

# ***VRS-500***

## ***Volet Roulant Solaire***



# **ACTIVITES PEDAGOGIQUE STI2D**



### ACTIVITE : Découverte du système

#### Niveau de formation

Première STI2D  
Enseignements Transversaux

#### Références au programme (B.O. spécial n° 3 du 17 mars 2011)

##### **O1 - Caractériser des systèmes privilégiant un usage raisonné du point de vue développement durable**

- CO1.1 : Justifier les choix des matériaux, des structures d'un système et les énergies mises en œuvre dans une approche de développement durable

##### **O3 - Identifier les éléments influents du développement d'un système**

- CO3.1. Décoder le cahier des charges fonctionnel d'un système

#### Thématique

- Approche fonctionnelle

#### Notions abordées

- Diagrammes SysML ;
- Analyse du besoin des parties prenantes ;
- Analyse Fonctionnelle Externe ;
- Analyse Fonctionnelle Interne.

#### Durée de l'activité

- 2 heures

#### Environnement matériel et logiciel

- Le VRS-500
- L'EMP (Environnement Multimédia Pédagogique) ;

#### Intentions pédagogiques

En utilisant les différentes ressources (vidéos, photographies,...) accessibles dans l'EMP (Environnement Multimédia Pédagogique) ainsi qu'à travers la mise en œuvre du système, l'élève va pouvoir replacer le système étudié dans son contexte d'utilisation.

Après une analyse globale du système, l'élève va pouvoir identifier les différents constituants et décrire la structure du système.

A l'issue de l'activité, l'élève sera capable de répondre aux problématiques suivantes :

- d'expliquer à quel besoin (finalité) répond le produit et dans quel contexte ;
- d'identifier les différents états et le comportement du système ;
- d'identifier les éléments pertinents contenus dans les différents diagrammes SysML de sa description.



# Activité

## Description SysML



## Approche fonctionnelle du VRS-500 : description SysML

### 1 Introduction

On se propose au cours de cette activité de découvrir comment le volet roulant solaire VRS-500 répond à un problème concret de société, et de quelle manière on modélise cela en langage SysML.

Nous nous intéresserons dans un premier temps aux besoins fonctionnels et aux exigences requises par un tel système, pour ensuite s'intéresser à la structure interne.

Vous disposez pour réaliser cette activité :

- du système VRS-500 mis en situation dans le laboratoire ;
- de l'environnement multimédia comportant l'ensemble des ressources nécessaires à la réalisation de l'activité.

A l'issue de la séance vous devez être en mesure :

- d'expliquer à quel besoin (finalité) répond le produit et dans quel contexte ;
- d'identifier les différents états et le comportement du système ;
- d'identifier les éléments pertinents contenus dans les différents diagrammes SysML de sa description.

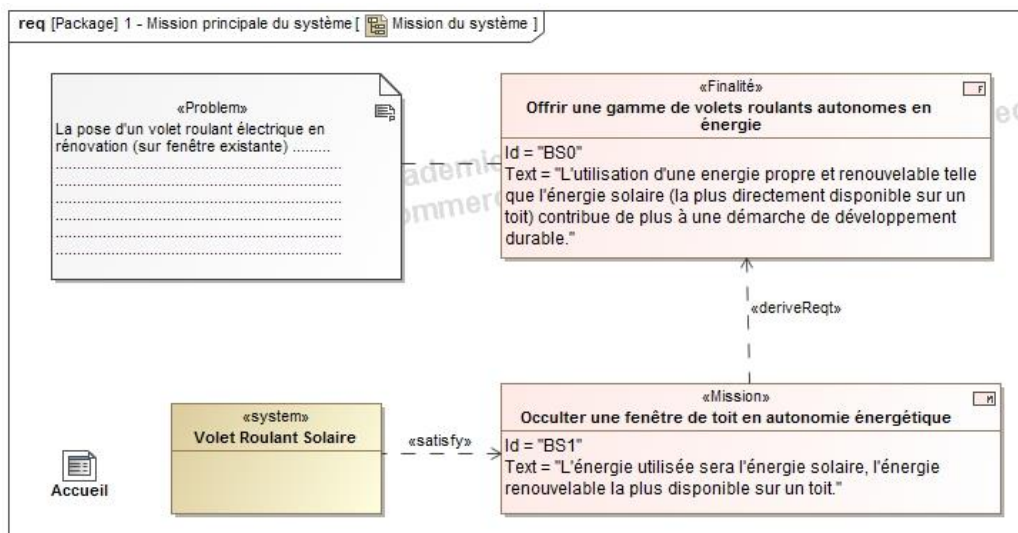
Le compte-rendu de l'activité sera rédigé directement sur ce document et les documents-réponses fournis.

### 2 Découverte du système : Analyse du besoin

#### 2.1 Mission principale

**Un système** (le « quoi ») quel qu'il soit **ne se justifie qu'au travers d'une finalité dont il découle** (le « pourquoi ») **en réponse à une problématique**. Le diagramme de mission principale reprend ses éléments, où on retrouve :

- La **problématique** en question (note « Problem ») ;
- La **finalité**, ou besoin initial, liée à cette problématique ;
- La **mission principale** du système, qui découle de la finalité ;
- Le **système** lui-même qui, une fois conçu, doit satisfaire sa mission principale.





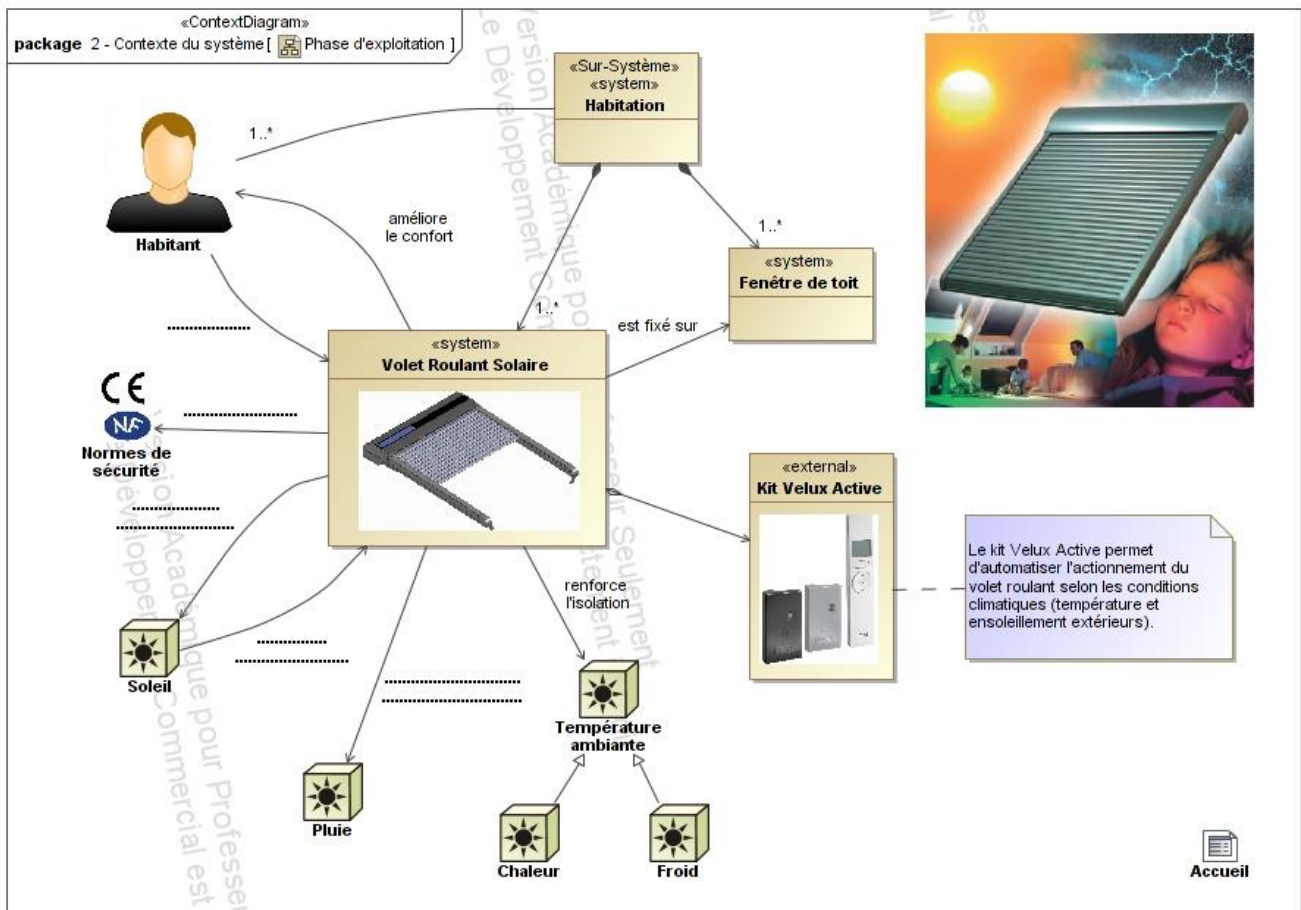


## Travail demandé :

- Compléter la problématique dans ce diagramme, en réfléchissant en termes de source d'énergie pour un volet roulant électrique classique.

## 2.2 Contexte d'utilisation

Le diagramme de contexte permet de mettre en évidence les différents acteurs et éléments extérieurs (parties prenantes) qui interviennent, directement ou indirectement, dans l'utilisation du système. Dans une démarche de conception, toutes ces parties prenantes vont susciter des besoins qui seront à la base de la conception.



## A partir du bureau de l'environnement multimédia :

- Cliquer sur « LE CONTEXTE »
- Visionner successivement les rubriques :
  - « Vitrages et système d'occultation en B.B.C. »,
  - « La maison intelligente »,
  - « La gamme Velux »

## Travail demandé :

- Compléter le diagramme de contexte, où une relation entre un élément extérieur et le système se lit dans le sens de la flèche (exemple : « Le VRS est fixé sur une fenêtre de toit »).

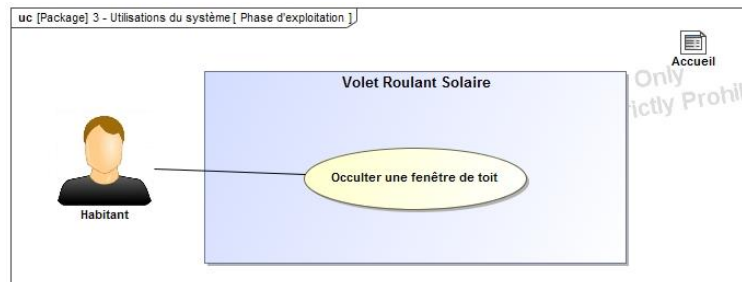




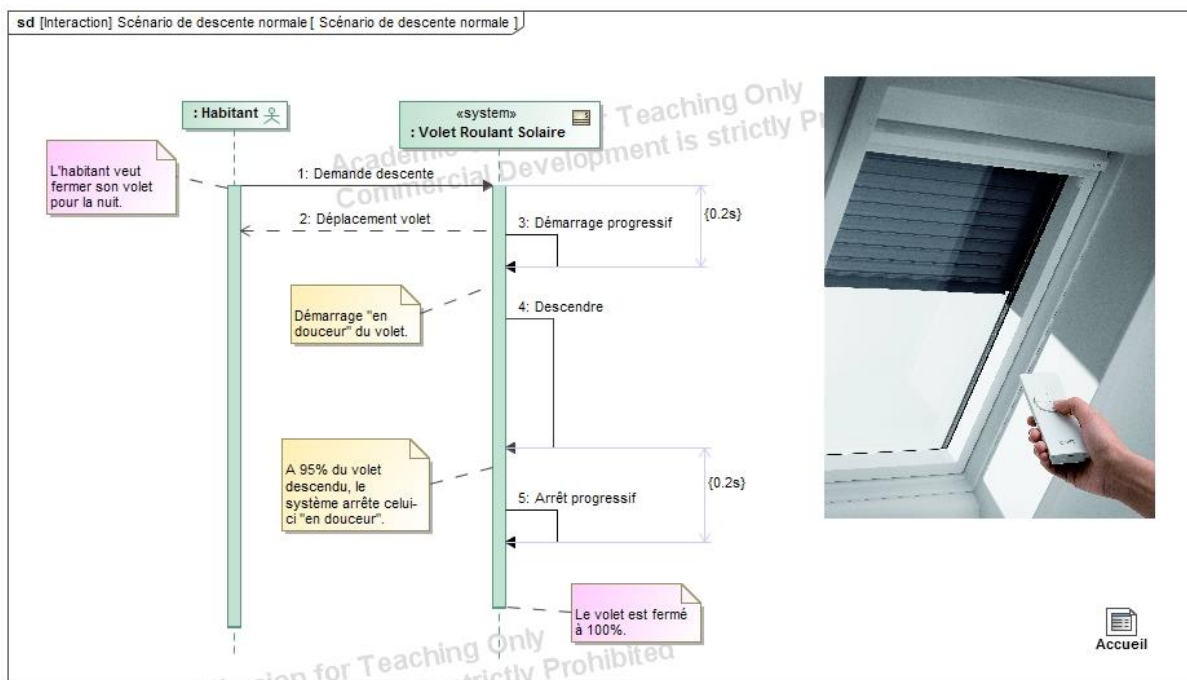
## 3 Analyse fonctionnelle externe : étude comportementale

### 3.1 Cas d'utilisation – scénario d'utilisation

Un **cas d'utilisation** est un **service rendu par le système à l'utilisateur** (acteur principal situé à gauche). Il entraîne obligatoirement **un ou plusieurs scénario(s)** d'utilisation où peuvent intervenir des acteurs (ou éléments) secondaires (situés à droite). Généralement, **La mission principale du système est le cas d'utilisation principal** (c'est le cas ici, où la notion d'autonomie énergétique n'apparaît pas car elle n'intervient pas dans l'utilisation directement, mais est une exigence forte du système).



Un scénario nominal peut alors être celui-ci (diagramme de séquence), où l'on retrouve les mêmes éléments du diagramme de cas d'utilisation, et où les interactions sont maintenant précisées :



A la lecture de ce diagramme, répondez aux questions suivantes :

- **Quel est l'élément déclenchant le cas d'utilisation (quand le cas d'utilisation commence-t-il) ?**

Réponse : .....

- **Quand le service est-il rendu à l'utilisateur (plusieurs réponses possibles) ?**

Réponse : .....  
 .....  
 .....  
 .....

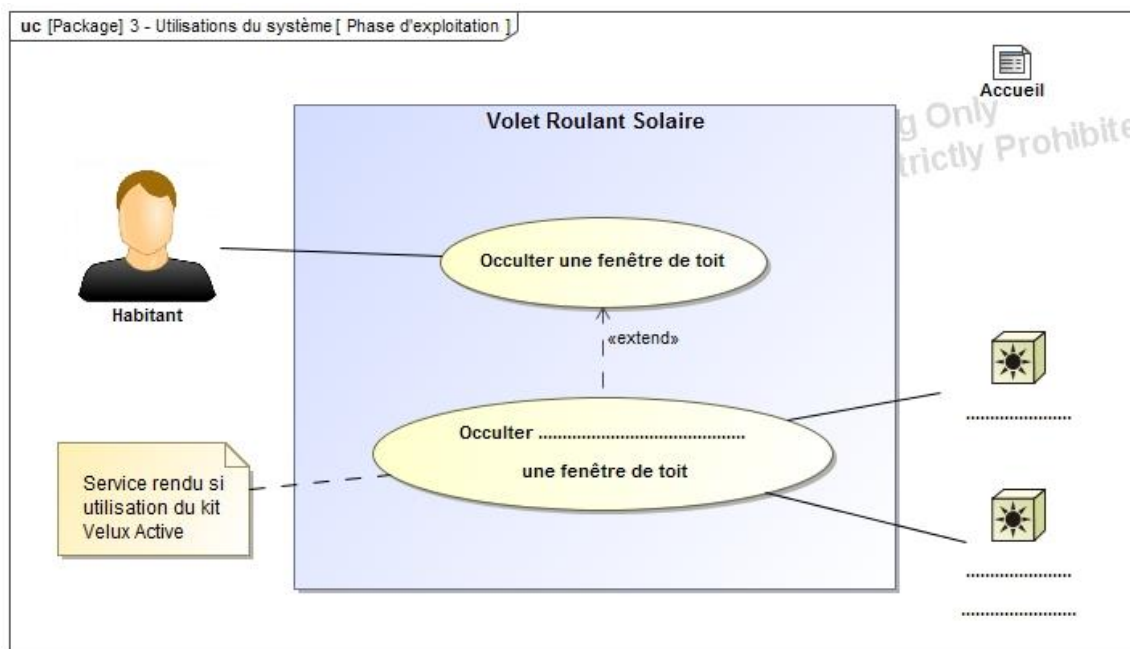


### Utilisation du kit Velux Active

Ce kit est composé d'une télécommande programmable avec afficheur graphique, ainsi qu'un capteur d'ensoleillement et un de température. Il offre la possibilité de commander plusieurs équipements (fenêtres, volets, ...) et d'automatiser l'actionnement de ceux-ci selon des scénarios programmables (nuit/jour, forte chaleur/grand froid, ...).



Le service rendu à l'utilisateur est toujours le même, seul change la manière de le faire. Le diagramme de cas d'utilisation est maintenant le suivant :



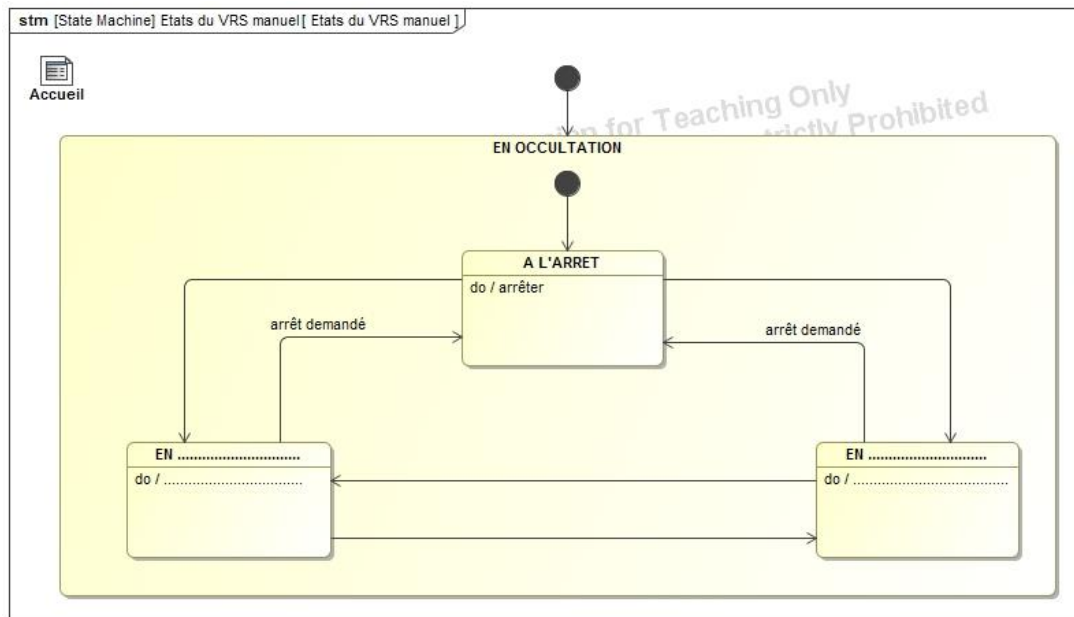
### Travail demandé :

- **Compléter ce nouveau diagramme.**

### 3.2 Etats du système

Quel que soit le **comportement d'un système**, celui-ci **est toujours lié à des états**, qui souvent seront des modes de fonctionnement différents, le passage de l'un à l'autre étant provoqué par des événements internes (temporisations, informations issues de capteurs, ...) ou externes (interactions homme/machine).

On peut toujours, dans un premier temps, définir un état de fonctionnement général, qui est ici l'état « En occultation » (le système est « en fonctionnement » et plus précisément « en occultation »). 3 états peuvent ensuite être identifiés en phase de fonctionnement, dont un est déjà donné :



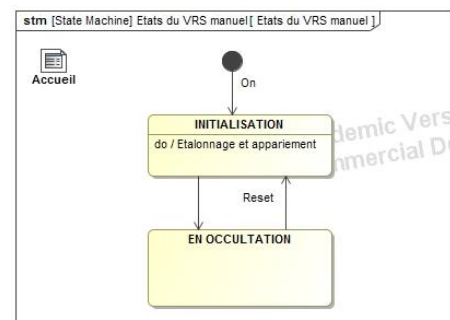
## Travail demandé :

- **Actionner à l'aide de la télécommande le VRS afin de voir son comportement et les différents états dans lesquels il peut être, puis compléter le diagramme d'états ci-dessus, en vous inspirant de ce qui s'y trouve déjà.**

## Initialisation

Il est un état qu'on retrouvera quasiment dans tous les systèmes : l'état d' « **initialisation** ».

C'est toujours un état précédant l'état de fonctionnement nominal, dans lequel on peut parfois retourner via un événement défini, souvent nommé « Reset ». On peut donc enrichir le diagramme précédent de la sorte :



## Travail demandé : Regardez la vidéo

« **Reset\_VRS.mp4** » puis répondez aux questions suivantes :

- **Décrire la procédure d'étalonnage effectuée par le système lors de l'initialisation.**

Réponse : .....

.....

.....

- **Le diagramme d'états décrit le passage dans l'état d'initialisation par un simple appui sur le bouton Reset. Est-ce réellement le cas ?**

Réponse : .....

.....

- **Une fois l'initialisation terminée, que se passe-t-il vis-à-vis de l'état final du système (raisonner en terme de position du volet) ?**

Réponse : .....

.....



#### 4 Analyse fonctionnelle interne : étude structurale

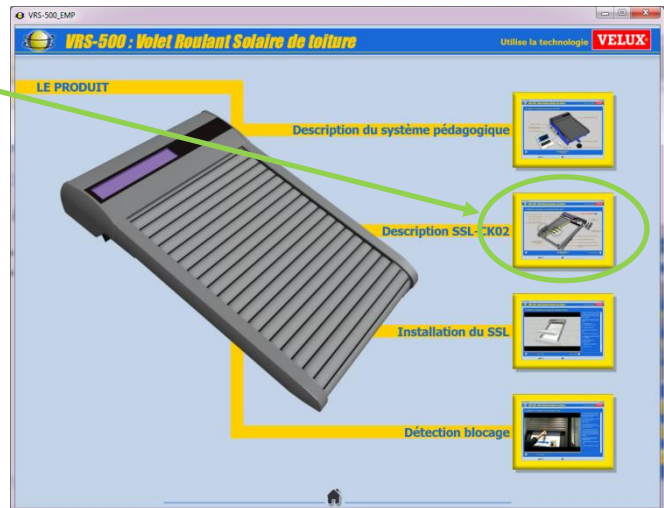
##### 4.1 Chaîne d'énergie

A partir du bureau de l'environnement multimédia :

- Cliquer sur « LE PRODUIT » puis sur « Description SSL-CK02 »
- Cliquer ensuite sur « Détails du mécanisme » et visionner successivement :
  - « Réducteur épicycloïdal »,
  - « Etoile profilé creux ».

##### Travail demandé :

- Compléter la chaîne d'énergie fournie en document-réponse, en remplissant les champs manquants et en collant les photos au bon endroit.



##### 4.2 Validation du système

A partir du bureau de l'environnement multimédia :

- Cliquer sur « LES CONSTITUANTS »
- Survoler les différents éléments pour en avoir une description.

##### Travail demandé :

- Compléter les diagrammes d'exigences fournis en document-réponse, en fonction des solutions constructives, et compléter les données manquantes.







### ACTIVITE : le solaire photovoltaïque

#### Niveau de formation

**Première STI2D**  
Enseignements Transversaux

#### Références au programme (B.O. spécial n° 3 du 17 mars 2011)

##### **O1 - Caractériser des systèmes privilégiant un usage raisonné du point de vue développement durable**

- CO1.1. Justifier les choix des matériaux, des structures d'un système et les énergies mises en oeuvre dans une approche de développement durable

##### **O2 - Identifier les éléments influents permettant la limitation de l'impact environnemental d'un système et de ses constituants**

- CO2.1. Identifier les flux et la forme de l'énergie, caractériser ses transformations et/ou modulations et estimer l'efficacité énergétique globale d'un système

#### Thématique

- Production d'énergie

#### Notions abordées

- Technologies de capteurs PV ;
- Installation PV : constituants, flux mis en jeu, chaîne d'énergie ;
- Rendement et efficacité énergétique d'une installation PV.

