étudier l'énergie produite et le temps de retour sur investissement d'une installation photovoltaïque située à **Annemasse** (nombre d'heures équivalentes :  $n_{he}$ : 3,8 h) constituée de panneaux classique de  $150\text{ W}_C$  de  $1\text{ m}^2$  chacun. Nous sommes dans le cas d'une intégration au bâti.

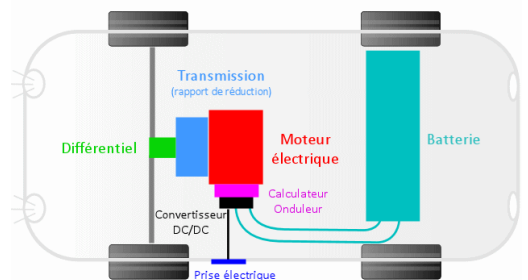
- Pour le plein soleil, déterminer la puissance fournie par 1 m<sup>2</sup> de panneau
- Déterminer le rendement du panneau
- En déduire la surface nécessaire pour obtenir 3 kWc.
- Calculer l'énergie lumineuse reçue annuellement à Annemasse pour une surface de 20 m<sup>2</sup>.
- Estimer la production électrique sur l'année d'une installation de 3 kWc.
- Calculer le coût de l'installation,  $C_{\text{installation}}$
- Calculer les sommes reversées par an par EDF,  $S_{r_{\text{EDF}}}$ .
- Calculer le temps au bout duquel l'installation est rentabilisée,  $t_R$
- Calculer le gain financier sur 20 ans,  $G_f$

R :  $P_{1\text{m}^2 \text{ de panneau}} = 150 \text{ W}$ ,  $\eta_{\text{panneau}} = 15\%$ ,  $E_{\text{Lumineuse pour } 20\text{m}^2} = 27,74 \text{ MWh}$ ,  
 $E_{\text{Année}} = 4161 \text{ KWh}$ ,  $C_{\text{installation}} = 11400 \text{ €}$ ;  $S_{r_{\text{EDF}}} = 11400 \text{ €}$ ,  $t_R = 9,6 \text{ ans}$ ,  $G_f = 12334 \text{ €}$

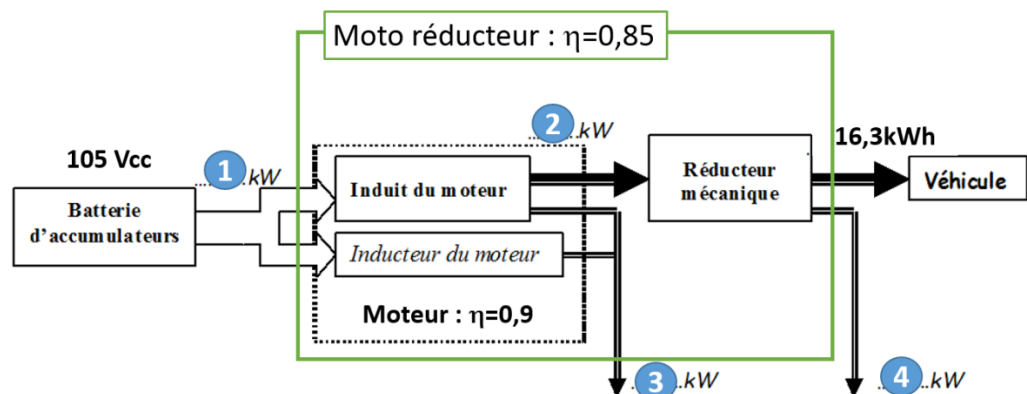
#### 4.16. Etude d'un véhicule électrique

La structure d'un véhicule électrique est représentée ci-contre. Une des difficultés est le stockage de l'énergie électrique dans les batteries.

Le moteur fonctionne en régime nominal sous une tension de 105 V. Le réducteur mécanique délivre une puissance nominale de 16,3 kW. Le rendement du moteur est 90 %. Le rendement de l'ensemble moteur-réducteur est de 85 %.



##### 4.16.1. Chaîne d'énergie



## 4.16.2. Partie 1

A partir de la chaîne d'énergie donnée, nommer la nature des puissances échangées (entrantes ou sortantes).



Calculer la puissance en entrée du motoréducteur, repère ①.

Calculer le rendement du réducteur mécanique.

Calculer la puissance en entrée du motoréducteur, repère ②.

Calculer la puissance perdue par le réducteur, repère ④

Calculer la puissance perdue par le moteur électrique, repère ③

Calculer la valeur de l'intensité du courant absorbé par le moteur complet.