#### Durée de l'activité

- 2 heures

#### Environnement matériel et logiciel

- Un poste informatique seul

#### Intentions pédagogiques

Cette étude va permettre de découvrir le fonctionnement d'une installation solaire photovoltaïque autonome. Ce type d'installation permet de fournir de l'énergie électrique uniquement grâce aux rayonnements lumineux du soleil.

A l'issue de cette activité, l'élève saura répondre à :

- Qu'est-ce qu'un capteur photovoltaïque ?
- Quelles sont les différentes technologies existantes ?
- Comment est composée une installation photovoltaïque ?
- Comment est constituée sa chaîne d'énergie ?
- Que représente son apport énergétique en comparaison à l'énergie totale utile consommée ?



# Activité

## Le solaire PV





### **Table des matières**

---

Le solaire PhotoVoltaïque.....	4
Mise en situation .....	4
Problématiques .....	5
Compétences et Objectifs visés .....	6
Apport de connaissances .....	6
Puissance et Energie .....	6
La chaine d'énergie .....	6
Travail demandé .....	7
1 -Les différentes technologies de photovoltaïque .....	7
2 - Constitution d'une installation PV .....	8
3 - Flux d'énergie .....	9
4 - Organisation fonctionnelle de la chaine d'énergie .....	9
5 - Rendement et efficacité énergétique .....	10
Ressources .....	12
Les technologies photovoltaïques .....	13
Schéma de câblage d'une installation PV .....	19
Le contrôleur de charge SOL 5 .....	19
Chaine d'utilisation des énergies .....	20
Le solaire PV du Lycée HQE .....	22



# Le solaire PhotoVoltaïque

---



## Mise en situation

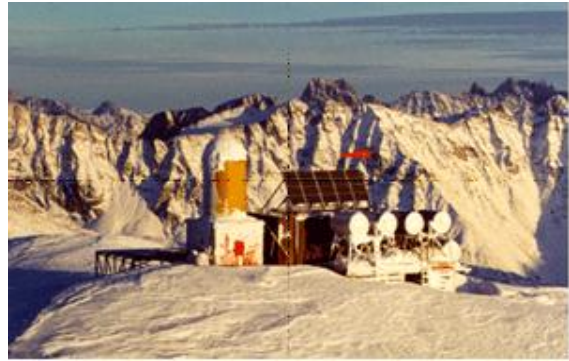
---

Cette activité va vous permettre de découvrir le fonctionnement d'une installation solaire photovoltaïque autonome. Ce type d'installation permet de fournir de l'énergie électrique uniquement grâce aux rayonnements lumineux du soleil.

Le support d'étude est le lycée HQE Léonard de Vinci de Calais qui comporte, entre autres sources d'énergie, une telle installation solaire. D'autres installations solaires autonomes se retrouvent dans sa région : parcmètres, panneaux de signalisation et relais d'urgence sur l'A16, panneaux solaires sur les voiliers, bouées lumineuses en mer...



Il existe encore d'autres utilisations plus spécifiques : chalet isolé, camping car, satellite de télécommunication, relais de télécommunication, pompage de l'eau....



### **Problématiques :**

- ▶ **Qu'est-ce qu'un capteur photovoltaïque ?**
- ▶ **Quelles sont les différentes technologies existantes ?**
- ▶ **Comment est composée une installation photovoltaïque ?**
- ▶ **Comment est constituée sa chaîne d'énergie ?**
- ▶ **Que représente son apport énergétique en comparaison à l'énergie totale utile du Lycée ?**



## Compétences et Objectifs visés

<b>O1 - Caractériser des systèmes privilégiant un usage raisonné du point de vue développement durable</b>	
CO1-1	Justifier les choix des matériaux, des structures d'un système et les énergies mises en oeuvre dans une approche de développement durable
<b>O2 - Identifier les éléments permettant la limitation de l'impact environnemental d'un système et de ses constituants</b>	
CO2-1	Identifier les flux et la forme de l'énergie, caractériser ses transformations et/ou modulations et estimer l'efficacité énergétique globale d'un système

## Apport de connaissances

---

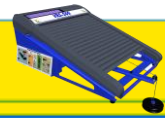
- [Puissance et Energie](#)
- [Chaine d'énergie](#)

### Puissance et Energie



### La chaine d'énergie





### Travail demandé

Vous répondrez aux différentes questions sur votre document-réponse, les apports de connaissances et différentes ressources sont là pour mener à bien votre travail.

- ▶ [1 -Les différentes technologies de photovoltaïque](#)
- ▶ [2 - Constitution d'une installation PV](#)
- ▶ [3 - Flux d'énergie](#)
- ▶ [4 - Organisation fonctionnelle de la chaine d'énergie](#)
- ▶ [5 - Rendement et efficacité énergétique](#)

### 1 -Les différentes technologies de photovoltaïque

Q1 - Quelles sont les deux grandes familles de technologies photovoltaïques ?

Q2 - La technologie silicium peut se décomposer en trois sous-familles. Quelles sont-elles ?

Q3 - Pour ces 3 sous-familles, remplir le tableau de votre document-réponse en indiquant :

- leur part en pourcentage de la production mondiale ;
- leur rendement;
- leur coût de production (faible, modéré, élevé).

Q4 - Quelle est la part totale (en %) de cette famille sur la production mondiale ?

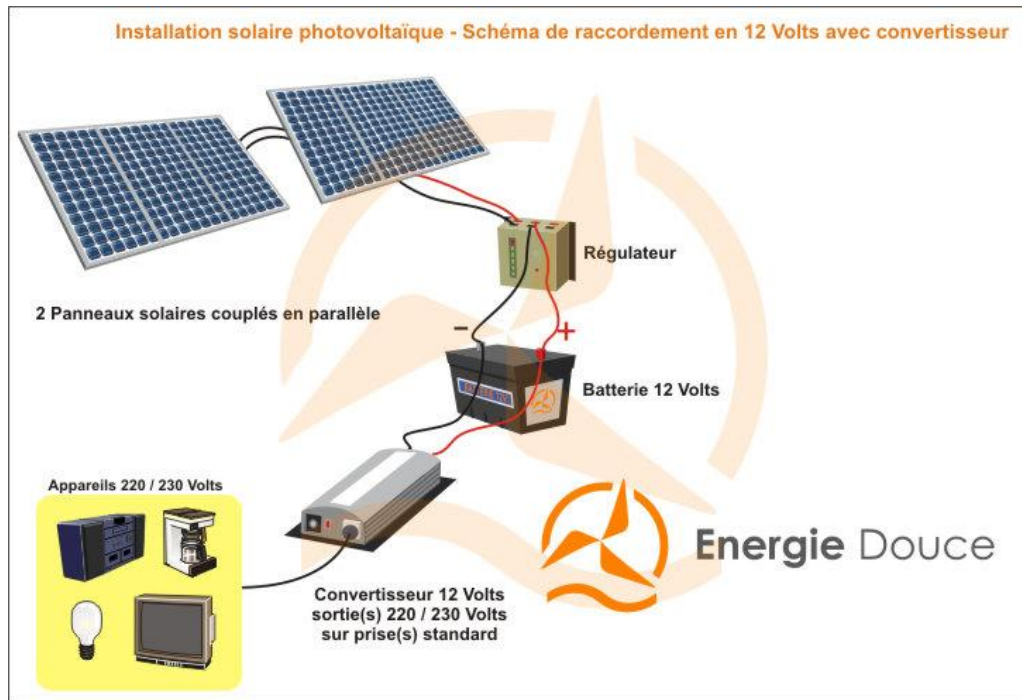
Q5 - Quelle est la principale technologie de l'avenir ?





### 2 - Constitution d'une installation PV

Nous allons dans un premier temps étudier une installation photovoltaïque type, et définir le rôle de chacun des composants :



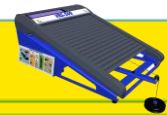
Q1 - A l'aide de la documentation technique, expliquer le rôle du régulateur.

Q2 - Si l'on souhaite qu'une installation photovoltaïque fonctionne en permanence, pourquoi une batterie est-elle indispensable ?

Q3 - Quelle est la tension de la batterie. Quel est son type (continu ou alternatif) ?

Q4 - Quelle est la tension délivrée par le réseau EDF ? Quel est son type ?

Q5 - Si l'on souhaite disposer de l'énergie produite comme si elle provenait du réseau EDF, pourquoi un onduleur (convertisseur particulier) est-il indispensable ?

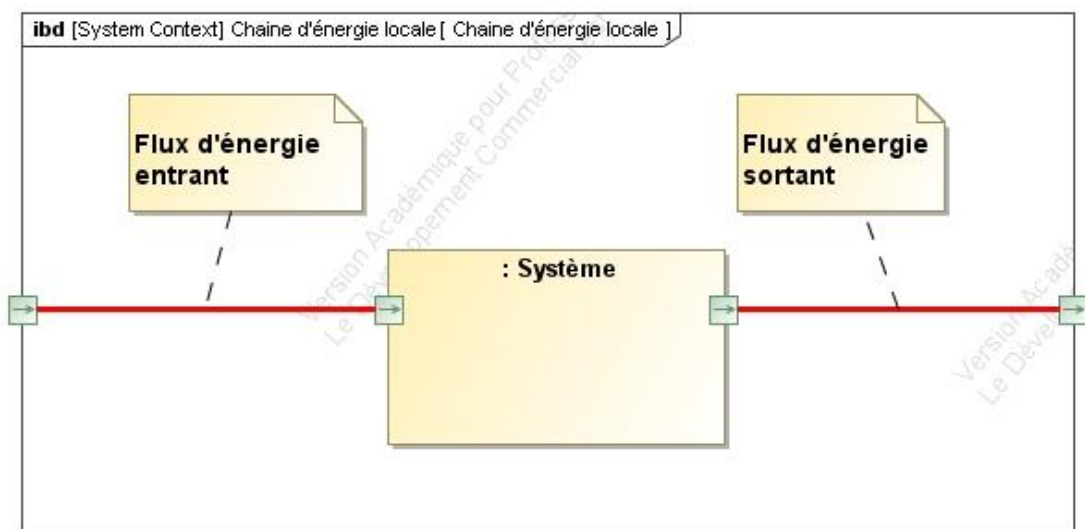


### 3 - Flux d'énergie

A l'aide du dossier ressource (Chaine d'utilisation des énergies), indiquer les flux d'énergies entrants et sortants.

Dans les flux d'énergies, préciser les sources d'énergie primaire (renouvelable, fossile, fissile) ou d'énergie secondaire (produit raffiné, hydrogène, électricité...).

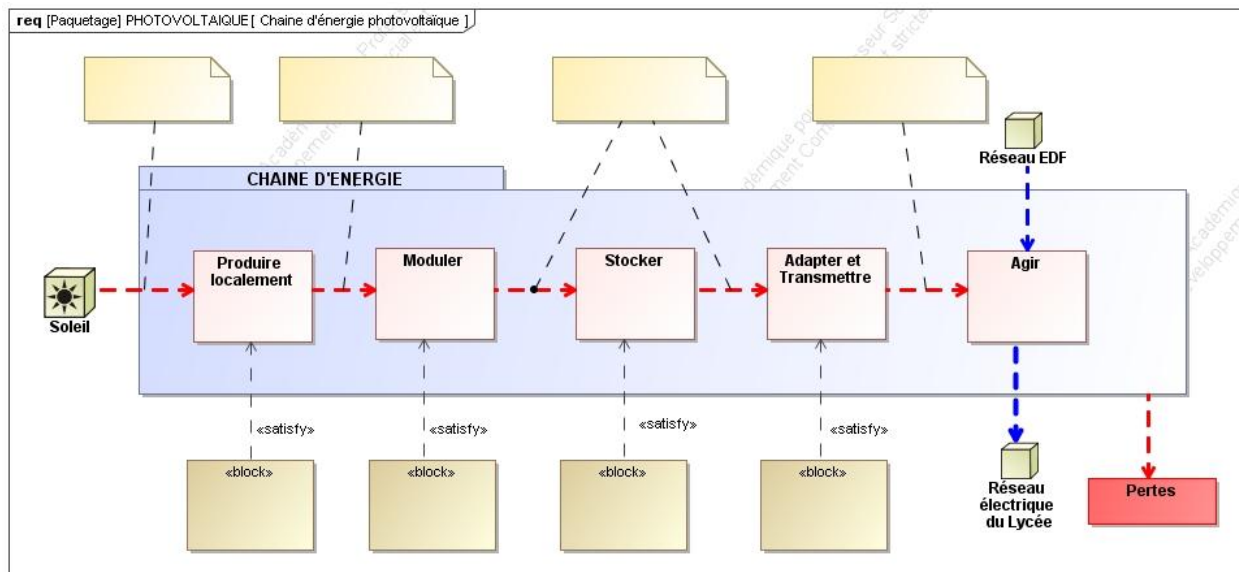
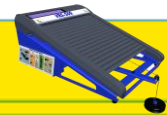
Dans les flux d'énergies sortants donner des exemples concrets d'utilisation de l'énergie.



### 4 - Organisation fonctionnelle de la chaîne d'énergie

Q1 - A l'aide des documents ressources, indiquer le nom des composants (blocs) réalisant les différentes fonctions de la chaîne, ainsi que la nature des énergies (électrique, thermique, mécanique, chimique, rayonnante, hydraulique, nucléaire) traversant le système.





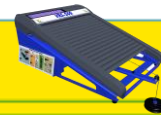
### 5 - Rendement et efficacité énergétique

Q1 - Calculer la puissance crête (en kW) de l'installation photovoltaïque du lycée HQE (voir [dossier technique](#)) sachant que

$$P_c = \text{nombre de module de l'installation PV} * P_c \text{ d'un module PV}$$

Ensuite, allez sur le site <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>, qui est le site du Système d'Informations Géographiques PhotoVoltaïques (PVGIS in english).

Sur le site, suivez la procédure suivante :



**JRC** Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps

EUROPA > EC > JRC > IE > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps >

Search: "Ispra, Italy" "45.256N, 16.9589E" 52.590, 33.838

Europe Africa

**Performance of Grid-connected PV**

NOTE: new version of PVGIS available [here](#).  
Read about it.

PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power: 1 kWp

Estimated system losses [0;100] 14 %

**Fixed mounting options:**

Mounting position: Free-standing

Slope [0;90] 35 deg. ☐ Optimize slope

Azimuth [-180;180] 0 deg. ☐ Also optimize azimuth

☐ Vertical axis Slope [0;90] 0 deg. ☐ Optimize

☐ Inclined axis Slope [0;90] 0 deg. ☐ Optimize

☐ 2-axis tracking

**Output formats**

☐ Show graphs ☐ Show horizon

☒ Web page ☐ Text file ☐ PDF

**Calculate** [help]

- 1 - Localisez **Calais** et pointez dessus (zoomez au mieux pour être le plus précis possible) ;
- 2 - Entrez la puissance crête totale **P<sub>c</sub>** en kW que vous avez calculé dans la question précédente ;
- 3 - Cliquez sur "**Calculate**".

Vous devriez obtenir un tableau vous donnant les résultats de puissance et d'irradiation liées à l'installation PV par jour, mois et année.



Q2 - A l'aide de ces résultats, **relever l'énergie produite** par le système photovoltaïque **sur une année complète**.

Q3 - Toujours à l'aide de ces résultats, **calculer l'irradiation** reçue par l'installation PV sur un an, en multipliant la surface totale de l'installation PV par l'irradiation moyenne sur un an et par m<sup>2</sup>.

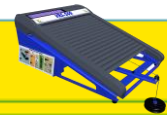
Q4 - **En déduire le rendement** de l'installation PV **sur une année complète** :

$$\eta_{\text{installation PV}} = \frac{\text{Production électrique de l'installation PV sur un an}}{\text{Irradiation reçu par l'installation PV sur un an}}$$

Q5 - La consommation électrique du lycée est d'environ 900 MWh/an, **que représente en pourcentage la production d'énergie électrique** de l'installation PV par rapport à la consommation électrique du lycée.

## Ressources

- ▶ [Les technologies photovoltaïques](#)
- ▶ [Schéma de câblage d'une installation PV](#)
- ▶ [Le contrôleur de charge SOL 5](#)
- ▶ [Chaine d'utilisation des énergies](#)
- ▶ [Le solaire PV du Lycée HQE](#)



### Les technologies photovoltaïques



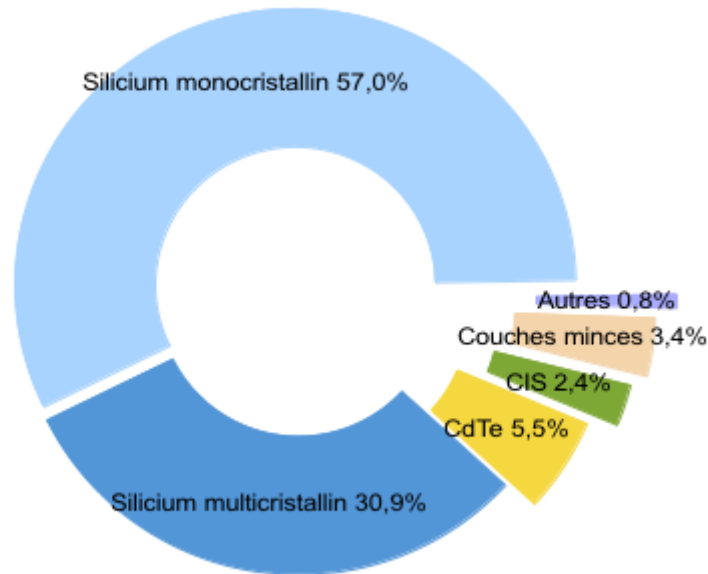
Les technologies cristallines (multicristallin et monocristallin) sont de loin les plus utilisées aujourd'hui mais les technologies "couches minces", en particulier CIS et CdTe se développent de plus en plus sur le marché. D'autres filières basées sur l'utilisation de colorants ou de matériaux organiques, encore à leur balbutiements, promettent un bel avenir à l'énergie photovoltaïque.

Il existe actuellement deux grandes technologies de modules photovoltaïques :

- les technologies cristallines qui utilisent des cellules plates de 150 à 200  $\mu\text{m}$ , soit 0,15 à 0,2 mm, découpées dans un lingot ou une brique obtenu par fusion et moulage, puis connectées en série les unes aux autres pour être finalement posées et collées sur la face arrière du verre de protection du module. La matière première est toujours **le silicium** pour aboutir à du silicium **monocristallin** (sc-Si), du silicium **multicristallin** (mc-Si) ou du silicium **amorphe** (a-Si).
- les technologies dites "couches minces" sont fondées sur l'utilisation de couches extrêmement fines de l'épaisseur de quelque microns et consistent à déposer sous vide sur un substrat (verre, métal, plastique, ...) une fine couche uniforme composée d'un et plus souvent de plusieurs matériaux réduits en poudre. Les plus développées industriellement sont les technologies CdTe et CIS.
-



Répartition de la production des cellules 2011



Hespul, d'après Photon International 2012

## Les technologies au silicium

Le silicium est le deuxième élément le plus abondant sur terre après l'oxygène, avant le carbone et l'azote. Il représente environ 25 % en masse de l'écorce terrestre, ce qui permet de le considérer comme inépuisable. On le trouve entre autres dans le sable, le quartz et les feldspaths.

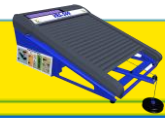
Utilisé depuis très longtemps pour la fabrication du verre sous forme de dioxyde de silicium (plus connu sous le nom de "silice"), ses propriétés de semi-conducteur en font le matériau privilégié pour la fabrication des composants électroniques.



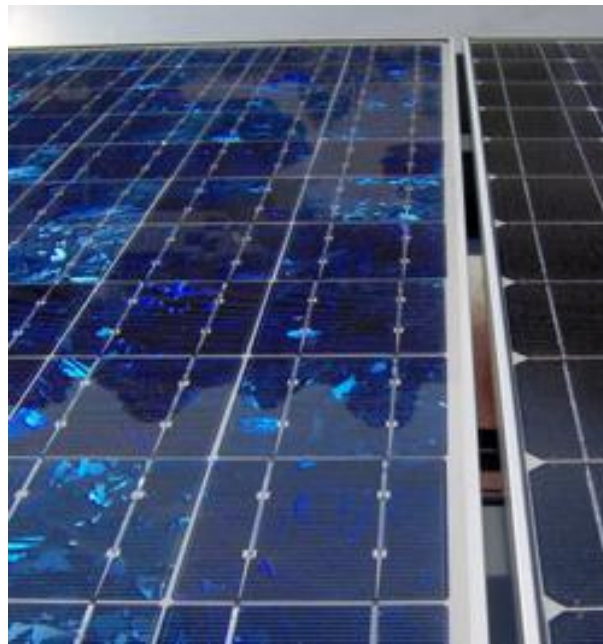


**Le silicium est le matériau de base de près de 95% de la production mondiale de modules, dont l'écrasante majorité à travers les filières multicristallines et monocristallines :**

- **Le silicium monocristallin** (mc-Si) : à lui seul plus de 57% du marché mondial, il offre un rendement intéressant (11 à 15%) pour des coûts de fabrication modérés, profitant notamment du fait qu'il a pu longtemps utiliser les déchets de l'industrie électronique. Cet avantage historique s'est toutefois estompé avec les progrès de l'industrie électronique (réduction des déchets) et l'augmentation des besoins du marché photovoltaïque.
- **Le silicium polycristallin** (sc-Si) : environ 30 % du marché, son rendement est supérieur au silicium polycristallin (13 à 19%), mais sa fabrication à partir de minerai est plus délicate et donc plus coûteuse.
- Enfin, **le silicium amorphe** (a-Si) est une variante "couches minces" : à peine plus de 3% du marché, son rendement est bien inférieur à celui des filières cristallines (6%) mais son coût est proportionnellement nettement plus bas. Historiquement la première filière "couche mince", il a souffert de problèmes de jeunesse (dégradation rapide du rendement) qui l'ont longtemps handicapé, mais ces problèmes sont aujourd'hui résolus. Il est prioritairement utilisé pour les toutes petites puissances nécessaires aux objets portables (montres, calculatrices...) et pour fabriquer des modules plus ou moins souples que l'on trouve notamment sur les bâches de couverture.



Finalement, les coûts par unité de puissance (mesurés en €/Wc) ou ramenés en coût de production du kWh électrique sont sensiblement identiques pour les quatre filières à base de silicium. Cependant, plus le rendement est faible, plus la surface de capteur devra être importante pour obtenir la même production.



Module polycristallin (à gauche) et monocrystallin (à droite)

## Les technologies "couches minces"

Outre le silicium amorphe, qui fait le lien entre les deux grandes catégories, les recherches dans le domaine des matériaux semi-conducteurs ont conduit à l'apparition d'une diversité de technologies utilisant des complexes de matériaux en couches minces.





Les technologies les plus courantes aujourd'hui produites industriellement sont :

- le Tellure de Cadmium (CdTe), qui présente l'avantage d'une très grande stabilité dans le temps et d'un coût modéré
- le Cuivre/Indium/Sélénium (CIS), le Cuivre/Indium/Gallium/Sélénium (CIGS) et le Cuivre/Indium/Gallium/Disélénide/Disulphide (CIGSS), qui présentent les rendements les plus élevés parmi les couches minces mais à un coût plus élevé
- l'Arséniure de Gallium (Ga-As) dont le haut rendement et le coût très élevé conduisent à en réserver l'usage essentiellement au domaine spatial

## Atouts/inconvénients

Par rapport aux technologies au silicium, les technologies "couches minces" ont en commun un certain nombre d'**atouts** :

- elles permettent de fabriquer des modules d'une surface plus importante (4 voire 6 m<sup>2</sup>), qui peuvent même être ensuite découpés
- elles ne craignent pas l'échauffement qui peut faire chuter le rendement des modules cristallins autour de 60°C, ce qui les rend plus aptes à l'intégration



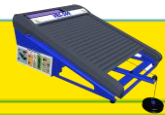
- elles captent mieux le rayonnement diffus et sont donc mieux adaptées à certains sites
- en phase industrielle, leur coût est en principe moins élevé

... mais présentent aussi certains **inconvénients** :

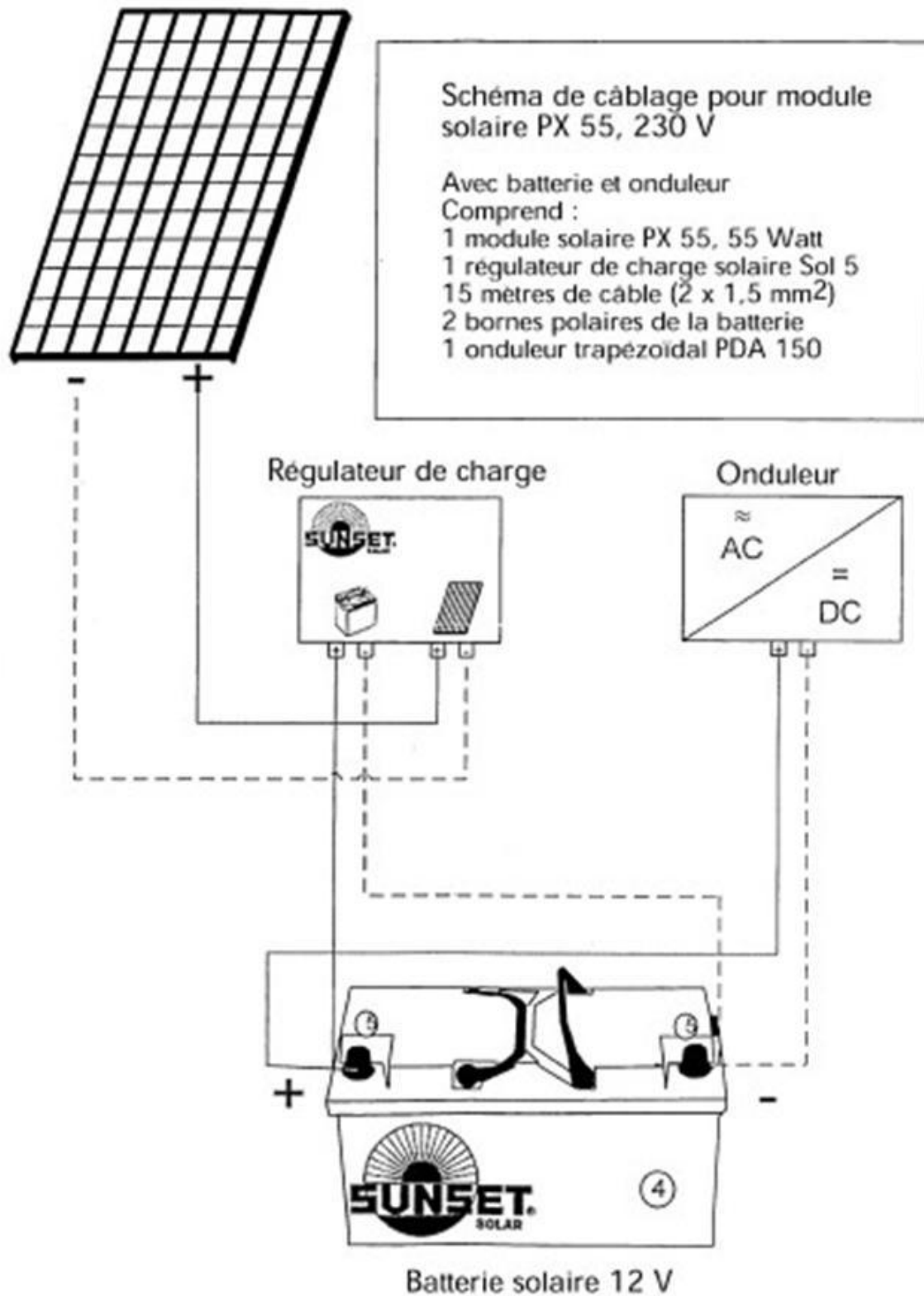
- industrialisation moins avancée
- matières premières limitées et en concurrence avec d'autres usages
- toxicité des matériaux
- recyclage plus complexe

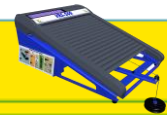
## **Les filières de demain**

Le silicium monocristallin a ouvert la voie à de nouveaux matériaux, toujours plus performants. Si la technologie en couches minces présente un bon potentiel, elles auront une nouvelle concurrence dans quelques années avec l'arrivée des cellules organiques, c'est-à-dire des matériaux composés de molécules comprenant au moins un atome de carbone et un atome d'hydrogène. Aujourd'hui, beaucoup pensent que le coût du silicium peut encore être divisé par trois. Le coût des cellules organiques permettra une réduction supplémentaire de coût de 50%... Ces matériaux permettront alors d'atteindre la parité réseau dans la plupart des zones dans le monde.



## Schéma de câblage d'une installation PV





### Le contrôleur de charge SOL 5

#### Contrôleur de charge SOL 5



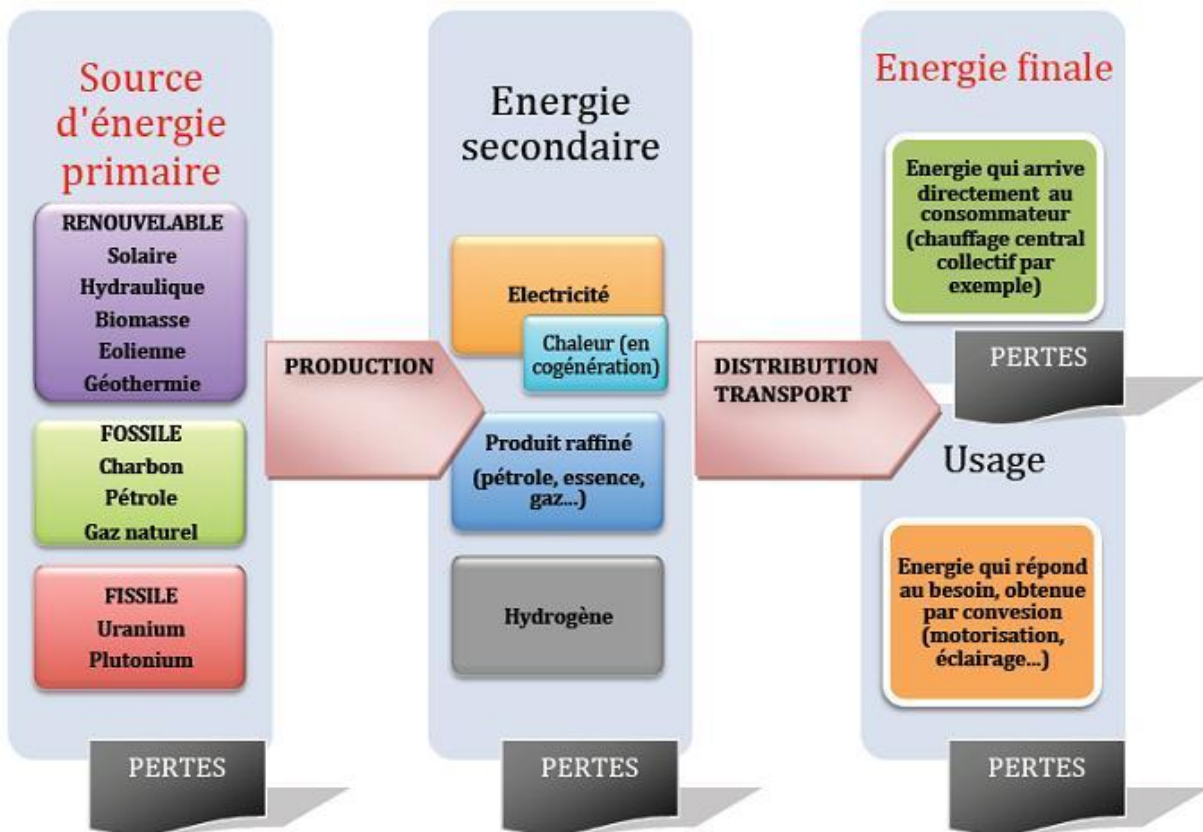
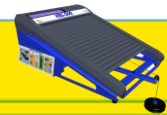
*Dans un générateur solaire, le régulateur assure la gestion de la charge et la décharge de la batterie. Il permet d'éviter un vieillissement prématuré de la batterie et une perte en eau ou un dégazage important. En cas de dysfonctionnement du système, le régulateur solaire empêche la décharge complète de la batterie ce qui la rendrait inutilisable.*

Ce contrôleur de charge est conçu pour les accus rechargeables NiCd ou en plomb. Ce type d'accus ne doit pas être rechargé indéfiniment sans utiliser un régulateur de courant de charge ou au mieux un contrôleur de charge. Pour recharger de façon optimale vos accus NiCd ou en plomb, utilisez notre contrôleur de charge SOL 5. Le contrôleur de charge doit être installé dans un espace sec et à proximité de la batterie (à un mètre maximum). Pour réduire la perte de câble au minimum, nous vous recommandons d'utiliser une section de câble de 1,5 mm<sup>2</sup> pour tous les câbles dans le système. Pour installer le système, commencez par relier la batterie aux bornes à vis du contrôleur.

### Chaine d'utilisation des énergies

L'énergie peut être mécanique, électrique, thermique, hydraulique, chimique ou nucléaire. On distingue les **sources d'énergies renouvelables et non renouvelables**. Une fois produite, l'énergie est acheminée jusqu'à son utilisation par un **vecteur énergétique** : électricité, fluide caloporteur (eau, air, vapeur).

L'énergie peut être transformée, stockée, transportée. L'agriculture, le résidentiel et le tertiaire, l'industrie sont les plus gros consommateurs d'énergie.

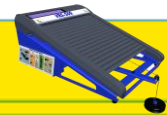


Dans cette chaîne énergétique, les **pertes** sont présentes à tous niveaux. Un des enjeux essentiels est d'**améliorer le rendement**.

Aussi, plusieurs actions sont possibles :

- ▶ Améliorer le taux d'extraction des énergies primaires (aujourd'hui, les cadences de puisage imposées nécessitent une injection massive d'eau dans les gisements, le pétrole ainsi extrait est utilisable à 35% à cause du mélange avec l'eau) ;
- ▶ Améliorer l'efficacité des procédés qui utilisent les énergies secondaires (un moteur électrique possède un rendement autour de 90% alors qu'un moteur thermique avoisine les 45%) mais aussi celle du stockage (le stockage par pompage-turbinage utilisé dans les barrages hydrauliques permet une utilisation de cette énergie pour fournir l'électricité additionnelle lors des pics de consommation) ;



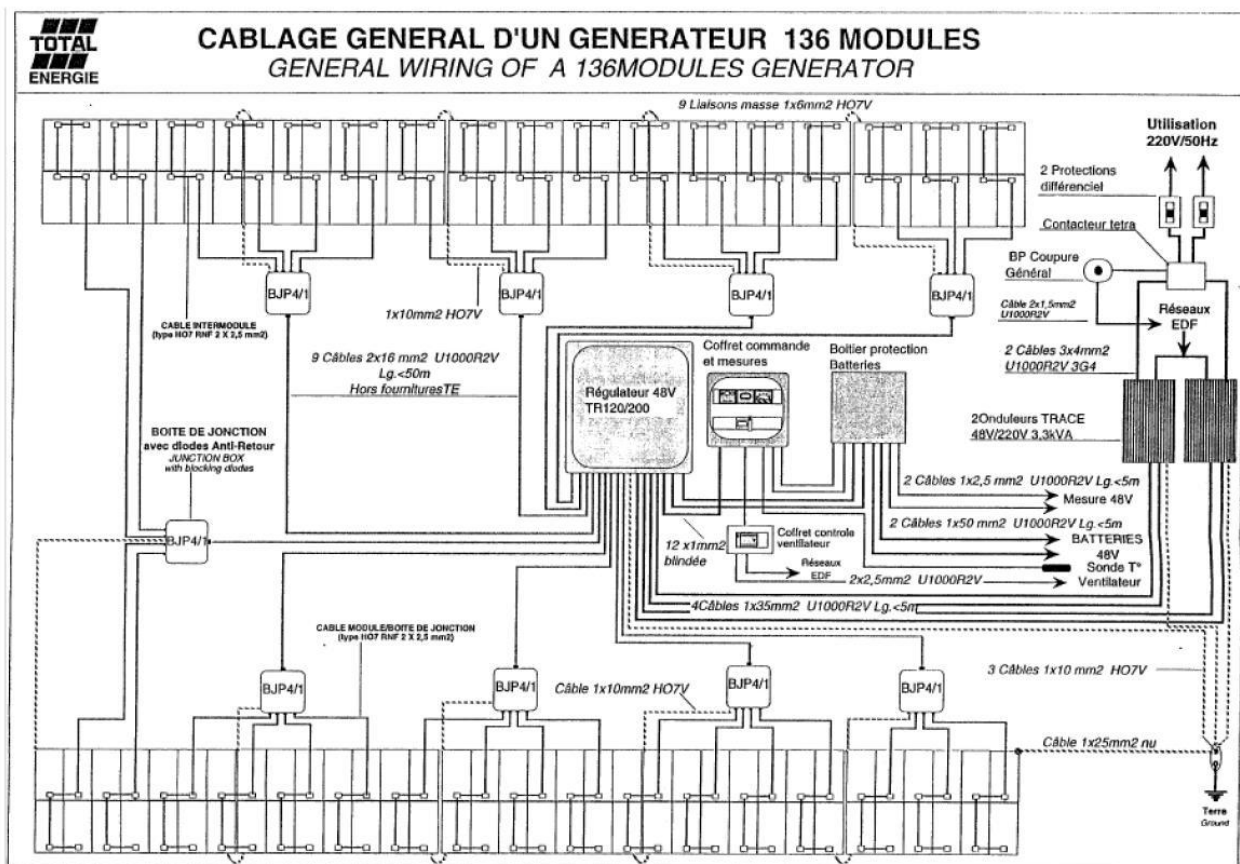


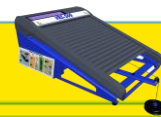
- Améliorer l'efficacité dans la consommation (rôle important des normes qui règlementent l'utilisation des appareils ménagers par exemple).

### Le solaire PV du Lycée HQE

Sur 75 m<sup>2</sup> de toiture quelques capteurs solaires pourront produire de l'électricité basse tension utilisée pour les alarmes d'incendie et d'intrusion ainsi que pour l'éclairage de sécurité. Chaque module photovoltaïque possède une puissance crête de 49 W. Leur vocation est essentiellement pédagogique, ils seront utilisés dans les cours de STI2D dispensés au lycée.

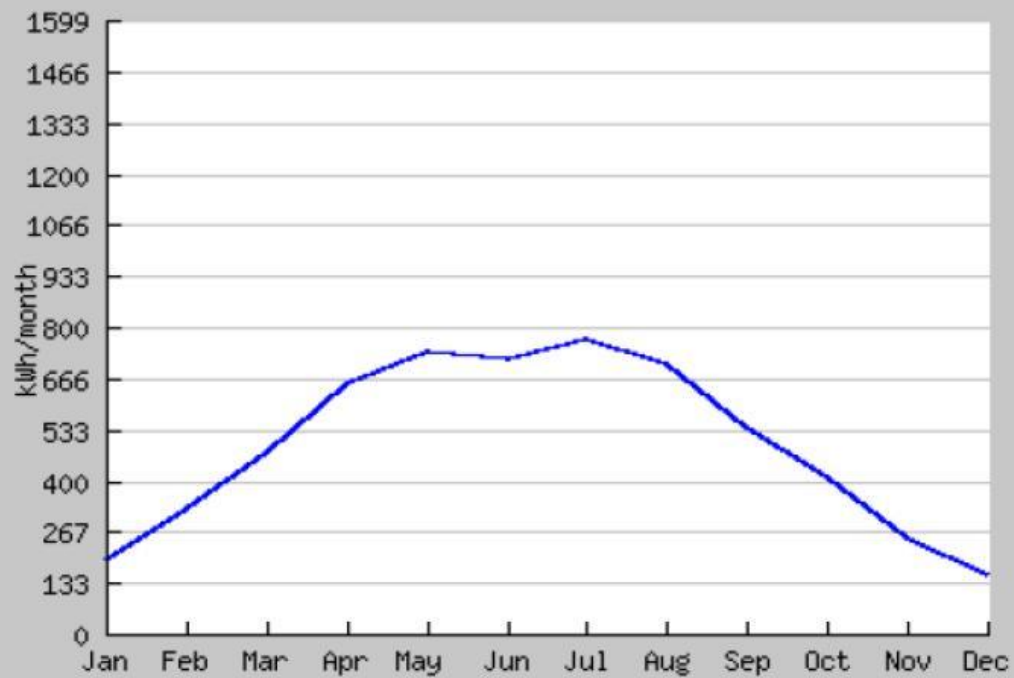
*Schéma de câblage :*





PV estimate: 50°57'4"North, 1°51'31"East

— Fixed system, incl.= 35







### ACTIVITE : Etude de la cellule PV amorphe

#### Niveau de formation

Première STI2D  
Enseignements Transversaux

#### Références au programme (B.O. spécial n° 3 du 17 mars 2011)

##### **O2 - Identifier les éléments influents permettant la limitation de l'impact environnemental d'un système et de ses constituants**

- CO2.1. Identifier les flux et la forme de l'énergie, caractériser ses transformations et/ou modulations et estimer l'efficacité énergétique globale d'un système

##### **O4 – Décoder l'organisation fonctionnelle, structurelle et logicielle d'un système**

- CO4.1 : Identifier et caractériser les fonctions et les constituants d'un système ainsi que ses entrées/sorties

#### Thématique

- Production d'énergie

#### Notions abordées

- Relation puissance/courant d'une cellule PV ;
- Mise en évidence du point de puissance maximum ;
- Rendement d'une cellule PV amorphe.

#### Durée de l'activité

- 2 heures

#### Environnement matériel et logiciel

- Le VRS-500
- 2 multimètres et les câbles nécessaires
- 1 luxmètre ou solarimètre
- 1 accès Internet

#### Intentions pédagogiques

Cette activité vise à obtenir la caractéristique  $P = f(I)$  d'une cellule PV, et de mettre ainsi en évidence le point de maximum de puissance fourni, et donc la possibilité d'améliorer l'efficacité énergétique d'un tel système de production selon les conditions de charge.

En se mettant dans de telles conditions par la suite, une estimation du rendement d'une telle cellule peut être mesurée au moyen d'un luxmètre ou d'un solarimètre, qui sera comparée aux valeurs moyennes attendues.



# Activité Pratique PhotoVoltaïque



### **Table des matières**

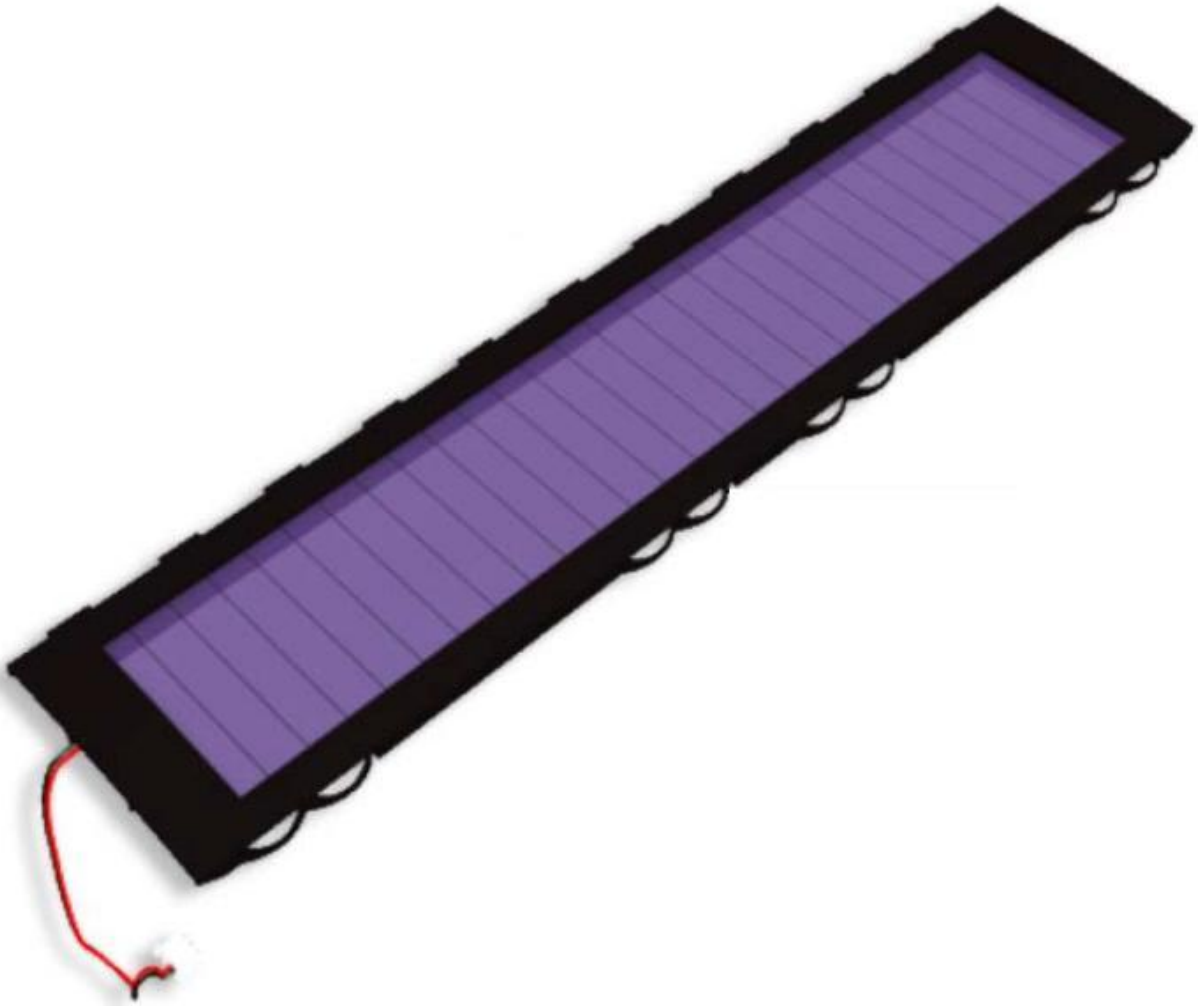
---

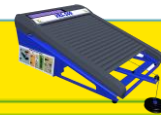
La cellule PhotoVoltaïque .....	4
Mise en situation .....	4
Problématiques .....	5
Compétences et Objectifs visés .....	5
Travail demandé .....	6
1 - Réalisation du montage .....	7
2 - Mesures des tensions et courant obtenus .....	8
3 - Obtention de la courbe de puissance .....	10
4 - Mesure du rendement .....	13
Ressources .....	15
Dossier technique du VRS.....	16
Le multimètre .....	16
Création d'un graphique sous Excel .....	23
Le luxmètre .....	29
Constitution du VRS .....	30
Les technologies photovoltaïques .....	31



# La cellule PhotoVoltaïque

---

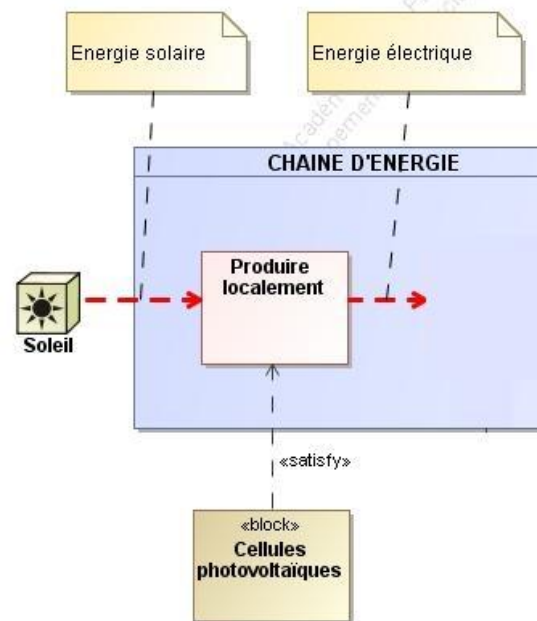




### Mise en situation

Cette activité va vous permettre de tracer la caractéristique de transfert d'une cellule photovoltaïque, en tension puis en puissance en fonction du courant.

De plus, une fois positionné à son maximum de puissance reçue, on mesurera le rendement d'un tel composant.



### Problématiques

- Comment varie la puissance reçue par une cellule photovoltaïque en fonction de la charge ?
- Quel est son rendement maximum ?