Quel que soit le résultat précédent, nous considérerons que le moteur absorbe un courant dont l'intensité est de 180 A, calculer la puissance absorbée par le moteur.

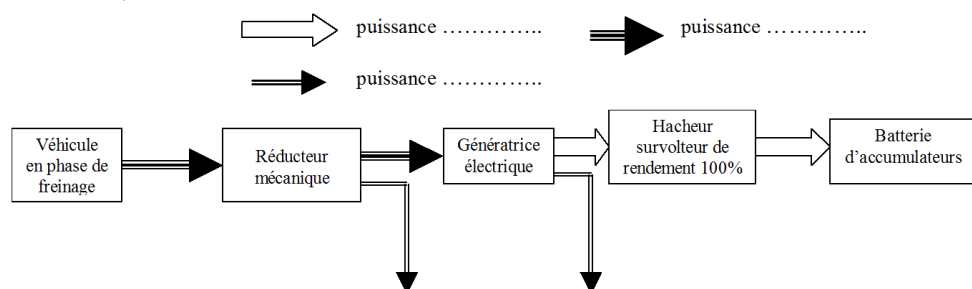
Sachant que l'énergie stockée par la batterie d'accumulateur est de 11,4 kWh, calculer le temps de fonctionnement du véhicule dans les conditions nominales.

## 4.16.3. Partie 2

Afin d'augmenter l'autonomie du véhicule, il ne faut pas gaspiller l'énergie stockée dans la batterie d'accumulateurs. Ainsi lors des phases de freinage, l'énergie mécanique du véhicule est récupérée et sert à recharger la batterie.

La machine électrique n'est plus motrice, mais elle joue alors le rôle de génératrice électrique (dynamo) et recharge la batterie à l'aide d'un appareil appelé « hacheur survolteur ».

Compléter la chaîne d'énergie ci-dessous représentant le bilan de puissance du véhicule, en indiquant la nature des puissances échangées (entrantes ou sortantes).



Le véhicule roule à 90 km/h en pleine charge. Sa masse totale est estimée à 800 kg.

Calculer l'énergie mécanique en joule que l'on peut récupérer en amenant le véhicule à l'arrêt.



En supposant que le rendement du groupe réducteur-génératrice est également de 85 %, calculer l'énergie électrique que l'on peut espérer restituer à la batterie.

Exprimer cette quantité d'énergie en Wh.

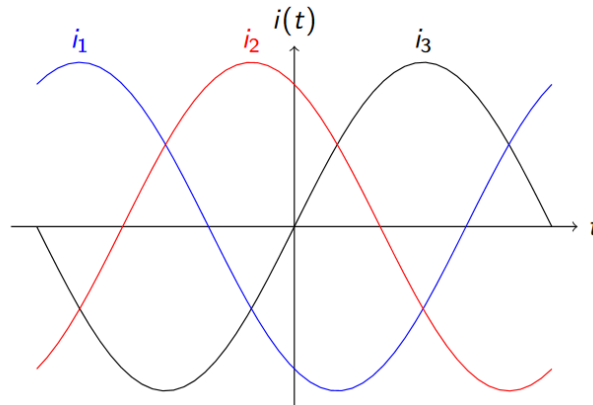
Calculer le nombre de fois qu'il faut faire un tel freinage pour recharger la batterie de 10 % de son énergie totale qui est de 11,4 kWh.

$$R : P_1 = 19,18 \text{ kW}, P_2 = 17,26 \text{ kW}, P_3 = 1,91 \text{ kW}, P_4 = 0,96 \text{ kW}, \eta_{\text{Réducteur}} = 0,95, \\ I_{\text{Moteur}} = 182 \text{ A}, P_M = 18,9 \text{ kW}, t = 35,4 \text{ min}, E_{\text{Récupérée}} = 212 \text{ kJ}, 19 \text{ freinages}$$

## 5. Tension alternative

### 5.1.Introduction

La tension alternative est produite par des machines tournantes composées de trois pôles à  $120^\circ$ . Les alternateurs utilisés dans les centrales électriques produisent un courant alternatif, qui est en général la superposition de trois courants sinusoïdaux. Du fait de la symétrie du système, ces trois courants ont la même amplitude, et sont déphasés d'un angle de  $120^\circ$  ou  $\pi/3$  rad.