### Compétences et Objectifs visés

**O2 - Identifier les éléments permettant la limitation de l'impact environnemental d'un système et de ses constituants**

CO2-1	Identifier les flux et la forme de l'énergie, caractériser ses transformations et/ou modulations et estimer l'efficacité énergétique globale d'un système
-------	---

**O4 - Décoder l'organisation fonctionnelle, structurelle et logicielle d'un système**

CO4-1	Identifier et caractériser les fonctions et les constituants d'un système ainsi que ses entrées/sorties
-------	---



## Travail demandé

---

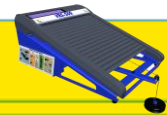
# Travail demandé

---

Vous remplirez votre document-réponse au fur et à mesure de l'activité.  
A vous de le faire entièrement à l'aide d'un logiciel de traitement de  
texte ou sur papier.

- ▶ 1 - Réalisation du montage
- ▶ 2 - Mesures des tensions et courant obtenus
- ▶ 3 - Obtention de la courbe de puissance
- ▶ 4 - Mesure du rendement





## 1 - Réalisation du montage

### 1 - Liste du matériel nécessaire (demandez-le à votre professeur) :

- Le VRS-500



- 2 multimètres

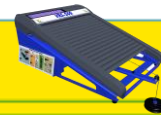


- Des cordons à fiches isolées de sécurité 4mm



- La lampe du VRS-500





2 - A l'aide de ce matériel et du [dossier technique du VRS](#), réalisez les montages permettant les mesures de :

- Tension, cellule isolée et simulation de charge ;
- Courant, cellule isolée et simulation de charge.

**UNE FOIS LE MONTAGE FAIT, APPELLEZ VOTRE PROFESSEUR POUR VERIFICATION !!!!**

### 2 - Mesures des tensions et courant obtenus

1 - Créez, sous Excel, un tableau comme celui-ci :

F25					
	A	B	C	D	E
1	I (mA)	U (V)	$P = U.I$ (mW)		
2	Imin	Umax		Première mesure	
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13	Imax	Umin		Seconde mesure	
14					



2 - Placez la lampe au-dessus de la cellule PV alignée à celle-ci à environ 10 cm

**UNE FOIS LA LAMPE POSITIONNEE, NE TOUCHEZ PLUS A LA POSITION DE LA LAMPE NI DE LA MAQUETTE !!!**

Ceci pour que les conditions de mesure soient les mêmes durant toute la manipulation.

**DE PLUS PENSEZ A ETEINDRE LA LAMPE QUAND VOUS NE MESUREZ PAS !!!**

L'effet prolongé de la cellule sous la lampe peut la chauffer et les performances, donc le rendement s'effondrent.

3 - Allumez la lampe. Effectuez 2 premières mesures comme suit:

- Potentiomètre au maximum : mettre le potentiomètre en butée de telle manière que la tension soit la plus grande possible. **Relevez  $I_{min}$  et  $U_{max}$**
- Potentiomètre au minimum : mettre le potentiomètre en butée dans l'autre sens. **Relevez  $I_{max}$  et  $U_{min}$**

**Notez ces valeurs dans votre document-réponse.**

3 - Dédurre de ces valeurs l'intervalle de mesure en courant pour obtenir 10 autres mesures entre ces 2 valeurs :

$$I_{inter} = \frac{I_{max} - I_{min}}{11}$$

**Notez cette valeur dans votre document-réponse.**



### 4 - Relevez les 10 autres mesures

Faites varier le potentiomètre pour faire les 10 autres mesures :  $I_{\min} + I_{\text{inter}}$ ,  $I_{\min} + 2 I_{\text{inter}}$ , ...,  $I_{\max} - 2 I_{\text{inter}}$ ,  $I_{\max} - I_{\text{inter}}$ .

**UNE FOIS CELA FAIT, APPELLEZ VOTRE PROFESSEUR  
POUR VERIFICATION !!!!**

### 3 - Obtention de la courbe de puissance

1 - A l'aide des ressources tracez le graphique  $U = f(I)$ .

Mettez ce graphique dans votre compte-rendu (ou l'impression).

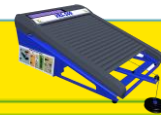
2 - Calcul des puissances :

Dans la première des cases de puissance écrire la formule suivante :

$$= A2 * B2$$

A	B	C	D
I (mA)	U (V)	P = U.I (mW)	
0,17	1,66	= A2 * B2	Première r
0,24	1,64		

Puis appuyez sur "Entrée".



Nous allons maintenant faire un développement de cette formule sur toutes les cases suivantes.

Sélectionnez la case et pointez la souris en bas à droite : une croix apparaît.

fx = A2 * B2		
B	C	D
U (V)	P = U.I (mW)	
1,66	0,2822	Première
1,64		
1,613		

Maintenez le bouton gauche de la souris enfoncé, et sélectionnez toutes les cases jusqu'à la dernière.

Police		
fx = A2 * B2		
B	C	D
U (V)	P = U.I (mW)	
1,66	0,2822	Première r
1,64		
1,613		
1,582		
1,55		
1,525		
1,45		
1,375		
1,27		
1,135		
0,9		
0		Seconde m



**Relâchez le bouton** : toutes les cases contiennent maintenant la même formule, appliquées aux bonnes cases.

### **3 - Tracé du graphique de la puissance**

A l'aide du document ressources, tracez le graphique  $P = f(I)$  en le nommant "**Puissance fournie par une cellule PV en fonction de l'intensité délivrée**"

Mettez ce graphique dans votre compte-rendu (ou l'impression).

### **4 - Obtention du maximum**

Vous devriez obtenir une courbe passant par un maximum : c'est le maximum de puissance que peut délivrer la cellule PV.

Notez sur votre document-réponse les valeurs de  $P_{max}$  et de  $I$  correspondant. Les reporter sur le graphique.





## 4 - Mesure du rendement

1 - Liste du matériel supplémentaire nécessaire (demandez-le à votre professeur) :

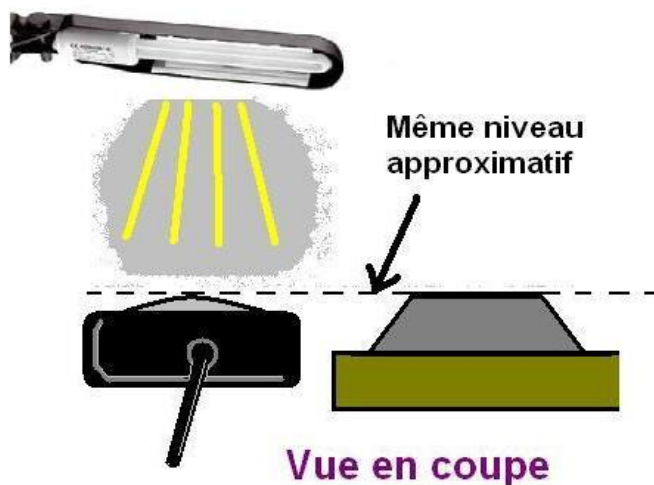
- Un luxmètre



*Remarque 1 : si un solarimètre est disponible dans le labo, la mesure sera plus précise puisqu'il donnera directement une mesure de flux lumineux en  $W/m^2$ .*

2 - Mesure de l'intensité lumineuse reçue :

En déplaçant légèrement la lampe, réalisez la mesure d'intensité lumineuse, en positionnant le luxmètre comme cela :





**Il est impératif que le luxmètre se situe à un niveau équivalent à la cellule PV, pour obtenir la mesure d'intensité lumineuse reçue par la cellule.**

**Notez la valeur dans votre document-réponse.**

### **3 - Obtention de la puissance équivalente en W**

Vous obtenez une puissance en lux qu'il va falloir convertir en **Watts**.

Pour cela, il suffit d'appliquer la formule suivante :

$$P(W) = \frac{P \text{ (lux)} * S(m^2)}{22}$$

où :

- P est la puissance, exprimée en W à gauche et en lux à droite ;
- S est la surface photosensible de la cellule, exprimée en m<sup>2</sup> (voir "Constitution du VRS") ;
- 22 correspond à l'irradiation moyenne d'une lampe halogène (en lumens) qui varie de 15 à 30.

*Remarque 2 : si la mesure est faite au solarimètre, remplacer P(lux)/22 par la mesure effectuée (W/m<sup>2</sup>)*

**A l'aide de tous ces éléments calculez la puissance reçue en Watts et notez la sur votre document-réponse (détaillez les calculs).**



### 4 - Calcul du rendement

En utilisant la puissance électrique fournie maximale mesurée lors de l'activité 3, calculez le rendement de la cellule PV :

$$\eta_{max} (\%) = \frac{P_{\text{max fournie}} (W) * 100}{P_{\text{reçue}} (W)}$$

### 5 - Conclusion

Compte-tenu du type de la cellule (voir "Constitution du VRS"), votre résultat est-il conforme à ce que l'on pouvait attendre ? Répondez à cette question sur votre document-réponse.



# Ressources

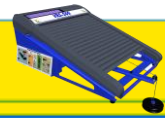
---

- ▶ [Dossier technique du VRS](#)
- ▶ [Le multimètre](#)
- ▶ [Création d'un graphique sous Excel](#)
- ▶ [Le luxmètre](#)
- ▶ [Constitution du VRS](#)
- ▶ [Les technologies photovoltaïques](#)

## Dossier technique du VRS



Dossier technique du VRS



### Le multimètre

Les multimètres sont analogiques (à aiguille) ou numériques (affichage à cristaux liquides), certains modèles combinant les deux types d'affichage.

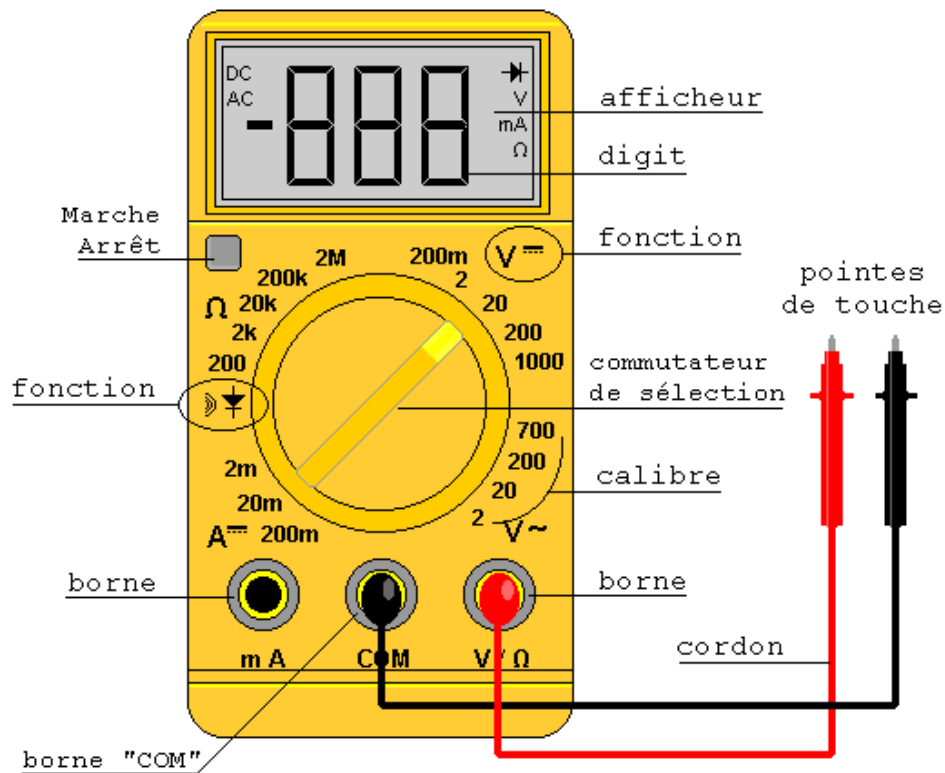
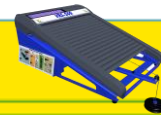
Le multimètre numérique (DMM, pour Digital MultiMeter) est désormais le modèle le plus répandu, tant pour un usage professionnel que "grand public".



### Comment utiliser le multimètre?

Nous n'aborderons ici que trois types de mesure: tension, intensité, résistance.

Mais tout d'abord, voyons comment se présente un multimètre numérique (DMM). Il s'agit dans cet exemple d'un modèle très ordinaire:



On reconnaît sur l'illustration, de haut en bas:

- l'afficheur LCD,
- le commutateur rotatif de sélection de la fonction (voltmètre, ampèremètre, ohmmètre...) et du calibre (de 0 à 200 mV, de 200 mV à 2 V, de 2 V à 20 V, etc...),
- les bornes de raccordement des cordons, qui sont généralement au nombre de trois ou quatre, dont une borne "COM" (commune) où on branchera le cordon relié à la masse,
- les cordons de mesure et les pointes de touche.

La plupart des appareils proposent aujourd'hui des fonctions supplémentaires (au minimum, le test de continuité). En ce qui concerne le raccordement des cordons de mesure et le choix de la sensibilité, on se reportera à la notice du constructeur.



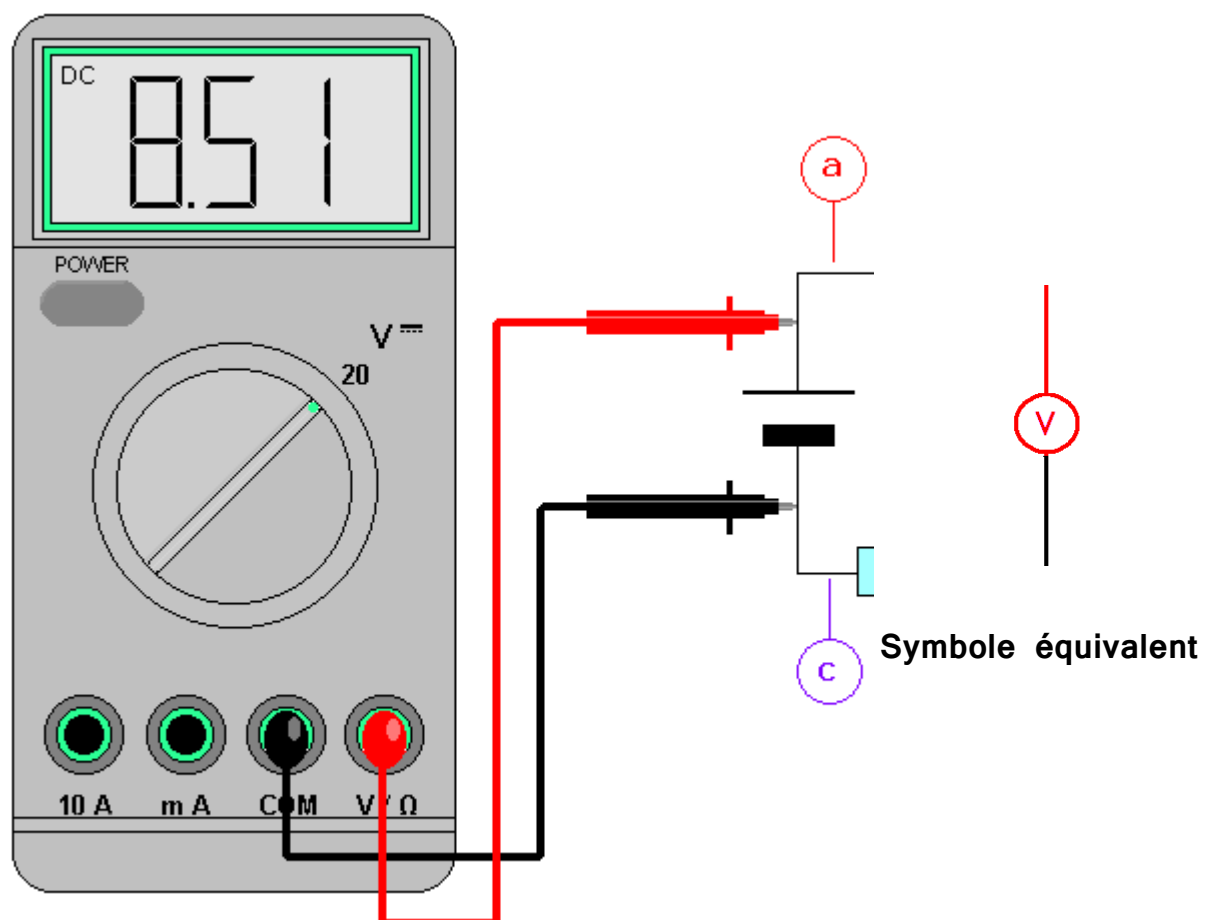


Si on ne dispose pas d'un modèle autorange et si la valeur à mesurer est inconnue, on choisira toujours le calibre supérieur pour commencer.

### Mesurer une tension

Le point important est le suivant: **une tension se mesure toujours en parallèle avec le circuit.**

Si par exemple on souhaite mesurer la tension aux bornes d'un récepteur, on branche les câbles (ou pointes de touche) en parallèle sur ce récepteur, la pointe "noire" du côté du point de référence. En cas d'erreur de polarité, si les pointes ont été interverties, un multimètre numérique affichera une valeur négative.





Pour mesurer une tension, on branche le multimètre en parallèle avec le circuit, la pointe de touche noire (COM) étant connectée au potentiel de référence.

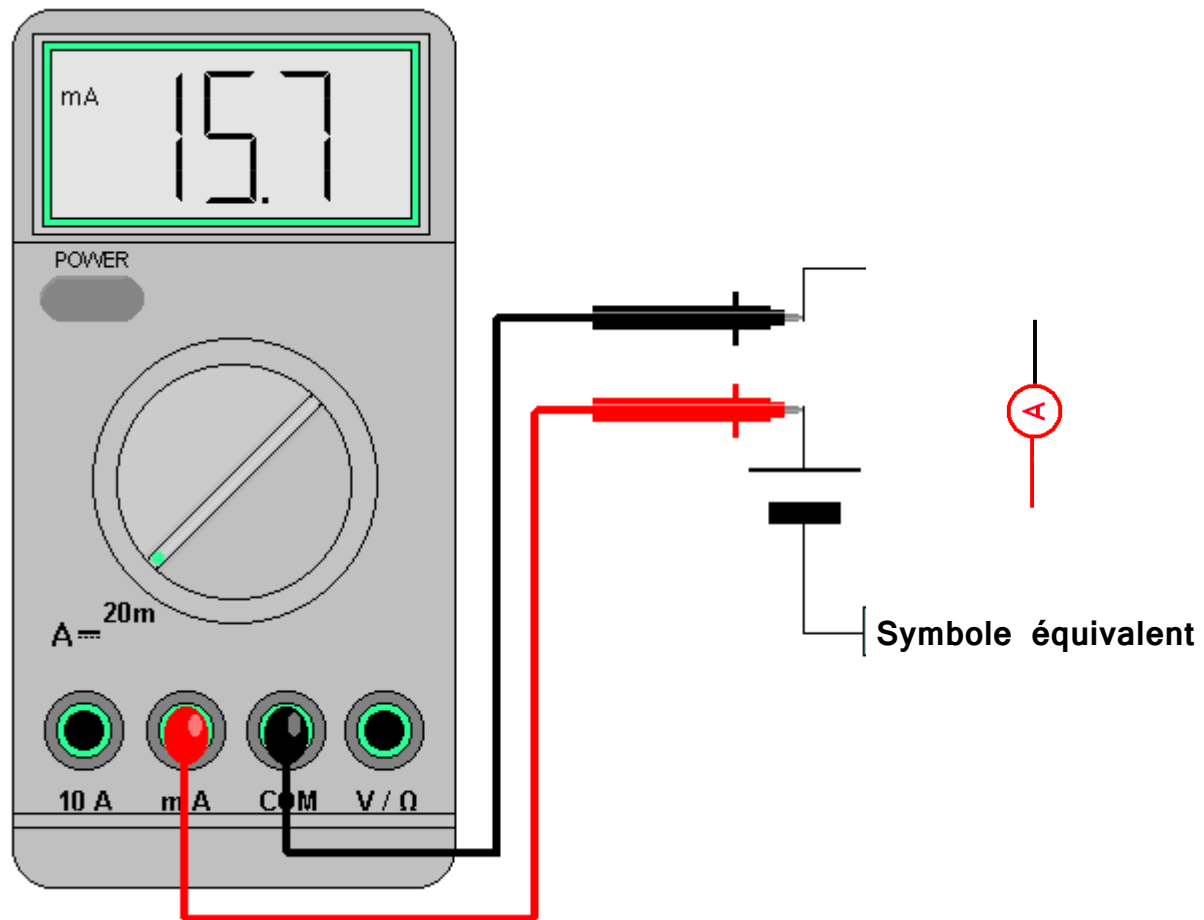
A l'aide du rotacteur central, on sélectionne la fonction VOLT (mesure d'une tension continue), et le calibre approprié, ici 20 V.

Dans l'exemple ci-dessus, on mesure une tension de 8,51 V aux bornes de la pile.

## **Mesurer une intensité (ou courant)**

**Une intensité, à la différence d'une tension, se mesure toujours en série avec le circuit.**

Si par exemple on souhaite mesurer l'intensité du courant qui traverse une résistance, on doit d'abord interrompre la branche du circuit où se trouve cette résistance, c'est-à-dire la couper, puis on connecte les pointes de touche entre ces deux points, donc en série avec la résistance.



Pour mesurer un courant, le multimètre doit être connecté en série avec la branche du circuit considéré.

Par conséquent, le circuit doit être interrompu: ici, entre le + de la pile et l'anode de la DEL.

Il est important de choisir le calibre approprié ou, en cas de doute, le calibre le plus élevé. Par ailleurs, sur de nombreux appareils, il existe une borne 10 ou 20 ampères, en plus de la borne "mA".

**Attention!** En cas de doute sur un éventuel dépassement de la valeur maximale pouvant être mesurée par votre appareil, abstenez-vous!



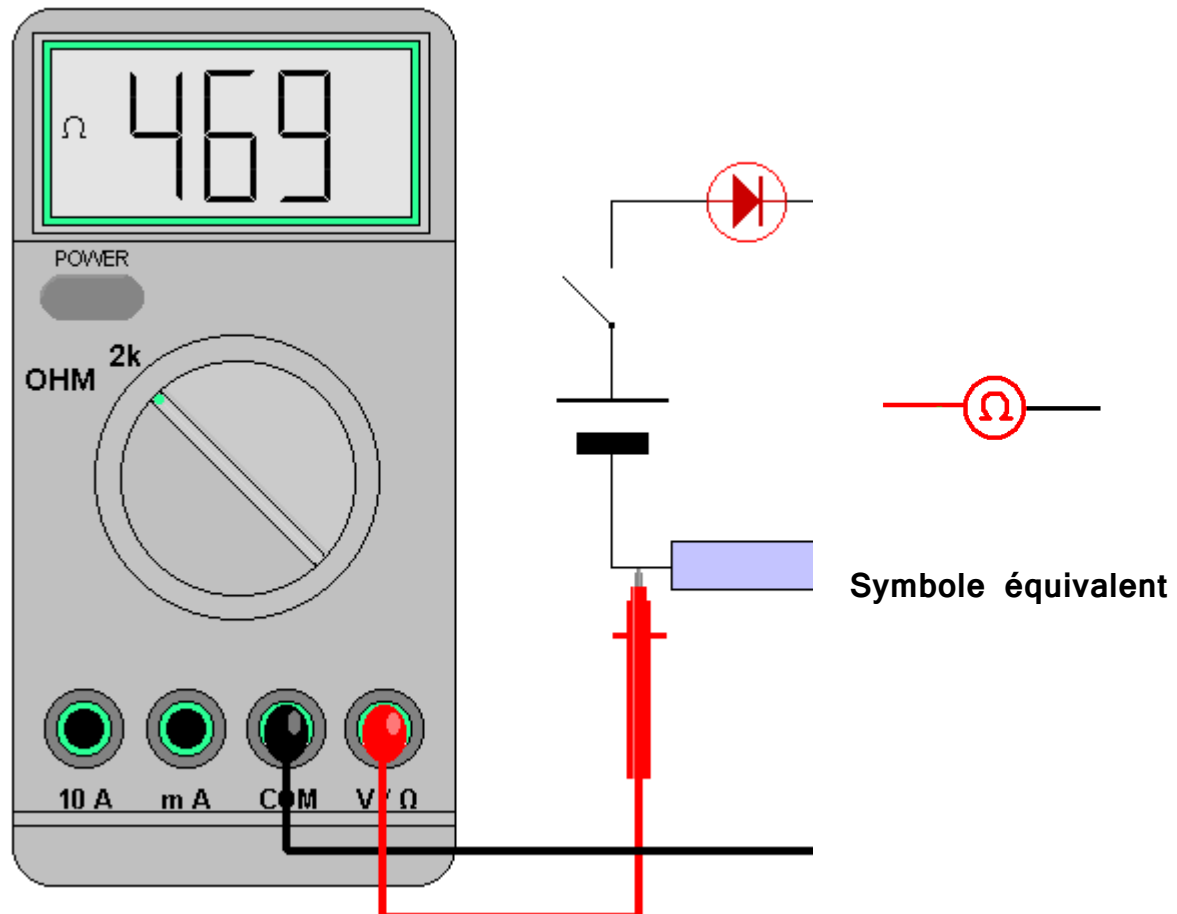
## Mesurer une résistance

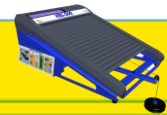
La mesure d'une résistance avec un multimètre numérique se fait hors tension, donc circuit ouvert.