Pour comparer un courant alternatif avec un courant continu, il est nécessaire de définir les notions d'intensité efficace et de tension efficace:

#### 5.1.1. L'intensité efficace,

$I_{eff}$  d'un courant alternatif est égale à l'intensité d'un courant continu qui produirait, pour le même temps, dans une même résistance pure, la même quantité de chaleur :

$$I_{eff.} = \frac{I_{maxi}}{\sqrt{2}}$$

#### 5.1.2. La tension efficace

$U_{eff}$  d'un courant alternatif est égale à la tension d'un courant continu qui produirait, pour le même temps, dans une même résistance pure, la même quantité de chaleur.

$$U_{eff.} = \frac{U_{maxi}}{\sqrt{2}}$$

#### 5.1.3. Mesure

Les valeurs indiquées par les appareils de mesure de type voltmètre ou ampèremètre sont toujours des valeurs efficaces.

En courant alternatif, on distingue le fil neutre, qui sert de référence de tension, et le(s) fil(s) de phase, qui transporte(nt) le courant.

Attention : ne pas confondre le fil de phase et le déphasage.



**5.1.4. Le Monophasé :**

C'est le système le plus utilisé pour les réseaux domestiques. Il utilise deux câbles : la phase et le neutre.

**5.1.5. Le Biphasé**

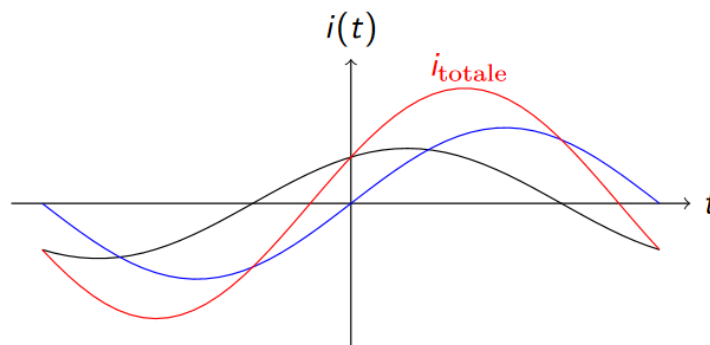
Ancien système devenu très rare. Utilise deux fils déphasés, et pas de fil neutre.

**5.1.6. Le Triphasé**

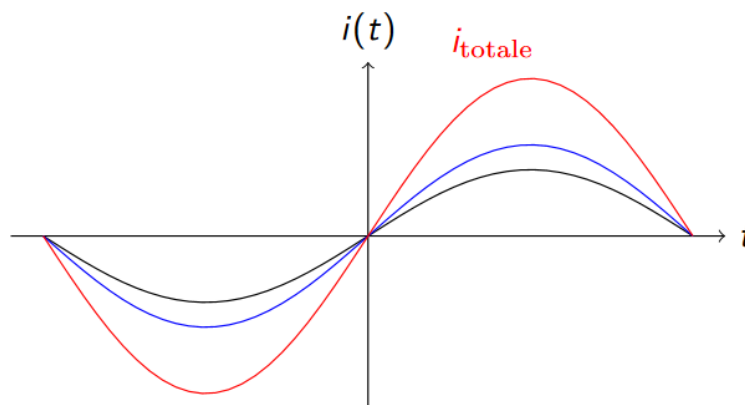
Principalement utilisé pour le transport et l'utilisation de fortes puissances. Il utilise trois fils de phase.

**5.1.7. Le déphasage**

L'amplitude du signal somme (en rouge) n'est pas égale à la somme des amplitudes des signaux (noir et bleu) car il y a déphasage entre les signaux (bleu et noir).



On dit que deux signaux sont en phase lorsque leur déphasage  $\varphi$  est identique. Leur déphasage relatif est alors nul.

**5.1.8. L'impédance**

L'impédance,  $Z$ , est une généralisation de la notion de résistance. Elle représente la faculté du composant (Résistif, inductif, capacitif) à s'opposer au passage du courant (résistance), à créer un champ magnétique lors du passage d'un courant (inductance) ou à stocker les charges électriques (capacité).

- Résistance :  $Z = R$  dans le cas d'une résistance pure.
- Inductance (Bobine) :  $Z = j \times \omega \times L$ .  $L$  est l'inductance de la bobine en Henry (H) ;
- Condensateur  $Z = \frac{1}{j \times \omega \times C}$ ,  $C$  est la capacité du condensateur en Farad (F).

*Sauf dans le cas d'une résistance pure, on remarque que l'impédance d'un composant dépend de la fréquence du courant électrique injecté.*

## 5.2. Les puissances<sup>2</sup>

Dans le cas d'un régime alternatif, les grandeurs électriques (tension, intensité) présentent un caractère périodique. La puissance instantanée, est donc elle aussi variable :

$$p(t) = u(t) \times i(t)$$

Où  $p(t)$ ,  $u(t)$  et  $i(t)$  sont trois fonctions du temps.