La fonction "OHM" (mesure d'une résistance) étant choisie, on sélectionne le calibre approprié: ici, la valeur 2k.

On place ensuite les pointes de touche, ou mieux les grip-fils, aux bornes de la résistance.

Attention de ne pas shunter celle-ci avec les doigts, ce qui fausserait complètement la mesure!





## Création d'un graphique sous Excel

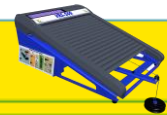
Soit la courbe  $Y = f(X)$  à tracer à partir des données suivantes :

	A	B	C	D
1	X		Y	
2	-10,00		100,00	
3	-8,18		66,94	
4	-6,36		40,50	
5	-4,55		20,66	
6	-2,73		7,44	
7	-0,91		0,83	
8	0,91		0,83	
9	2,73		7,44	
10	4,55		20,66	
11	6,36		40,50	
12	8,18		66,94	
13	10,00		100,00	
14				
15				

### 1. Sélectionnez les colonnes relatives aux données :

Pour la première colonne : sélectionnez la première case (clic gauche souris) :

	A
1	X
2	-10,00
3	-8,18
4	-6,36
5	-4,55
6	-2,73
7	-0,91
8	0,91
9	2,73
10	4,55
11	6,36
12	8,18
13	10,00
14	



Tout en maintenant le bouton gauche de la souris enfoncé, descendez jusqu'à la dernière case :

	A	E
1	X	
2	-10,00	
3	-8,18	
4	-6,36	
5	-4,55	
6	-2,73	
7	-0,91	
8	0,91	
9	2,73	
10	4,55	
11	6,36	
12	8,18	
13	10,00	
14		
15		

Relachez le bouton.

Pour la seconde colonne : recommencez l'opération précédente, **en maintenant dès le départ la touche "Ctrl" enfoncée** :

	A	B	C
1	X		Y
2	-10,00		100,00
3	-8,18		66,94
4	-6,36		40,50
5	-4,55		20,66
6	-2,73		7,44
7	-0,91		0,83
8	0,91		0,83
9	2,73		7,44
10	4,55		20,66
11	6,36		40,50
12	8,18		66,94
13	10,00		100,00
14			

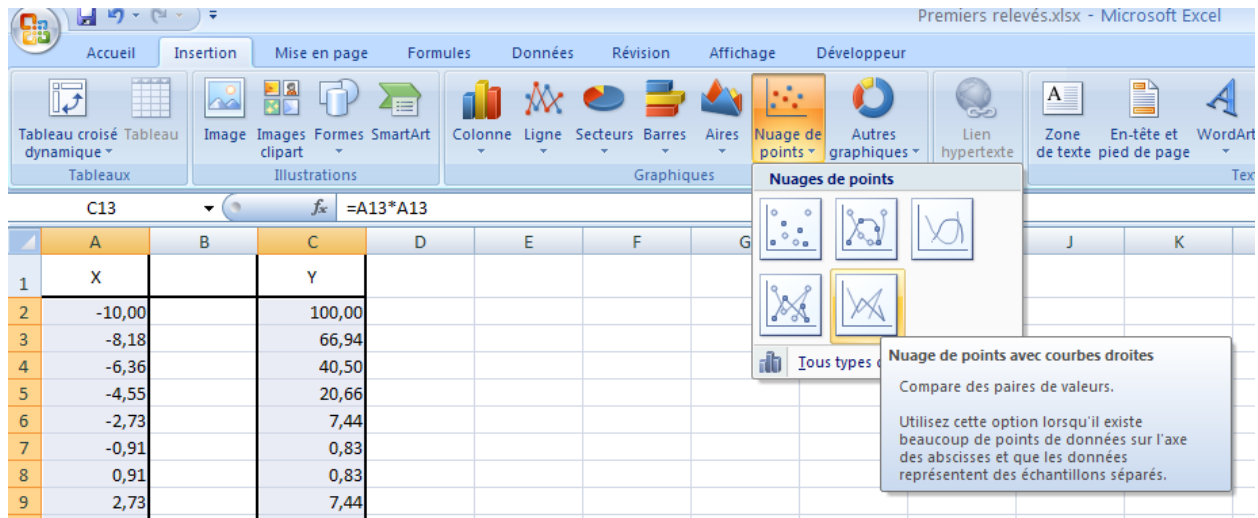




## 2 - Création du graphique :

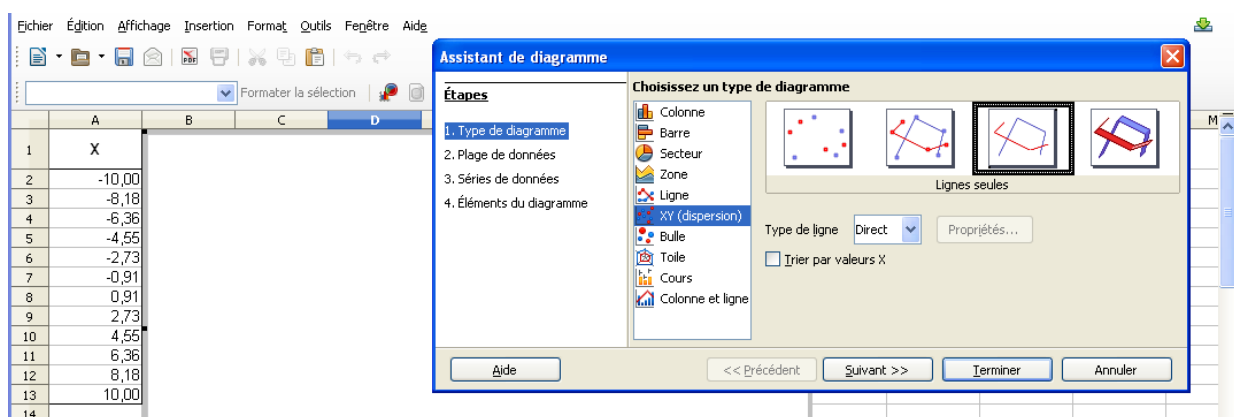
### Sous Excel :

Allez dans l'onglet "Insertion", puis dans "Graphiques" sélectionnez "Nuages de points avec courbes droites" :



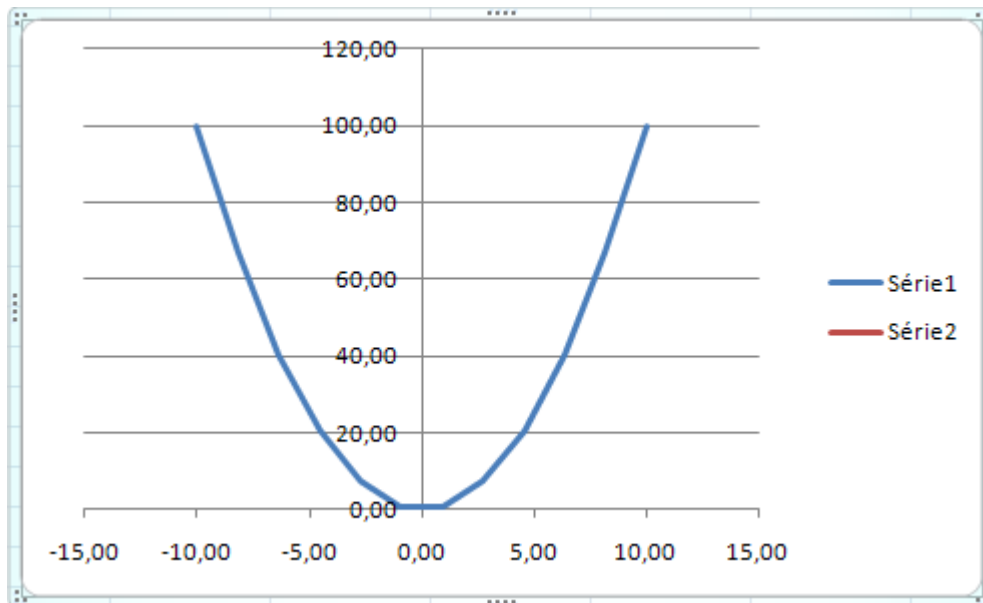
### Sous LibreOffice :

Allez dans l'onglet "Insertion", puis dans "Objet -> Diagramme..." sélectionnez "XY (Dispersion) lignes seules" :



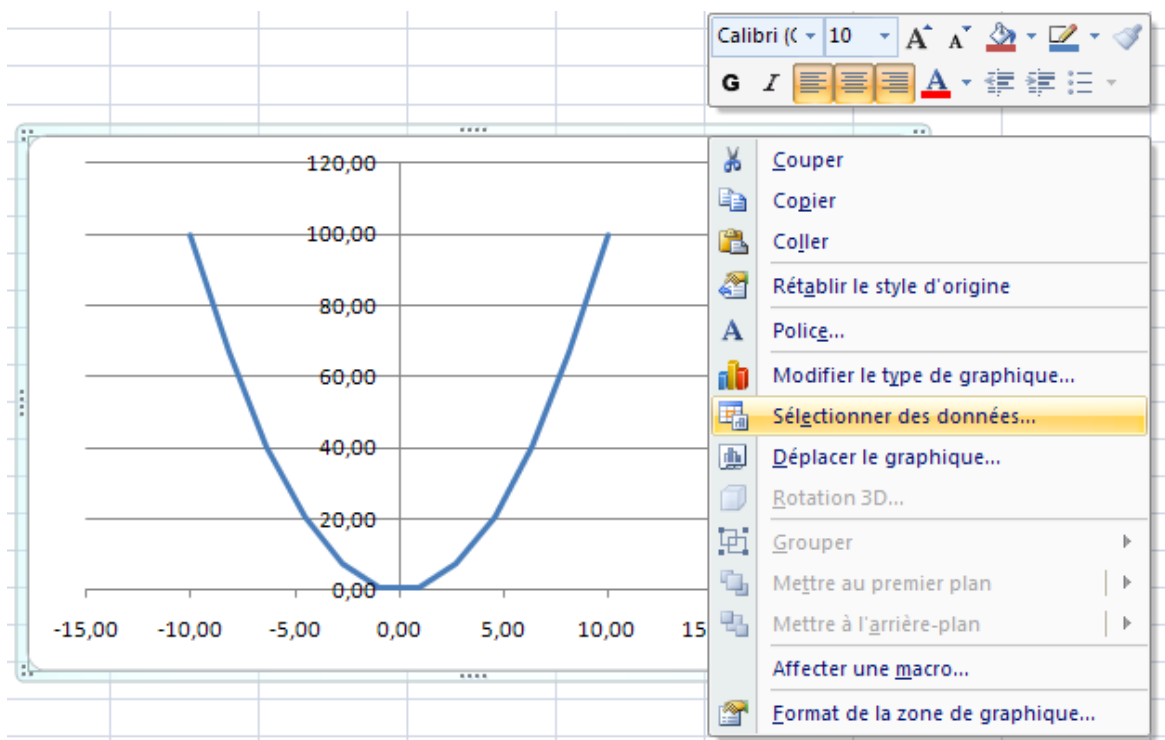


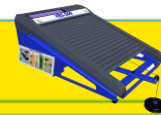
Vous obtenez ceci :



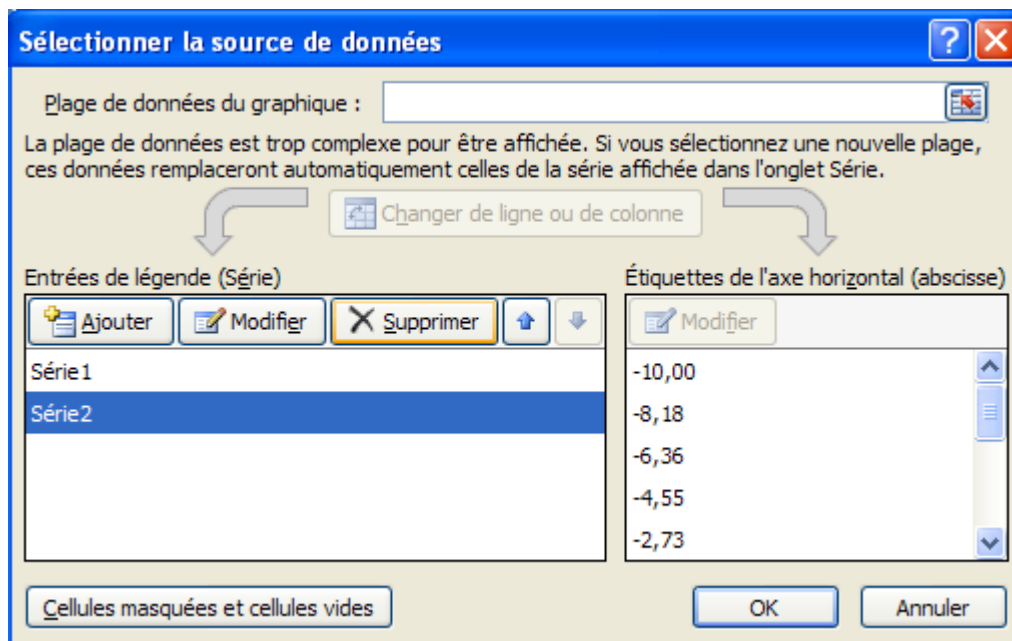
### 3 - Mise en forme du graphique

Cliquez sur le bouton de droite de la souris en pointant sur le bord du graphique, et sélectionnez "Sélectionner des données" :

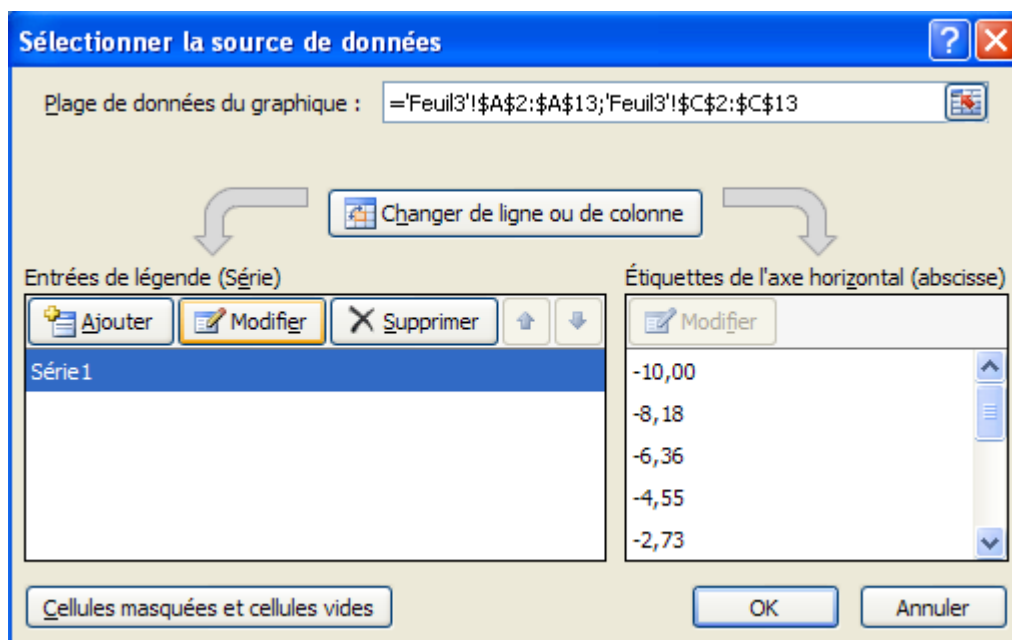




Vous pouvez supprimer une série en cliquant sur "Supprimer" :



Mais surtout vous pouvez donner un titre à votre graphique, en sélectionnant la série puis en cliquant sur "Modifier" :





Nous allons l'appeler "Tracé de la fonction  $y = x * x$ " :

Modifier la série

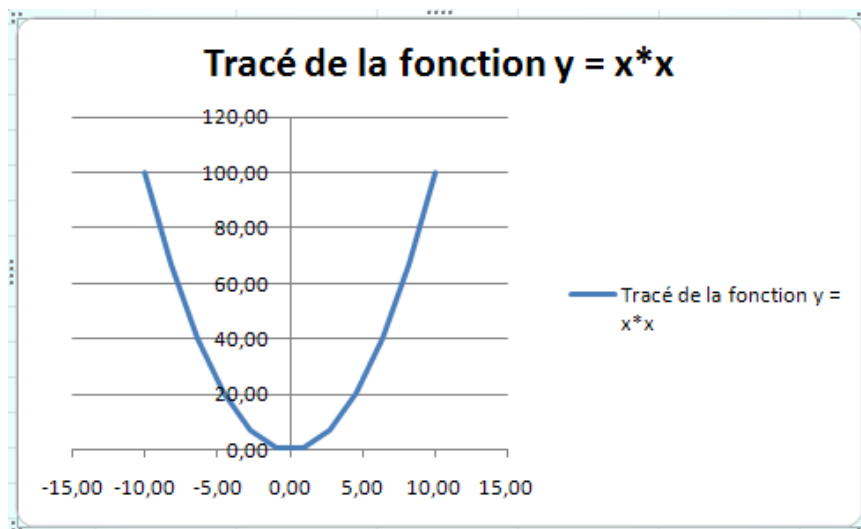
Nom de la série : Tracé de la fonction  $y = x * x$  Sélectionner la plage

Valeurs de la série des abscisses X : =Feuil3!\$A\$2:\$A\$13 = -10,00; -8,18;...

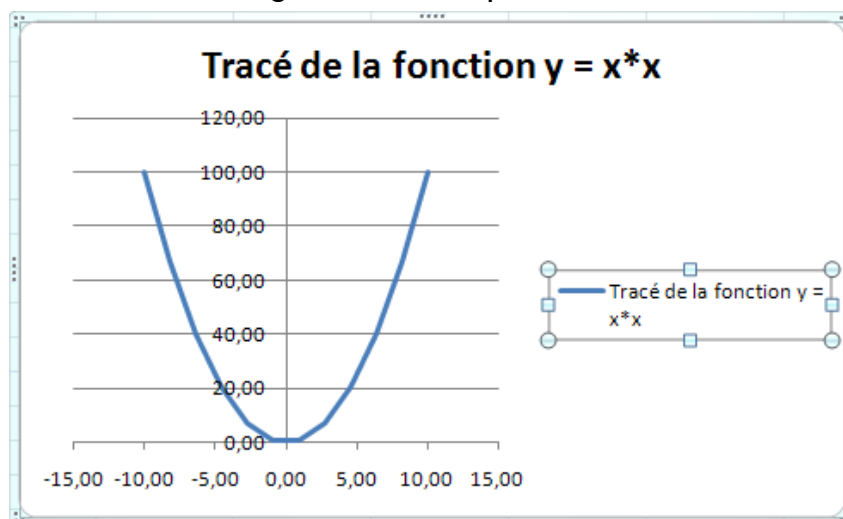
Valeurs de la série des ordonnées Y : =Feuil3!\$C\$2:\$C\$13 = 100,00; 66,94;...

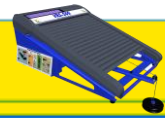
OK Annuler

Résultat :

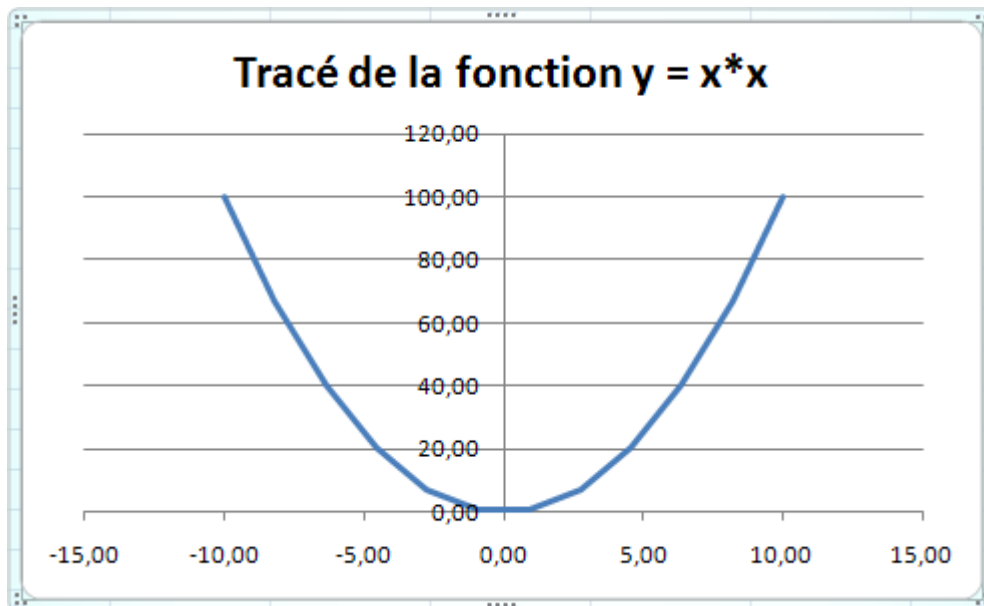


Pour finir on peut décider de supprimer la légende. Pour cela sélectionnez la légende en cliquant dessus :





Puis appuyez sur la touche "Suppr".



Et voilà, mission accomplie.

## Le luxmètre

### Constitution d'un luxmètre

Un luxmètre est l'instrument permettant de mesurer la quantité de lumière arrivant sur la surface du capteur provenant d'un objet lumineux (soit parce qu'il émet de la lumière, soit parce qu'il la réfléchit)





C'est sur le capteur (grosse pastille blanche) que la lumière est captée. Il est donc important de le diriger correctement et de s'assurer qu'aucun obstacle ne se trouve entre celui-ci et l'objet dont on veut mesurer la luminosité.

L'unité de mesure est le lux.

### **Comment effectuer une mesure**

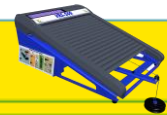
Tenir le capteur d'une main, le corps de l'appareil de l'autre. Veiller à ne pas placer la main sur la partie blanche du capteur.

Allumer l'appareil en tournant le bouton des calibres.

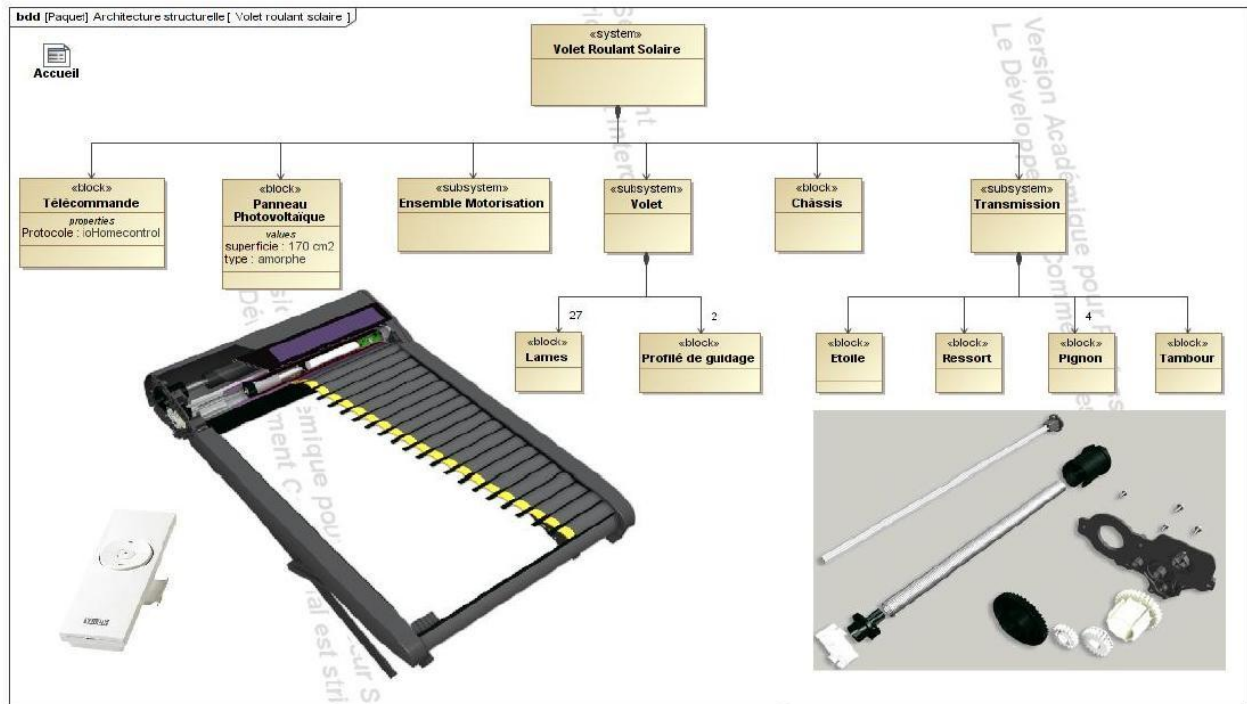
Tant que l'écran indique "1" c'est que le calibre n'est pas suffisant, passer alors au calibre suivant.



Quand une valeur s'affiche, lire la valeur et prendre en compte le calibre utilisé pour la mesure.



## Constitution du VRS



## Les technologies photovoltaïques



Les technologies cristallines (multicristallin et monocristallin) sont de loin les plus utilisées aujourd'hui mais les technologies "couches minces", en particulier CIS et CdTe se développent de plus en plus sur le marché. D'autres filières basées sur l'utilisation de colorants ou de matériaux organiques, encore à leur balbutiements, promettent un bel avenir à l'énergie photovoltaïque.

Il existe actuellement deux grandes technologies de modules photovoltaïques :

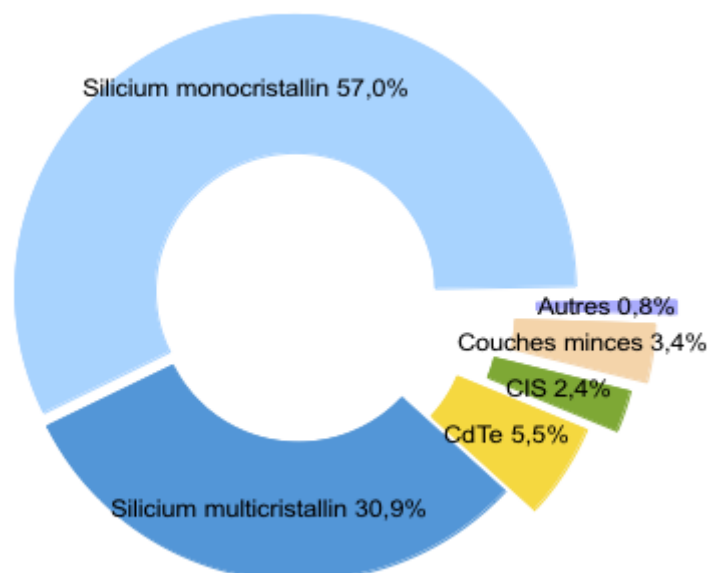
-





- les technologies cristallines qui utilisent des cellules plates de 150 à 200  $\mu\text{m}$ , soit 0,15 à 0,2 mm, découpées dans un lingot ou une brique obtenu par fusion et moulage, puis connectées en série les unes aux autres pour être finalement posées et collées sur la face arrière du verre de protection du module. La matière première est toujours **le silicium** pour aboutir à du silicium **monocristallin** (sc-Si), du silicium **multicristallin** (mc-Si) ou du silicium **amorphe** (a-Si).
- les technologies dites "couches minces" sont fondées sur l'utilisation de couches extrêmement fines de l'épaisseur de quelque microns et consistent à déposer sous vide sur un substrat (verre, métal, plastique, ...) une fine couche uniforme composée d'un et plus souvent de plusieurs matériaux réduits en poudre. Les plus développées industriellement sont les technologies CdTe et CIS.

Répartition de la production des cellules 2011



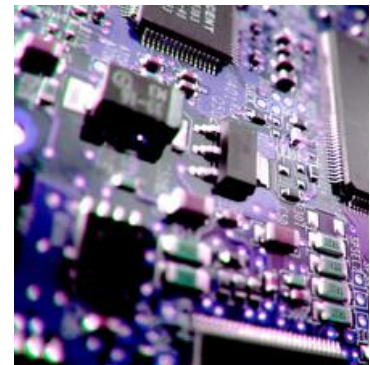
Hespul, d'après Photon International 2012



## Les technologies au silicium

Le silicium est le deuxième élément le plus abondant sur terre après l'oxygène, avant le carbone et l'azote. Il représente environ 25 % en masse de l'écorce terrestre, ce qui permet de le considérer comme inépuisable. On le trouve entre autres dans le sable, le quartz et les feldspaths.

Utilisé depuis très longtemps pour la fabrication du verre sous forme de dioxyde de silicium (plus connu sous le nom de "silice"), ses propriétés de semi-conducteur en font le matériau privilégié pour la fabrication des composants électroniques.



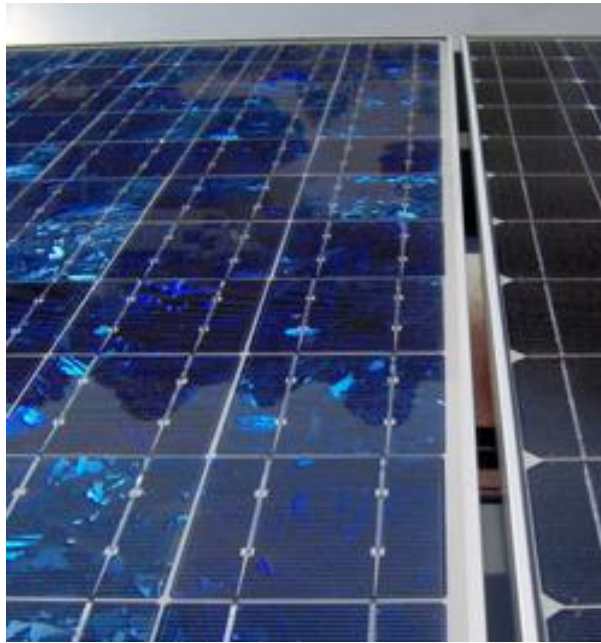
**Le silicium est le matériau de base de près de 95% de la production mondiale de modules, dont l'écrasante majorité à travers les filières multicristallines et monocristallines :**

- **Le silicium monocristallin (mc-Si) :** à lui seul plus de 57% du marché mondial, il offre un rendement intéressant (11 à 15%) pour des coûts de fabrication modérés, profitant notamment du fait qu'il a pu longtemps utiliser les déchets de l'industrie électronique. Cet avantage historique s'est toutefois estompé avec les progrès de l'industrie électronique (réduction des déchets) et l'augmentation des besoins du marché photovoltaïque.



- **Le silicium polycristallin** (sc-Si) : environ 30 % du marché, son rendement est supérieur au silicium monocristallin (13 à 19%), mais sa fabrication à partir de minerai est plus délicate et donc plus coûteuse.
- Enfin, **le silicium amorphe** (a-Si) est une variante "couches minces" : à peine plus de 3% du marché, son rendement est bien inférieur à celui des filières cristallines (6% maximum) mais son coût est proportionnellement nettement plus bas. Historiquement la première filière "couche mince", il a souffert de problèmes de jeunesse (dégradation rapide du rendement) qui l'ont longtemps handicapé, mais ces problèmes sont aujourd'hui résolus. Il est prioritairement utilisé pour les toutes petites puissances nécessaires aux objets portables (montres, calculatrices...) et pour fabriquer des modules plus ou moins souples que l'on trouve notamment sur les bâches de couverture.

Finalement, les coûts par unité de puissance (mesurés en €/Wc) ou ramenés en coût de production du kWh électrique sont sensiblement identiques pour les quatre filières à base de silicium. Cependant, plus le rendement est faible, plus la surface de capteur devra être importante pour obtenir la même production.



Module polycristallin (à gauche) et  
monocristallin (à droite)

## Les technologies "couches minces"

Outre le silicium amorphe, qui fait le lien entre les deux grandes catégories, les recherches dans le domaine des matériaux semi-conducteurs ont conduit à l'apparition d'une diversité de technologies utilisant des complexes de matériaux en couches minces.

Les technologies les plus courantes aujourd'hui produites industriellement sont :

- le Tellure de Cadmium (CdTe), qui présente l'avantage d'une très grande stabilité dans le temps et d'un coût modéré
- le Cuivre/Indium/Sélénium (CIS), le Cuivre/Indium/Gallium/Sélénium (CIGS) et le Cuivre/Indium/Gallium/Disélénide/Disulphide (CIGSS), qui



présentent les rendements les plus élevés parmi les couches minces mais à un coût plus élevé

- l'Arséniure de Gallium (Ga-As) dont le haut rendement et le coût très élevé conduisent à en réserver l'usage essentiellement au domaine spatial

## Atouts/inconvénients

Par rapport aux technologies au silicium, les technologies "couches minces" ont en commun un certain nombre d'**atouts** :

- elles permettent de fabriquer des modules d'une surface plus importante (4 voire 6 m<sup>2</sup>), qui peuvent même être ensuite découpés
- elles ne craignent pas l'échauffement qui peut faire chuter le rendement des modules cristallins autour de 60°C, ce qui les rend plus aptes à l'intégration
- elles captent mieux le rayonnement diffus et sont donc mieux adaptées à certains sites
- en phase industrielle, leur coût est en principe moins élevé

... mais présentent aussi certains **inconvénients** :

- industrialisation moins avancée
- matières premières limitées et en concurrence avec d'autres usages
- toxicité des matériaux
- recyclage plus complexe



## **Les filières de demain**

Le silicium monocristallin a ouvert la voie à de nouveaux matériaux, toujours plus performants. Si la technologie en couches minces présente un bon potentiel, elles auront une nouvelle concurrence dans quelques années avec l'arrivée des cellules organiques, c'est-à-dire des matériaux composés de molécules comprenant au moins un atome de carbone et un atome d'hydrogène. Aujourd'hui, beaucoup pensent que le coût du silicium peut encore être divisé par trois. Le coût des cellules organiques permettra une réduction supplémentaire de coût de 50%... Ces matériaux permettront alors d'atteindre la parité réseau dans la plupart des zones dans le monde.



### ACTIVITE : Etude de l'autonomie globale

#### Niveau de formation

Première STI2D  
Enseignements Transversaux

#### Références au programme (B.O. spécial n° 3 du 17 mars 2011)

##### **O2 – Identifier les éléments permettant la limitation de l'impact environnemental d'un système et de ses constituants**

- CO2.1 : Identifier les flux et la forme de l'énergie, caractériser ses transformations et/ou modulations et estimer l'efficacité énergétique globale d'un système

##### **O4 – Décoder l'organisation fonctionnelle, structurelle et logicielle d'un système**

- CO4.1 : Identifier et caractériser les fonctions et les constituants d'un système ainsi que ses entrées/sorties
- CO4.3 : Identifier et caractériser le fonctionnement temporel d'un système.

#### Thématique

- Autonomie des systèmes

#### Notions abordées

- Energie, puissance
- Autonomie énergétique

#### Durée de l'activité

- 2 heures

#### Environnement matériel et logiciel

- L'EMP du VRS-500
- L'interface d'acquisition du VRS-500
- Un accès Internet

#### Intentions pédagogiques

L'objectif de cette activité est de vérifier l'autonomie globale du système en fonctionnement normal.

On comparera pour cela les besoins en énergie quotidiens par rapport à l'énergie disponible, dans les conditions les plus défavorables et pour un scénario nominal donné.

A travers le dimensionnement de la batterie, on en déduira la manière dont celle-ci est sollicitée par le système.

Enfin, on étudiera le dysfonctionnement du rechargement de la batterie pour :

- Calculer l'autonomie minimale du système dans ce cas ;
- Mettre en évidence le comportement du système lors d'une décharge profonde de la batterie.



# Activité

## Etude de l'autonomie Énergétique





## Etude de l'autonomie énergétique

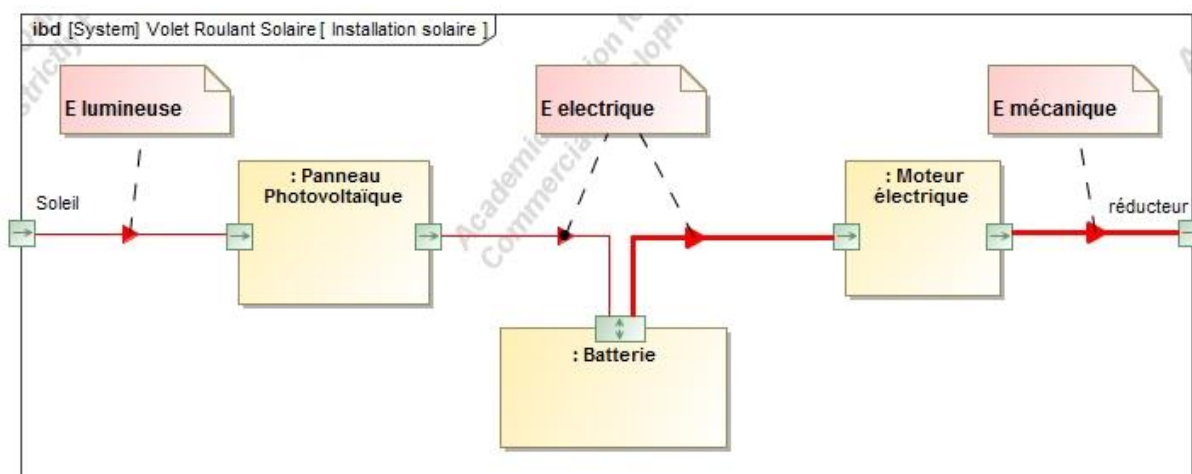
### 1 Introduction

Le volet roulant solaire est utilisé de façon quotidienne. Sachant qu'on utilise de l'énergie lorsqu'il n'y a pas de rayonnement solaire, le calcul des éléments panneau photovoltaïque + batterie ne peut être laissé au hasard.

Différents paramètres sont à prendre en compte :

- Energie journalière consommée ;
- Energie journalière disponible ;
- Durée de vie de la batterie espérée ;
- ...

D'un point de vue des transferts d'énergie, on utilisera la chaine d'énergie simplifiée suivante, en considérant que toute l'énergie consommée l'est par le moteur et que l'énergie est directement fournie à la batterie par le panneau PV (pas de régulateur) :



Nous nous intéresserons dans un premier temps à la viabilité du système, à savoir si l'autonomie est totale ou partielle.

Nous étudierons ensuite le dimensionnement de la batterie pour conclure quant à sa durée de vie.

Nous étudierons finalement le comportement du système en cas de non rechargement de la batterie, pour conclure quant à l'autonomie minimale du système sans maintenance et la sécurité offerte.

Vous disposez pour réaliser cette activité :

- du système VRS-500 mis en situation dans le laboratoire ;
- de l'environnement multimédia pédagogique du VRS ;
- de l'interface d'acquisition du VRS et sa documentation technique ;
- d'un accès Internet.

A l'issue de la séance vous devez être en mesure :

- de déterminer si l'autonomie du système est partielle ou totale ;
- de déterminer les conditions d'utilisation d'une batterie et les conséquences sur sa durée de vie ;



- de décrire le comportement du système lors d'une décharge totale de la batterie.

Le compte-rendu de l'activité sera rédigé sur le document-réponse fourni, ou directement à l'aide d'un traitement de texte, le compte-rendu comportant quelques impressions d'écran.

## 2 Etude de l'autonomie globale

### 2.1 Détermination des besoins quotidiens du système

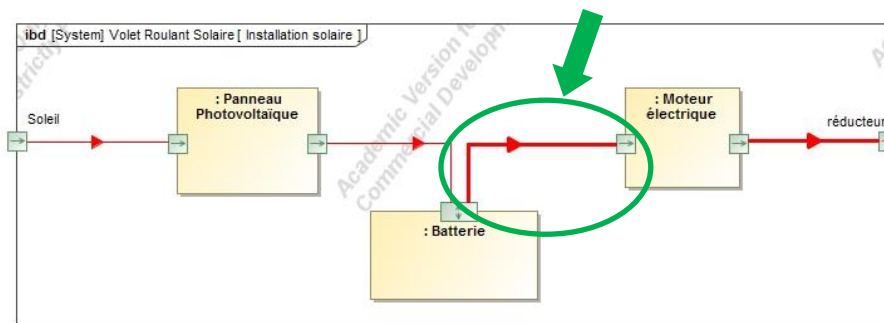
Les besoins quotidiens représentent l'énergie journalière consommée par le système, dans les conditions nominales de fonctionnement du système.

Pour cela, il nous faut avant tout définir un **scénario nominal d'utilisation** :

On prendra comme scénario nominal **2 allers-retours** quotidiens du volet.

- **Question 1** : Justifier cette valeur choisie. Raisonner en termes d'utilisation quotidienne et de marge de calcul.

**Positionnement de l'étude :**



**Apport de connaissances (rappel) :** l'énergie consommée est obtenue en multipliant la puissance moyenne consommée par le temps de consommation :

$$E = P \cdot t$$

La puissance consommée par le moteur peut être mesurée directement à l'aide de l'interface d'acquisition.



### Utilisation de l'interface d'acquisition

Pour observer une descente complète, paramétrer l'interface d'acquisition pour faire l'acquisition durant 50 s **avant de lancer l'acquisition** (fréquence de 200 Hz) :



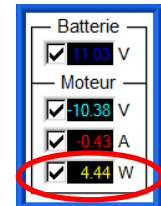


Ensuite, configurer l'interface en mode « Auto » pour arrêter automatiquement l'acquisition à la fin d'une montée/descente de volet :



- **Question 2** : Relever les courbes d'une descente complète et déterminer l'énergie moyenne consommée en Wh lors de celle-ci. Mettre une impression écran du relevé dans votre compte-rendu.

**Remarque** : on peut directement visualiser une puissance une fois l'acquisition faite en cochant la case jaune en W, qui effectue la multiplication de la tension par le courant. Pour le calcul de l'énergie on considérera la puissance constante et égale à une valeur moyenne durant la totalité de la descente.

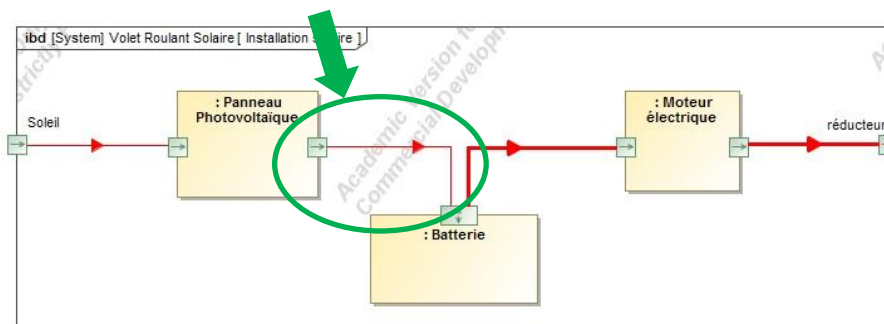


- **Question 3** : En considérant que l'énergie consommée en montée est la même qu'en descente, en déduire B les besoins journaliers du système en Wh/j.

### 2.2 Détermination de l'énergie journalière disponible

Cela correspond à l'énergie fournie chaque jour par la source d'énergie locale, la cellule photovoltaïque dans le cas présent.

**Positionnement de l'étude :**



On ne peut pas mesurer cette valeur directement au travers de la puissance reçue par le panneau PV du VRS-500 situé dans un labo. Par contre, on peut obtenir les valeurs d'irradiation moyenne dans de nombreuses ville à l'aide du logiciel CALSOL disponible sur Internet, à l'adresse suivante :

[http://ines.solaire.free.fr/gisesol\\_1.php](http://ines.solaire.free.fr/gisesol_1.php)

Afin d'obtenir ces valeurs, il faut choisir une ville et une inclinaison/orientation du panneau : elles doivent être choisies pour avoir des **conditions d'irradiation les plus défavorables possibles**, à savoir :

- Zone géographique de plus faible irradiation ;
- Orientation du panneau pour « tourner le dos » au maximum au soleil.

- **Question 4** : A l'aide de l'annexe 1, choisir une ville remplissant ces conditions.
- **Question 5** : Déterminer l'orientation du panneau permettant de recevoir un minimum d'ensoleillement.



- **Question 6** : lancer alors les calculs sur le logiciel CalSol (annexe 2), puis **déterminer l'irradiation globale quotidienne minimale reçue** dans la ville choisie (choisir la valeur du mois la plus faible). Mettre une impression écran des résultats dans votre compte-rendu.

Cette quantité d'énergie par unité de surface par jour (exprimée en kWh/m<sup>2</sup>/j) correspond au flux lumineux quotidien reçu par le panneau photovoltaïque.

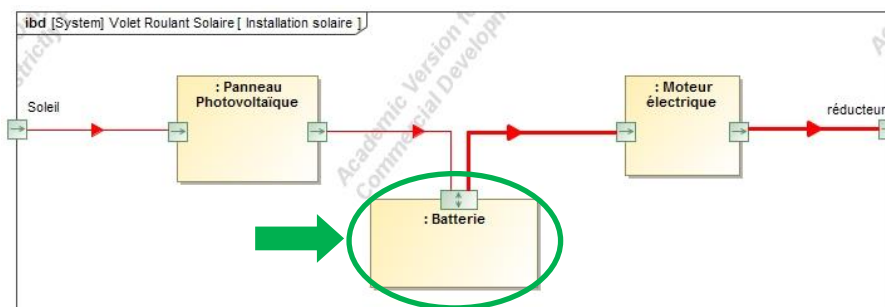
- **Question 7** : A l'aide de l'EMP du VRS-500 (onglet « CONSTITUANTS »), **donner la surface du panneau photovoltaïque** en m<sup>2</sup>. **En déduire l'énergie lumineuse reçue par le panneau PV quotidiennement** (en Wh/j).
- **Question 8** : Sachant que le rendement du panneau PV est de l'ordre de 3%, **en déduire finalement E<sub>d</sub> l'énergie journalière disponible pour le système**, soit l'énergie fournie par le panneau PV à la batterie.

### 2.3 Bilan énergétique

- **Question 9** : En comparant les besoins et l'énergie disponible quotidiennement du système, **conclure quant à l'autonomie du système** (prendre en considération le fait que les conditions de calcul sont les plus défavorables possibles).

## 3 Etude du dimensionnement de la batterie

Positionnement de l'étude :



Les données importantes pour le calcul de la capacité d'une batterie solaire sont les suivantes :

- C : La Capacité de la batterie (en Ah)
- T : La Tension de la batterie (en V)
- B : Les Besoins quotidiens (en Wh/j)
- N : Le Nombre de jours de réserve, sans apport d'énergie (en j).
- D : La Décharge maximale de la batterie tolérée (entre 0 et 1).

La capacité est obtenue par la méthode suivante :

$$C = \frac{B \cdot N}{D \cdot T}$$

(équation 1)

- **Question 10** : A l'aide de l'EMP du VRS-500 (onglet « CONSTITUANTS »), **donner les valeurs des 2 caractéristiques de la batterie** intervenant dans cette équation.

Il est de coutume, lors du dimensionnement d'une batterie solaire, de considérer comme acceptable une durée de 5 jours de réserve, à savoir donc un maximum de 5 jours sans ensoleillement.



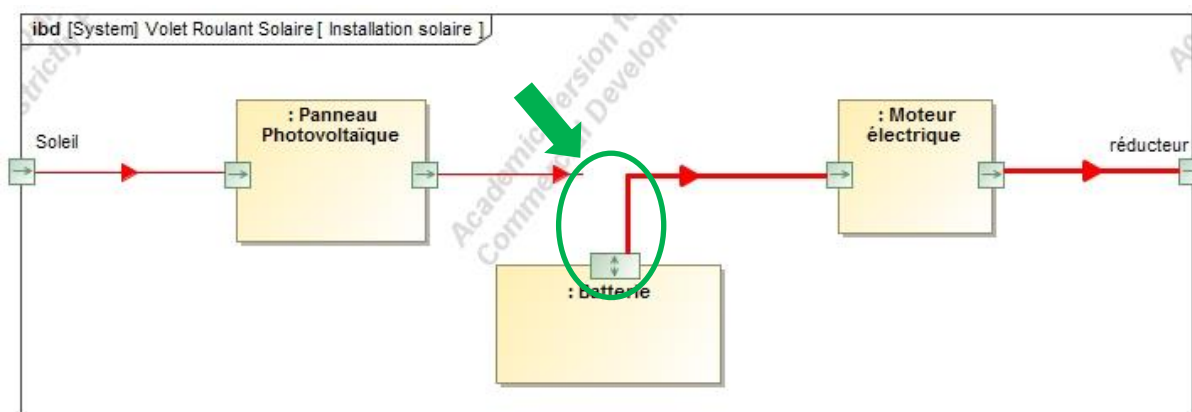
- **Question 11** : en reprenant la valeur de B déterminée précédemment, **en déduire le taux de décharge de la batterie toléré par le constructeur**. Exprimer ce résultat en %.
- **Question 12** : **que peut-on dire quant à l'utilisation de la batterie dans ces conditions** (utilisation en charge-décharge, maintenue chargée constamment, ...) ? A l'aide de l'annexe 1, **conclure de manière qualitative quant à la durée de vie de celle-ci** (principalement en regard du cycle de vie, du stockage long).