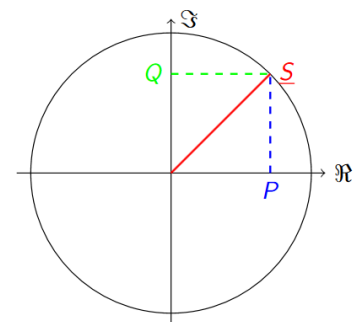
De cette expression nous noterons plusieurs grandeurs physiques, homogènes à une puissance, qu'il importe de bien différencier les unes des autres.

### 5.2.1. La puissance apparente

Elle se note «  $S$  » ; il s'agit également de la puissance nominale indiquée sur les machines. Elle s'exprime en Voltampère ou VA.

La puissance nominale d'une machine est sa puissance apparente.

$$S = U \times I$$



La puissance apparente (complexe) est définie comme le produit de la *tension complexe* par l'*intensité complexe*. La projection de la puissance complexe sur l'axe réel est appelée puissance active «  $P$  » ; la projection de la puissance complexe sur l'axe imaginaire est appelée puissance réactive «  $Q$  ».

### 5.2.2. La puissance active ou réelle « $P$ »

C'est la puissance moyenne consommée durant un temps donné.

La puissance apparente : Il s'agit de la valeur maximale que peut prendre la puissance active, pour une amplitude de tension et d'intensité donnée. Elle est égale au module de la puissance complexe.

<sup>2</sup> Notion mathématique : Les nombres complexes

### 5.2.3. La puissance réactive

En régime sinusoïdal, la puissance réactive est la partie imaginaire de la puissance apparente complexe. Elle se note « Q », est exprimée en voltampère réactif :

$$Q = U \times I \times \sin\varphi$$

Où  $\varphi$  est le déphasage entre U et I.

Remarque : les dipôles ayant une impédance dont la valeur est un nombre imaginaire pur (capacité ou inductance) ont une puissance active nulle et une puissance réactive égale en valeur absolue à leur puissance apparente.

### 5.3. Bilan des puissances

La puissance apparente (S) est liée à la puissance active (P) et à la puissance réactive (Q) par la relation suivante :

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

- La puissance active est exprimée en W
- La puissance apparente est exprimée en VA
- La puissance réactive est exprimée en VAR

Ces trois unités sont homogènes entre elles, mais n'ont pas la même signification physique.

	Alimentation monophasée	Alimentation triphasée
Puissance active	$P = U \times I \times \cos\varphi$	$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\varphi$
Puissance réactive	$Q = U \times I \times \sin\varphi$	$Q = \sqrt{3} \times U \times I \times \sin\varphi$
Déphasage Facteur de puissance	$\tan\varphi = \frac{Q}{P}$	

### 5.4. Application Etude d'un monte-charge

#### 5.4.1. Données

Le monte-charge est entraîné par un moteur triphasé alternatif. Le moteur est alimenté par le réseau 220V/380V50Hz.

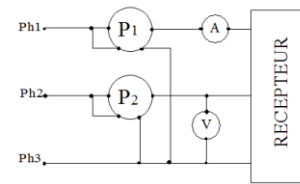
Le monte-charge élève à vitesse constante  $V=0.23\text{m/s}$ , une masse  $m=2000\text{kg}$ .

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

**Vérifier si le moteur est adapté à la fonction demandée.**



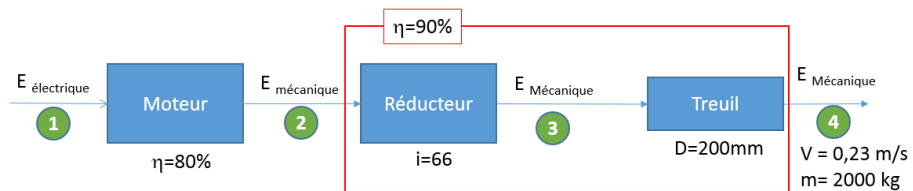
La mesure de la puissance absorbée a été réalisée par la méthode des 2 wattmètres :  $P_1=4800W$  et  $P_2=1500W$ .



### Plaque signalétique du moteur

Fréquence	Vitesse	Tension	Puissance utile	Facteur de puissance	Courants
50 Hz	1450tr/min	220/380V	5,00kW	0,74	13A/22.5A

### Chaine d'énergie



#### 5.4.2. Problématique

**Calculer** la puissance active et la puissance réactive telle que

$$P_{réactive} = \sqrt{3} \times (P_1 - P_2) .$$

En **déduire** le courant et **vérifier** le facteur de puissance du moteur.