#### 4 Etude de l'autonomie minimale

Que devient maintenant l'autonomie en cas de dysfonctionnement non visible de l'installation solaire, quelles que soient les conditions d'ensoleillement ?

Par dysfonctionnement non visible on entend ici toute défaillance de la chaîne d'énergie entraînant le non rechargement de la batterie (l'actionnement du volet est toujours possible tant que la batterie peut fournir l'énergie nécessaire).

**Hypothèse de l'étude : la batterie ne se recharge pas**



Les objectifs sont :

- déterminer l'autonomie minimale théorique sans rechargement de la batterie ;
  - mise en évidence du comportement du système lors d'une décharge profonde de la batterie.
- **Question 13** : à l'aide de l'équation 1, **calculer maintenant l'autonomie minimale du système en jours**, toujours pour le scénario nominal (cela correspond au nombre de jours de réserve pour une décharge de 100 % de la batterie). Cela vous paraît-il acceptable, vis-à-vis de la maintenance occasionnée ?

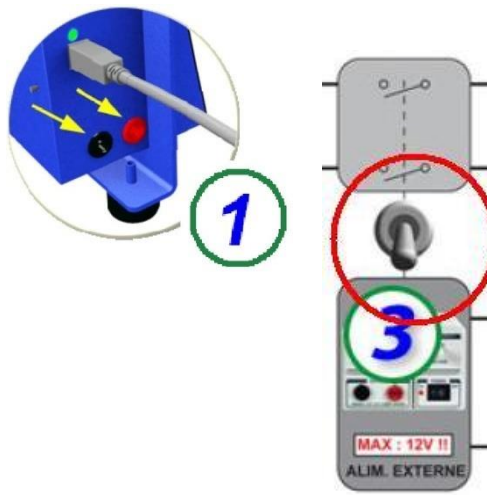
En considérant qu'un dysfonctionnement dans la chaîne d'énergie (cellule PV, contrôleur de charge, ...) peut amener à une décharge profonde de la batterie, nous allons simuler une telle situation. Pour cela, une alimentation stabilisée est utilisée en lieu et place de la batterie.



**La manipulation suivante doit être effectuée avec la plus stricte rigueur, sous contrôle de votre professeur !**



Pour ce faire, la procédure est la suivante :

1	Connecter une alimentation stabilisée sur le côté du VRS réglée sur 11 V.	
2	La mettre sous tension.	
3	Basculer le commutateur du pupitre sur « ALIM EXTERNE ».	

- **Question 14 :** Baisser entièrement le volet. Sur l'alimentation stabilisée, diminuer très régulièrement le niveau de tension de l'alimentation jusqu'à ce que le volet réagisse. **Qu'observe-t-on ? Expliquer l'intérêt de ce comportement. Le volet est-il encore pilotable ?**

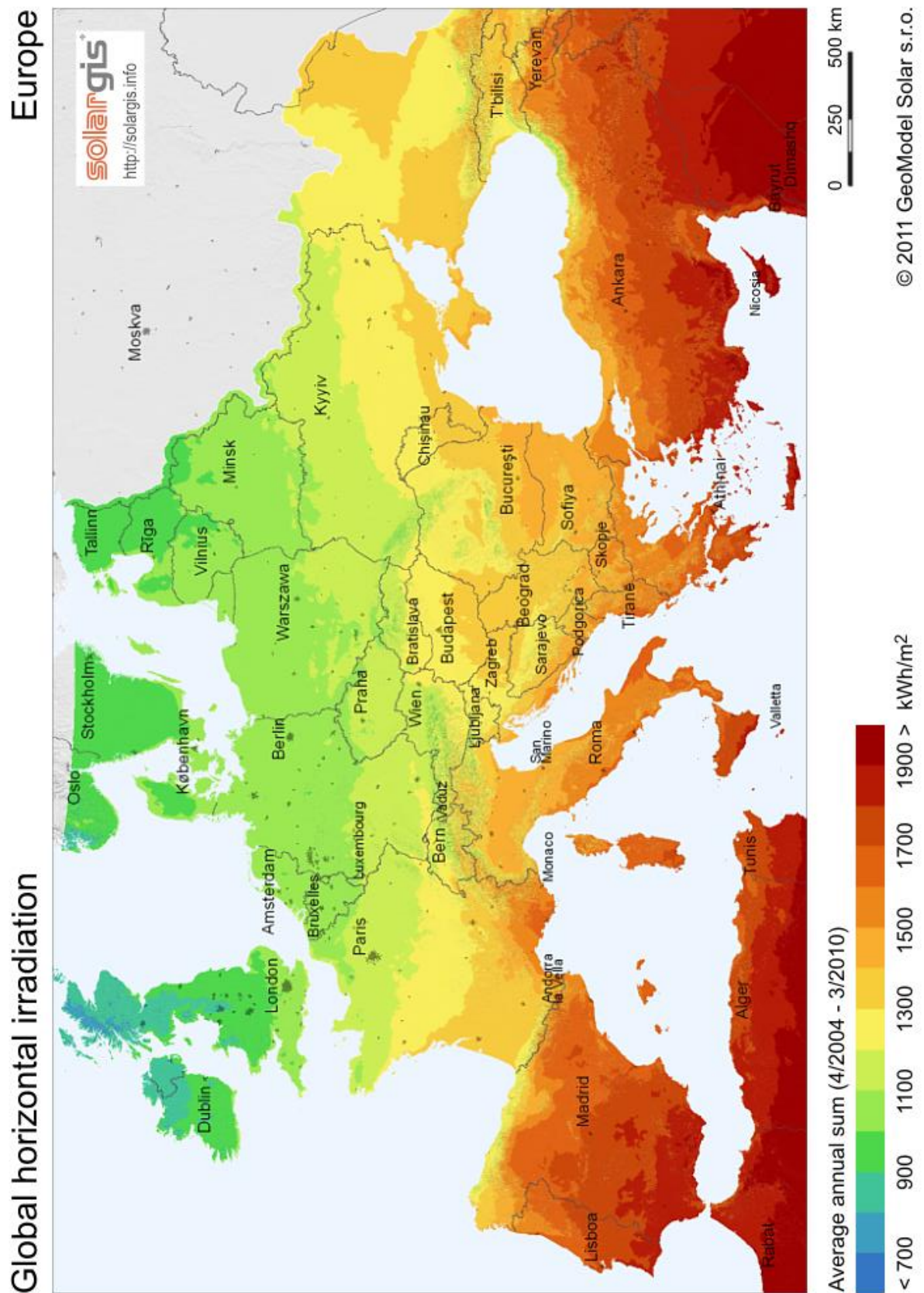
## 5 Conclusion

- **Question 15 :** Velux offre une garantie de 2 ans sur ses produits solaires. **Que peut-on dire de cette valeur, du seul point de vue autonomie énergétique** (une brève discussion critique et argumentée de votre part est attendue) ?






## Annexe 1 : Ressources sur l'irradiation






## Annexe 2 : logiciel CalSol



INES Education - Logiciel CALSOL - Gisement solaire  
estimation de l'énergie solaire disponible avec masque



Les résultats calculés par le présent logiciel sont donnés à titre indicatif et devront faire l'objet d'une étude les confirmant. En aucun cas, ils n'engagent la responsabilité de l'INES.

Choix de la ville : **1** Paris le Bourget ▼ Prendre en compte un masque : non ▼

**2** Inclinaison du plan : horizontale ▼ **3** Orientation du plan : Sud ▼ Albédo du sol : 0.2 ▼

**4** [Cliquez ici pour valider votre choix et lancer les calculs](#)

Irradiation sur un plan horizontal en kWh/m<sup>2</sup> par jour ☒ ou en kWh/m<sup>2</sup> cumulés ☐ [Sources](#)

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
<b>6</b> Globale (IGH)	0.87	1.52	2.88	3.92	5.01	5.59	5.33	4.44	3.38	1.98	0.99	0.72	3.06
Directe (IBH)	0.25	0.5	1.27	1.68	2.3	2.67	2.51	2	1.53	0.77	0.28	0.19	1.33
Diffuse (IDH)	0.62	1.02	1.61	2.24	2.71	2.92	2.82	2.44	1.85	1.21	0.71	0.53	1.73

Irradiation sur un plan d'inclinaison 0° et d'orientation 0°. [Comparaisons](#)

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
Directe (IBP)	0.25	0.5	1.27	1.68	2.3	2.67	2.51	2	1.53	0.77	0.28	0.19	1.33
<b>5</b> Diffuse (IDP)	0.62	1.02	1.61	2.24	2.71	2.92	2.82	2.44	1.85	1.21	0.71	0.53	1.73
Réfléchie (IRP)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Globale (IGP)	0.87	1.52	2.88	3.92	5.01	5.59	5.33	4.44	3.38	1.98	0.99	0.72	3.06

Inclinaisons et orientation optimum sur l'année et pour le mois le plus défavorable ( effectuer les calculs ☐ )

Irradiation solaire avec suivi 1 axe, 2 axes et direct 2 axes ( effectuer les calculs ☐ )

**1** – choix de la ville

**2** – choix de l'inclinaison du panneau

**3** – choix de l'orientation du panneau

**4** – calcul des irradiances

**5** – résultats pour la ville et l'orientation choisies





## Annexe 3 : Caractéristiques des batteries

Caractéristiques	Plomb Acide	Nickel Cadmium	Nickel Métal Hydride	Lithium Ion	Lithium Ion Polymère
Symboles utilisés (1)	Pb, SLA	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion	Li-po
Densité d'énergie gravimétrique	30-50 Wh/kg	45-80 Wh/kg	60-120 Wh/kg	110-160 Wh/kg	100-130 Wh/kg
<b>Cycles de vie Charge / décharge</b>	<b>200 à 300</b>	<b>1500</b>	<b>300 à 500</b>	<b>500 à 1000 ou 2 ans</b>	<b>200 à 300</b>
<b>Auto décharge par mois</b>	<b>5 %</b>	<b>20 %</b>	<b>30 %</b>	<b>10 %</b>	<b>10 %</b>
Tension nominale d'un élément	2 V	1,2 V	1,2 V	3,6 ou 3,7 V	3,7 V
Capacité nominale maximale (2)	4000 Ah	1500 Ah	18 Ah	4,5Ah	1,6 Ah
Résistance interne	0,3 à 100 mΩ	100 à 200 mΩ	200 à 300 mΩ	150 à 250 mΩ	200 à 300 mΩ
<b>Stockage long</b>	<b>Chargé</b>	<b>Déchargé</b>	<b>Chargé</b>	<b>Chargé à 40%</b>	<b>Chargé à 40%</b>
Gamme de température	-20°C à 60°C	-40°C à 60°C	-20°C à 60°C	-20°C à 60°C	0°C à 60°C
Principe de charge	Tension constante	Courant constant	Courant constant	Tension constante	Tension constante
Courant de charge(3)	C/4	2 C (4)	2 C (5)	1 C	1C
Charge typique	2,6V 20 h	C/10 - 14h	C/4 - 5h	4,1 ou 4,2V - 3h	4,2V - 3h
Critère de fin de charge	$I_c < C/100$	-dV/dt	-dV/dt	$I_c < 0,03 C$	$I_c < 0,03 C$
Courant maximum en décharge	5 C	20 C	5 C	> 2 C	> 2 C
Courant de décharge nominal	C/5	1 C	C/2	< 1C	< 1C
Tolérance à la surcharge	Oui	Moyenne	Très faible	<b>Nulle</b>	Très faible
Sensible à l'effet mémoire	Non	Oui	Oui	Non	Non
Coût moyen typique	25	50	60	100	100



### ACTIVITE : Etude du moto-réducteur

#### Niveau de formation

Première STI2D  
Enseignements Transversaux

#### Références au programme (B.O. spécial n° 3 du 17 mars 2011)

##### **O1 – Caractériser des systèmes privilégiant un usage raisonné du point de vue développement durable**

- CO1.1 : Justifier les choix des matériaux, des structures d'un système et des énergies mises en œuvre dans une approche de développement durable

##### **O4 – Décoder l'organisation fonctionnelle, structurelle et logicielle d'un système**

- CO4.1 : Identifier et caractériser les fonctions et les constituants d'un système ainsi que ses entrées/sorties
- CO4.4 : Identifier et caractériser des solutions techniques relatives aux matériaux, à la structure, à l'énergie et aux informations d'un système.

#### Thématique

- Adapter l'énergie

#### Notions abordées

- Train épicycloïdal ;
- Rapport de réduction en vitesse, en couple ;
- Relation Période/fréquence.

#### Durée de l'activité

- 2 heures

#### Environnement matériel et logiciel

- Le VRS-500
- Un tachymètre à contact + réglet ou un chronomètre
- L'EMP et L'interface de mesure du VRS500

#### Intentions pédagogiques

L'activité vise à vérifier le dimensionnement du moteur vis-à-vis de ces caractéristiques nominales données par le constructeur.

Pour cela la vitesse de rotation du moteur sera mesurée :

- Par mesure du déplacement du volet : cette vitesse est ramenée successivement à l'étoile puis au moteur via le réducteur (une première étude sera menée sur sa constitution et son rapport de réduction) ;
- Par mesure de la période du signal issu du capteur à effet Hall : afin de valider la mesure précédente et obtenir une mesure plus précise.

Cette mesure sera ensuite exploitée dans l'abaque fourni par le constructeur pour en déduire le point de fonctionnement du moteur.



# Activité

## Etude du Moto-réducteur



## Etude du moto-réducteur

### 1 Introduction

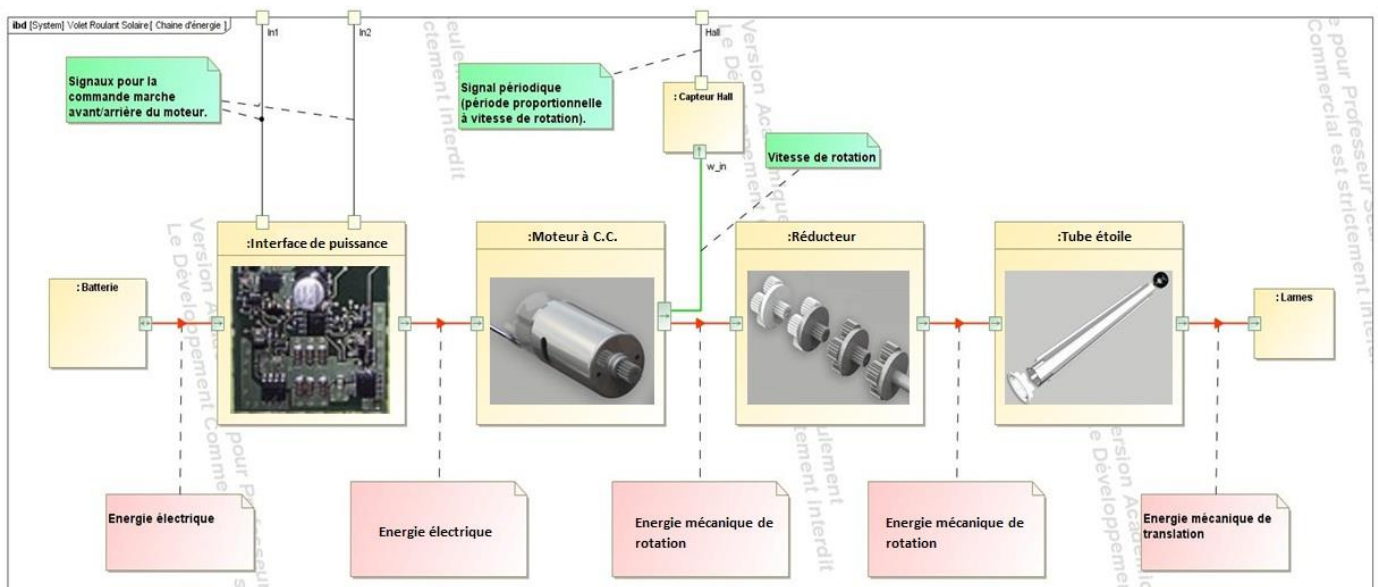
On se propose au cours de cette activité d'étudier le bloc moto-réducteur afin de vérifier le bon dimensionnement de celui-ci.

On étudiera dans un premier temps le réducteur, afin d'en déterminer son rapport de réduction.

Puis on déterminera la vitesse de rotation de l'étoile (sortie du réducteur) pour en déduire la vitesse de rotation du moteur (entrée du réducteur).

On en déduira le dimensionnement du moteur par rapport à son fonctionnement nominal, issu de sa fiche constructeur (fonctionnement attendu).

La chaîne d'énergie est la suivante :



Vous disposez pour réaliser cette activité :

- du système VRS-500 mis en situation dans le laboratoire ;
- de l'environnement multimédia pédagogique (EMP) du VRS ;
- de l'interface d'acquisition du VRS ;
- d'appareils de mesure disponibles au labo (chronomètre, tachymètre, réglet).

A l'issue de la séance vous devez être en mesure :

- de déterminer le rapport de réduction global d'un train épicycloïdal ;
- de mesurer des vitesses linéaires/angulaires ;
- d'exploiter un signal issu d'un capteur à effet Hall ;
- d'expliquer ce qu'est le fonctionnement nominal d'un moteur.

Le compte-rendu de l'activité sera rédigé sur le document-réponse fourni, ou directement à l'aide d'un traitement de texte, celui-ci comportant quelques impressions d'écran.



## 2 Etude du réducteur

A partir du bureau de l'environnement multimédia :

- Cliquer sur « LE PRODUIT »
- Puis sur « Description SSL-CK02 »
- Puis sur « Détails du mécanisme »
- Enfin sur « Réducteur épicycloïdal »

Après avoir lu les informations concernant le train épicycloïdal, répondre aux questions suivantes :



- **Question 1** : connaissant le nombre d'étages du train épicycloïdal et le rapport de réduction d'un étage, **calculer le rapport de réduction global  $r_e$**  du train.
- **Question 2** : les 4 étages du train sont faits de matériaux différents. **Lesquels ?**
- **Question 3** : **pour quelles raisons des matériaux différents ont été choisis ?**
- **Question 4** : Quel est le rapport de transmission entre les couples d'un étage à l'autre ? **Justifier alors l'emploi d'un matériau moins résistant** pour les premiers étages que pour les suivants (raisonner en termes de couples transmis) ?

## 3 Détermination de la vitesse de rotation du moteur

### 3.1 Mesure de la vitesse de rotation de l'étoile

La détermination de cette vitesse se fera en exploitant avantageusement la géométrie de l'étoile.

A partir du bureau de l'environnement multimédia :

- Cliquer sur « LE PRODUIT »
- Puis sur « Description SSL-CK02 »
- Puis sur « Détails du mécanisme »
- Enfin sur « Etoile : profilé creux »

Après avoir lu les informations concernant le tube étoile, répondre aux questions suivantes :



- **Question 5** : **A combien de lames du volet déplacées correspondent 1 tour de l'étoile.**

Il suffit donc de mesurer le temps que mettent ces lames à se déplacer pour obtenir directement le temps d'1 tour d'étoile.

Cela peut se faire de 2 manières :

- En chronométrant directement ce temps (penser à prendre des repères précis au niveau des lames, prendre un multiple du nombre de lames éventuellement pour améliorer la mesure) ;
- En mesurant la vitesse linéaire  $v$  du volet au **tachymètre à contact**, ainsi que la longueur  $l$  des lames. Connaissant la vitesse  $v = l / t$ , on en déduit le temps  $t$  que mettent ces lames à





se déplacer.

- **Question 6** : par la méthode de votre choix, **déterminer le temps que met l'étoile à faire 1 tour.**

Ce temps est assimilable à une période de rotation, dont l'unité est des  $s.tr^{-1}$ .

- **Question 7** : En déduire la vitesse de rotation de l'étoile en  $tr.s^{-1}$ , puis en  $tr.min^{-1}$ .

## 3.2 Détermination de la vitesse de rotation du moteur

- **Question 8** : Connaissant le rapport de réduction total du réducteur, **déduire de ce qui précède la vitesse de rotation du moteur en  $tr.min^{-1}$ .**

Nous pouvons aussi obtenir directement cette mesure au moyen du signal issu du capteur à effet Hall.

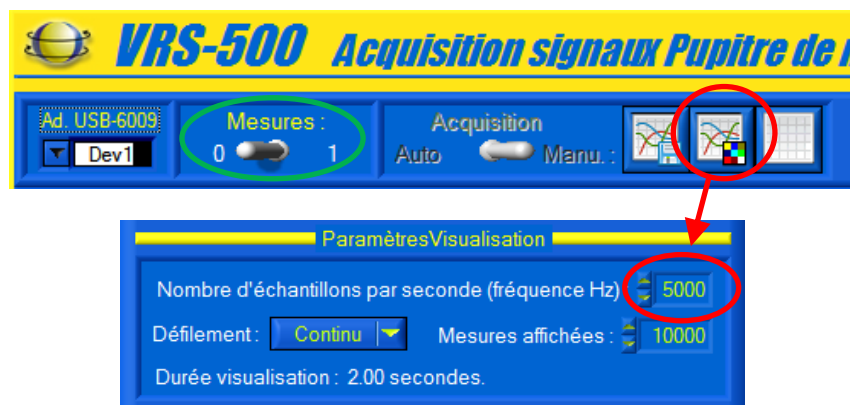
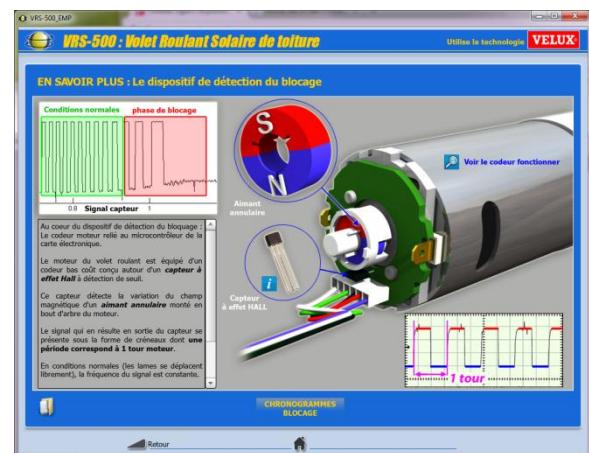
A partir du bureau de l'environnement multimédia :

- Cliquer sur « LE PRODUIT »
- Puis sur « Description SSL-CK02 »
- Puis sur « Détails du mécanisme »
- Enfin sur « Moteur C.C avec... »

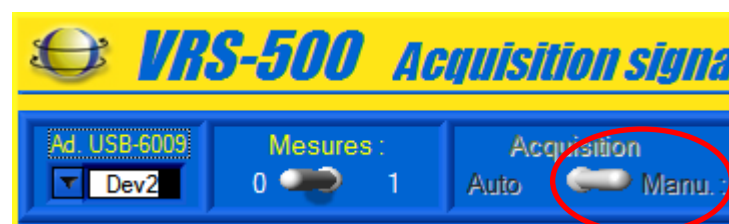
Le signal issu du capteur à effet Hall peut être acquis directement à l'aide de l'interface d'acquisition.