Calcul de la puissance active :

$$P = P_1 + P_2 = 4800 + 1500 = 6300 \text{ W}$$

Calcul de la puissance réactive :

$$Q = \sqrt{3} \times (P_1 - P_2) = \sqrt{3} \times (4800 - 1500) = 5716 \text{ Var}$$

Calcul du déphasage :

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} = \frac{5716}{6300} \Rightarrow \cos \varphi = 0,74$$

Calcul du courant :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi} = \frac{P}{\sqrt{3} \times 380 \times \cos \varphi} = 12,9 \text{ A}$$

**Déterminer** la force motrice « F » s'exerçant sur la masse, la puissance mécanique  $P_{Mécanique}$  de cette force et l'énergie  $E_{Mécanique}$  nécessaire pour un déplacement de 5 m.

Calcul de la force « F » :

$$F = m \times g = 2000 \times 9,81 = 19620 \text{ N}$$

Calcul de la puissance mécanique :

$$P_{Mécanique} = F \times V = 19620 \times 0,23 = 4512 \text{ W}$$

Calcul de l'énergie mécanique (Energie potentielle) pour un déplacement de 5 mètres :

$$E_{Mécanique} = m \times g \times h = 2000 \times 9,81 \times 5 = 98100 \text{ J}$$

Le câble du monte-charge s'enroule sur un treuil de diamètre 200 mm. Un réducteur de vitesse est placé entre le treuil et le moteur. **Déterminer** la vitesse angulaire; la fréquence de rotation (tr/min) du treuil et le couple exercé sur le treuil.

Calcul de la vitesse angulaire

$$\omega = \frac{V}{R} = \frac{230}{100} = 2,3 \text{ rad/s}$$

Calcul de la fréquence de rotation

$$S = \frac{60 \times \omega}{2\pi} = \frac{60 \times 2,3}{2\pi} = 21,96 \text{ tr/min}$$

Calcul du couple

$$C = \frac{P}{\omega} = \frac{4512}{2,3} = 1961,7 \text{ N.m}$$

Le rendement de la transmission mécanique (treuil, réducteur de vitesse) est de  $\eta=90\%$ . Déterminer la puissance mécanique du moteur d'entraînement,  $P_M$ , le moment du couple moteur si sa vitesse est de  $S_M=1450 \text{ tr/min}$ .

Calcul de la puissance du moteur

$$P_M = \frac{P}{\eta} = 5013,3 \text{ W}$$

Calcul du couple moteur

$$C = \frac{P_M}{\omega_M} = \frac{5013,3}{2\pi \times 1450} \times 60 = 33 \text{ N.m}$$

**Calculer** la puissance électrique absorbée par le moteur de rendement 80% et **vérifier** si le moteur choisi correspond au besoin.

Calcul de la puissance absorbée nécessaire :

$$P_{Electrique} = \frac{P_M}{\eta_M} = 6267 \text{ W}$$

Calcul de la puissance électrique :

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\varphi = \sqrt{3} \times 380 \times 13 \times 0,74 = 6331 \text{ W}$$

La puissance du moteur est supérieure à la puissance nécessaire. Le moteur est validé.

## 6. Synthèse : Les formules à retenir

	L'énergie	$E_{(Joule)} = P_{(Watt)} \times t_{(Seconde)}$
ELECTRIQUE	L'énergie électrique	$E_{(Joule)} = P_{(Watt)} \times t_{(Seconde)}$
	La puissance électrique	$P_{Watt} = U_{Volt} \times I_{Ampère}$
	Quantité d'énergie	$Q_{Ampère\ heure} = t_{heure} \times I_{Ampère}$
	Les pertes par effet joule	$P_{Watt} = R_{ohm} \times I_{Ampère}^2$
	La loi d'ohm	$U_{Volt} = R_{ohm} \times I_{Ampère}$
THERMIQUE	L'énergie thermique	$E_{Joule} = m_{kg} \times C_{J.kg^{-1}.K^{-1}} \times (T_2^{\circ K} - T_1^{\circ K})$
MECANIQUE	L'énergie potentielle	$E_{Joule} = m_{Kg} \times g_{m/s^2} \times H_{Mètre}$
	L'énergie cinétique	$E_{Joule} = \frac{1}{2} m_{kg} \times V_{mètre\ par\ seconde}^2$
	La puissance : translation	$P_{Watt} = F_{Newton} \times V_{Mètre\ par\ seconde}$
	La puissance : rotation	$P_{Watt} = C_{Newton-mètre} \times \omega_{radian\ par\ seconde}$