### Utilisation de l'interface d'acquisition

Pour observer un signal correct, paramétrer l'interface d'acquisition pour faire l'acquisition durant 2 s **avant de lancer l'acquisition** (mettre une fréquence de 5000 Hz) :



Ensuite, configurer l'interface en mode « Manu » pour arrêter manuellement lors de la descente du volet :







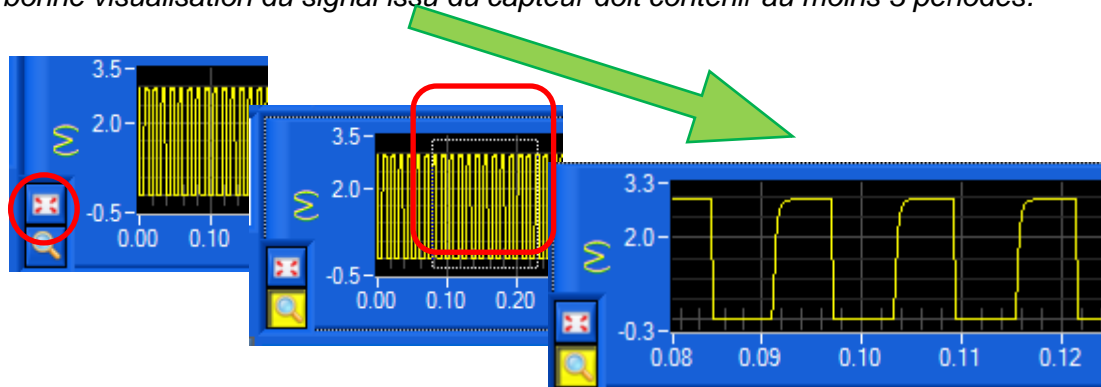
L'acquisition manuelle se fait en appuyant sur le bouton « Acquérir mesures courantes » durant l'acquisition continue des grandeurs du VRS :



- **Question 9 :** Effectuer une acquisition du signal issu du capteur à effet Hall en mi-course d'une descente de volet. Mettre une impression écran du résultat dans votre compte-rendu.

**Remarque 1 :** ne surtout pas filtrer l'acquisition, on n'observerait plus le signal correctement.

**Remarque 2 :** il est possible de zoomer sur les relevés. Pour cela cliquez sur le bouton « Zoom » et tout en maintenant la touche « Ctrl » enfoncée, tracez à la souris votre fenêtre de zoom. Une bonne visualisation du signal issu du capteur doit contenir au moins 3 périodes.



- **Question 10 :** Mesurer sur ce relevé la période du signal (prendre 3 périodes au moins pour une meilleure précision).

Ce temps est lui aussi assimilable à une période de rotation (du rotor du moteur), dont l'unité est des  $s.tr^{-1}$ .

- **Question 11 :** En déduire la vitesse de rotation du moteur en  $tr.s^{-1}$ , puis en  $tr.min^{-1}$ .
- **Question 12 :** Comparer à la mesure par les lames de volet et conclure quant aux résultats obtenus. Laquelle des deux mesures vous paraît la plus précise ? Justifier.

**Remarque :** Le capteur à effet Hall est un capteur très important dans la chaîne d'information du système, car son utilité est multiple :

- Il permet de détecter un blocage du moteur (signal Hall continu) ;
- il permet de manière logicielle d'obtenir la position relative du volet, par le biais d'un compteur qui est incrémenté/décrémenté à chaque front du signal (à chaque période).

## 4 Etude du dimensionnement du moteur

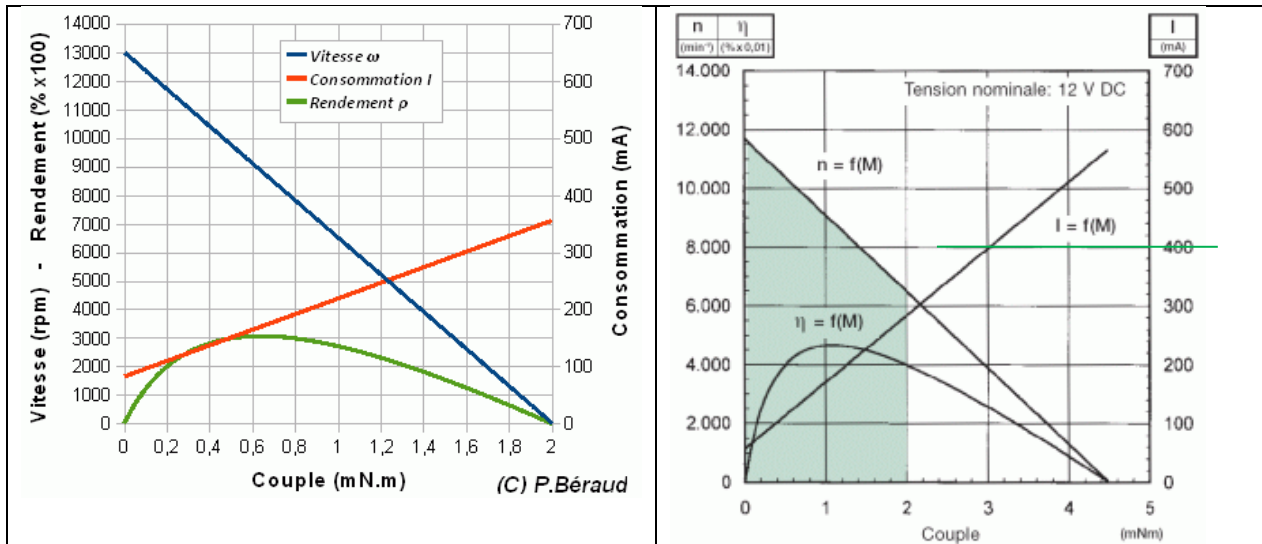
Le dimensionnement d'un moteur dépend principalement des paramètres suivants :

- La tension d'alimentation ;
- Le couple à fournir, et donc l'intensité consommée ;
- La vitesse de rotation souhaitée.



Un bon dimensionnement consiste à utiliser celui-ci dans sa plage d'utilisation nominale, soit là où le rendement du moteur est le plus élevé (car celui-ci varie en fonction de la charge).

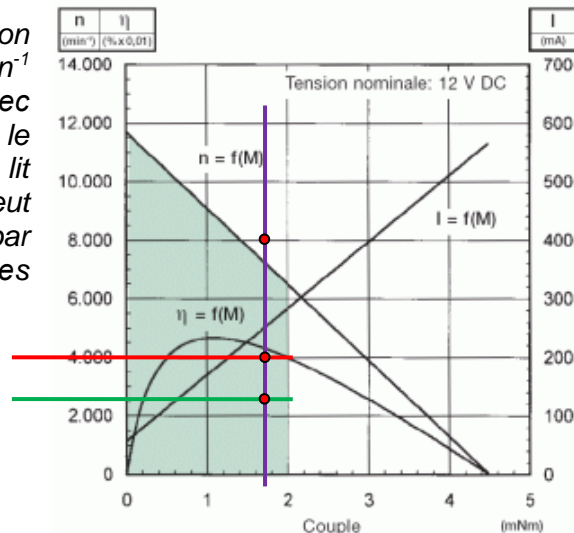
Les constructeurs fournissent des graphiques permettant de déterminer de manière graphique les différents paramètres d'un moteur en fonction de la charge, comme ceux-ci :



**Leur utilisation est très simple** : si vous connaissez une valeur du moteur, vous reportez celle-ci sur la courbe correspondante puis à partir de ce point vous tracez une droite verticale. Chaque interception avec les différentes courbes vous donnera la valeur des autres paramètres. Il faut bien faire attention aux différentes échelles utilisées selon les grandeurs.

**Exemple** : pour le moteur de droite, on connaît la vitesse de rotation  $n = 4000 \text{ tr.min}^{-1}$  (ligne rouge). On en déduit l'intersection avec la droite  $n = f(M)$  pour ensuite en déduire le couple (droite verticale violette), dont on lit directement la valeur : 3 mNm. On peut ensuite déterminer les autres paramètres par l'intersection de la droite verticale avec les autres courbes :

- le rendement est de 25% ;
- le courant de 400 mA environ.



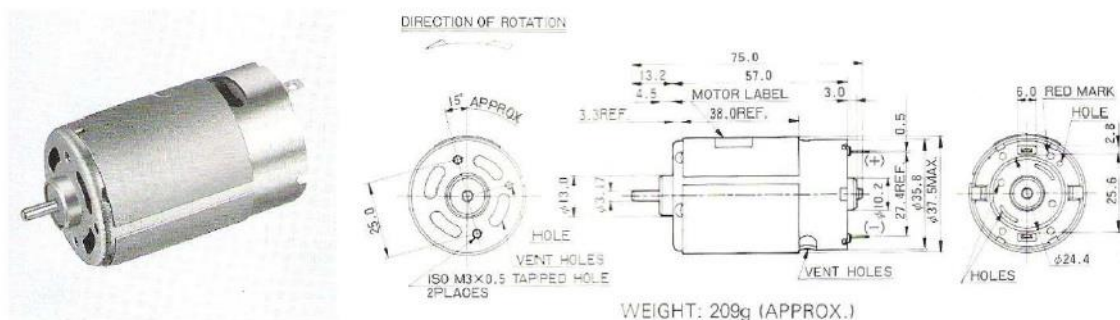
Le moteur du VRS est un RS-555SH 3250, dont le constructeur fournit le graphique (donné en annexe).

- **Question 13** : Déterminer de manière graphique le courant consommé à la vitesse mesurée (mettre la construction dans le compte-rendu). Cette valeur est-elle conforme par rapport à celle que l'on peut mesurer sur le système réel ?
- **Question 14** : Déterminer maintenant le rendement (mettre la construction dans le compte-rendu). Conclure quant au dimensionnement du moteur, sachant que l'on peut être amené à consommer plus de courant en cas de blocage (jusqu'à 2 A).



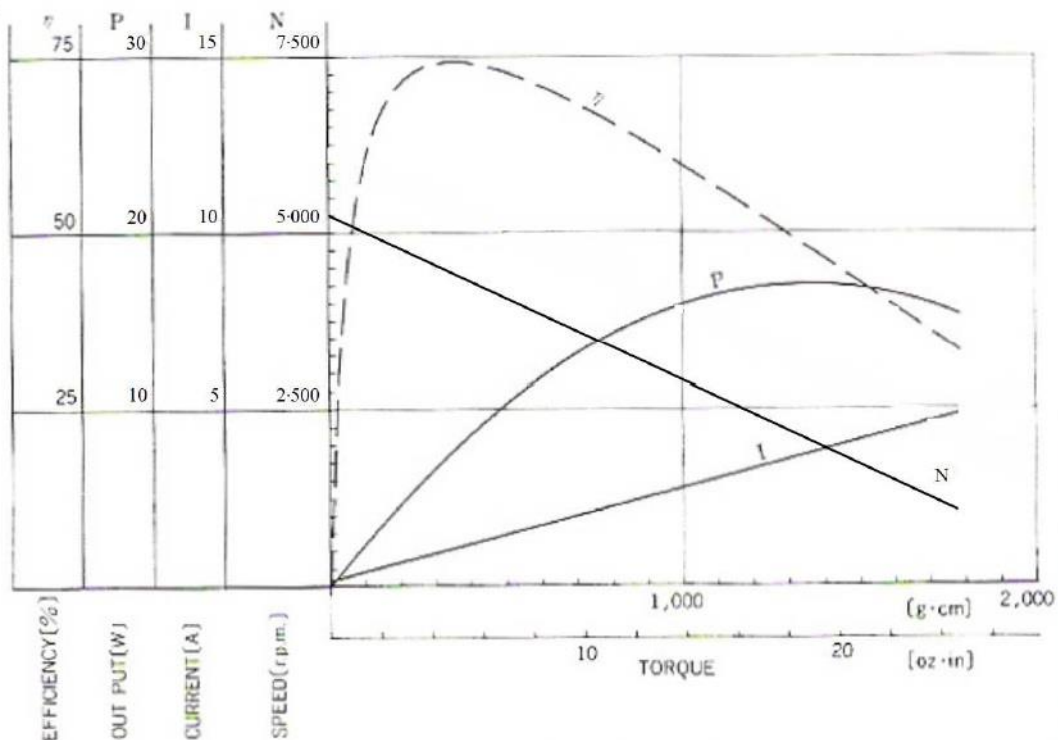


## Annexe 1 : Documentation technique du RS-555SH 3250



### RS-555SH-3250

12.0V





### ACTIVITE : Etude du rendement global

#### Niveau de formation

Première STI2D  
Enseignements Transversaux

#### Références au programme (B.O. spécial n° 3 du 17 mars 2011)

##### **O2 – Identifier les éléments permettant la limitation de l'impact environnemental d'un système et de ses constituants**

- CO2.1 : Identifier les flux et la forme de l'énergie, caractériser ses transformations et/ou modulations et estimer l'efficacité énergétique globale d'un système

##### **O4 – Décoder l'organisation fonctionnelle, structurelle et logicielle d'un système**

- CO4.1 : Identifier et caractériser les fonctions et les constituants d'un système ainsi que ses entrées/sorties

#### Thématique

- Efficacité énergétique

#### Notions abordées

- Chaîne d'énergie ;
- Puissances mécaniques et électriques ;
- Rendement ;
- Pertes énergétiques.

#### Durée de l'activité

- 2 heures

#### Environnement matériel et logiciel

- Le VRS-500
- Un tachymètre à contact
- Un jeu de masse
- L'EMP et L'interface de mesure du VRS500

#### Intentions pédagogiques

L'activité se décompose en 2 parties :

- Mesure du rendement global : mesure de la puissance électrique consommée (sur la batterie) et de la puissance mécanique utile (sur le volet mis en charge). Déduction du rendement global du système ;
- Etude de la chaîne d'énergie : à partir de cette mesure, utilisation de cette valeur pour obtenir le rendement de la transmission étoile/volet, les autres rendements étant donnés.

Conclusion sur la localisation des pertes énergétiques et les solutions éventuelles pour les réduire.



### ACTIVITE : Etude du dispositif d'enroulement du volet

#### Niveau de formation

**Première STI2D**  
Enseignements Transversaux

#### Références au programme (B.O. spécial n° 3 du 17 mars 2011)

##### **O4 – Décoder l'organisation fonctionnelle, structurelle et logicielle d'un système**

- CO4.4 : Identifier et caractériser des solutions techniques relatives aux matériaux, à la structure, à l'énergie et aux informations.

##### **O5 – Utiliser un modèle de comportement pour prédire un fonctionnement ou valider une performance**

- CO5.1 : Expliquer des éléments d'une modélisation proposée relative à au comportement de tout ou partie du système
- CO5.2 : Identifier des variables internes et externes utiles à une modélisation, simuler et valider le comportement du modèle.

#### Thématique

- Innovation technologique

#### Notions abordées

- Schéma cinématique ;
- Couple, vitesse de rotation ;
- Puissances, énergie.

#### Durée de l'activité

- 2 heures

#### Environnement matériel et logiciel

- Matlab R2010b minimum
- L'EMP du VRS-500
- L'interface d'acquisition du VRS-500

#### Intentions pédagogiques

L'étude porte sur la comparaison de la solution retenue pour le VRS-500 (ressort de tension couplé à l'axe d'entraînement) avec une solution de volet roulant traditionnel (ressort fixé au châssis).

Une première analyse qualitative est effectuée à travers l'exploitation de leurs modèles cinématiques.

Ensuite, un modèle de simulation est validé puis utilisé pour quantifier des résultats permettant de justifier le choix de la solution retenue par le constructeur, vis-à-vis d'un cahier des charges à respecter.



# Activité

## Etude du Dispositif d'Enroulement



## Etude du dispositif d'enroulement

### 1 Introduction

On se propose au cours de cette activité d'étudier le dispositif d'enroulement du VRS.

Celui-ci a la particularité de posséder un réducteur entre l'étoile d'entraînement et le ressort de compensation qui est généralement absent dans les dispositifs traditionnels.

La problématique est la suivante : « Pour quelles raisons cette solution technologique, qui tend à complexifier le système, a-t-elle été retenue par le constructeur ? ».

Vous disposez pour réaliser cette activité :

- du système VRS-500 mis en situation dans le laboratoire ;
- d'un modèle Matlab® (version R2010b) ;
- de l'environnement multimédia pédagogique du VRS ;
- de l'interface d'acquisition du VRS.

A l'issue de la séance vous devez être en mesure :

- d'exploiter un modèle multi-physique dans une démarche de résolution de problème ;
- d'expliquer le gain apporté d'un point de vue mécanique par le réducteur de compensation du VRS.

Le compte-rendu de l'activité sera rédigé sur le document-réponse fourni, ou directement à l'aide d'un traitement de texte, celui-ci comportant quelques impressions d'écran.

### 2 Etude cinématique du dispositif d'enroulement

A partir du bureau de l'environnement multimédia :

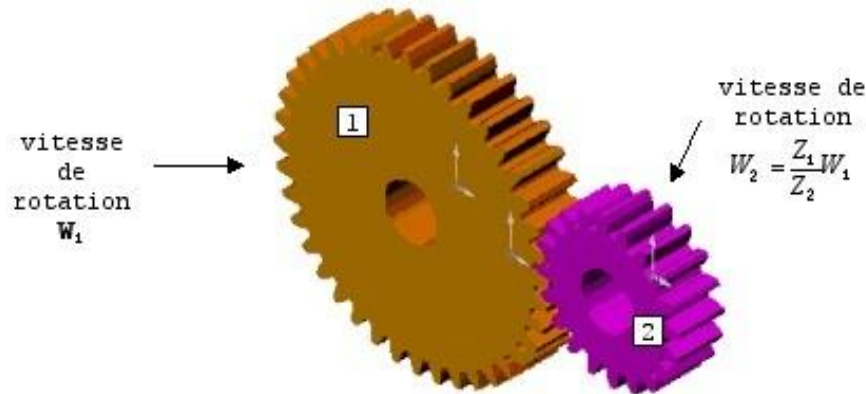
- Cliquer sur « LE PRODUIT »
- Puis sur « Description SSL-CK02 »
- Puis sur « Détails du mécanisme »
- Visionner successivement les liens « Transmission » puis « Etoile ».



- **Question 1** : effectuer une descente complète du volet. **Combien de lames de volet sont déplacées ? Mesurer la longueur totale des lames déplacées.** En vous aidant du schéma cinématique de l'annexe 1, **déterminer de combien de tours tourne l'étoile pour cela ?**



On donne la relation liant les vitesses de rotation en valeur absolue de 2 engrenages en fonction du nombre de leurs dents  $Z$  :



- **Question 2 :** à l'aide du schéma cinématique du VRS donné en annexe 1, **déterminer de combien de tours tourne alors le sous-ensemble 4**, correspondant au pignon relié au ressort.

Le tambour reçoit les lames de volet déplacées par l'étoile qui tourne à vitesse linéaire constante. Le tambour lui ne tourne pas à vitesse de rotation constante, celle-ci étant croissante/décroissante selon qu'on effectue une descente/montée.

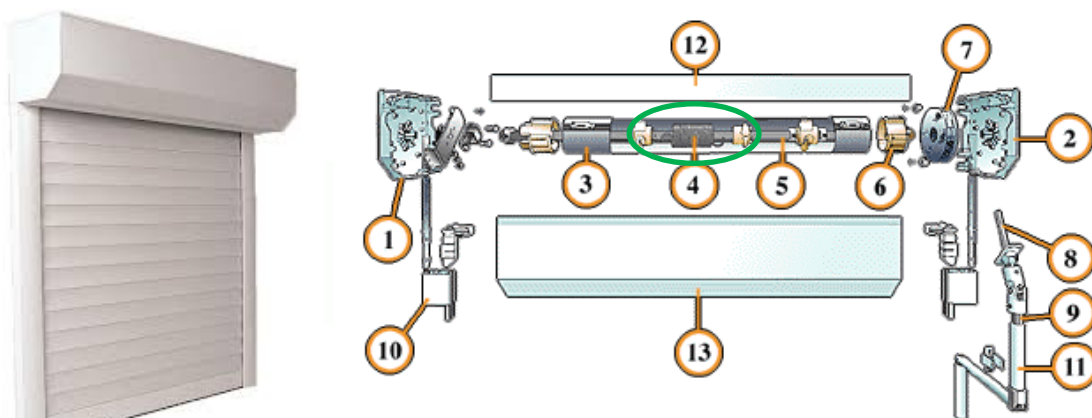
- **Question 3 :** **expliquer** ce phénomène.

On considère pour la suite que le tambour tourne à la même vitesse que l'étoile.

- **Question 4 :** **déterminer le nombre de tours supplémentaires donné au ressort** lors d'une descente du volet.

La solution constructive traditionnelle pour maintenir en tension un volet roulant consiste à rendre fixe une extrémité du ressort quand l'autre est reliée au tambour. Cela est utilisé aussi sur les volets roulants manuels, pour compenser le poids du tablier et faciliter la remontée manuelle de celui-ci.

**Exemple de schéma technique d'un volet roulant manuel avec ressort de compensation (4) :**



schema technique monobloc

Source : <http://smsweb.free.fr/index.php?article2/le-monobloc>

Cela est modélisé dans le schéma cinématique de l'annexe 2, sur la base du même VRS (le train de pignons du réducteur a été supprimé, le pignon ressort fixé au bâti).



- **Question 5** : que devient le nombre de tours supplémentaires donné au ressort dans cette configuration ?

Dans le cas du dispositif avec réducteur, le ressort étant embrayé au bloc moto-réducteur via la transmission, il applique constamment un couple résistant à celui-ci, moins important en montée qu'en descente où il participe alors à l'effort global de rentrée du volet. A l'arrêt le blocage est assuré par le caractère irréversible du train épicycloïdal.

Dans le cas du dispositif sans réducteur, le ressort joue respectivement le rôle de couple résistant/moteur en descente/montée.

- **Question 6** : d'après ce qui précède, remplir les tableaux suivants de manière qualitative (faible, moyenne, élevée).

**Note** : Initialement (volet rentré), le ressort est pré-chargé à 5 tours. De plus, dans les 2 cas les vitesses de translations et de rotations sont les mêmes.

DESCENTE	Torsion supplémentaire du ressort	Couple à fournir par le système au dispositif d'enroulement	Puissance à fournir par le système au dispositif d'enroulement
VRS avec réducteur			
VRS sans réducteur			

MONTÉE	Relâchement du ressort	Couple à fournir par le système au dispositif d'enroulement	Puissance à fournir par le système au dispositif d'enroulement
VRS avec réducteur			
VRS sans réducteur			

- **Question 7** : en première analyse, conclure quant aux avantages et inconvénients qu'apporte chacune des 2 solutions.

### 3 Modélisation – Simulation des dispositifs

Afin de quantifier ces différents résultats, nous disposons maintenant d'un modèle multi-physique de chacun de ces dispositifs.

La modélisation offre énormément de possibilités comme :

- L'obtention de résultats sur un système n'existant pas (c'est le cas du VRS sans réducteur) ;
- L'observation/mesure de variables internes d'un système réel très difficilement réalisable en pratique (c'est le cas pour des mesures de couple sur l'axe moteur du VRS par exemple) ;
- Des temps de simulation réduits par rapport à des mesures réelles ;
- ....



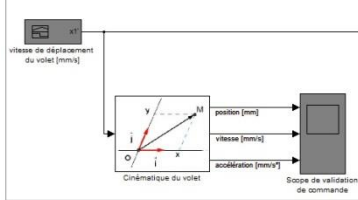


## Description du modèle complet :

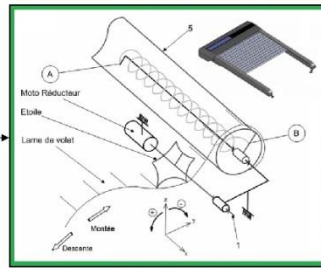
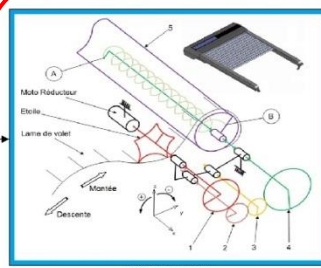
Modèle de comparaison de 2 solutions constructives du VRS :

- modèle du VRS avec réducteur : tel qu'implémenté dans le VRS réel
- modèle du VRS sans réducteur : modèle virtuel correspondant aux solutions classiques de volet roulant

### Commande



### Commande



### Modèles (boîtes noires paramétrables)

Fréquence de rotation du moteur [rpm]

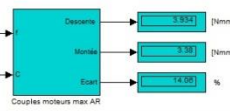
Couple moteur [Nm]

Puissance fournie au moteur [W]

Puissance max fournie au moteur [W]

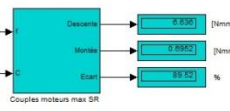
Energie consommée [J]

Effort de tension dans le volet entre l'écaille et le tambour [N]



8.715 [W]

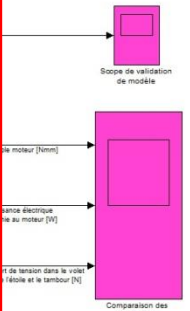
272.5 [J]



11.56 [W]

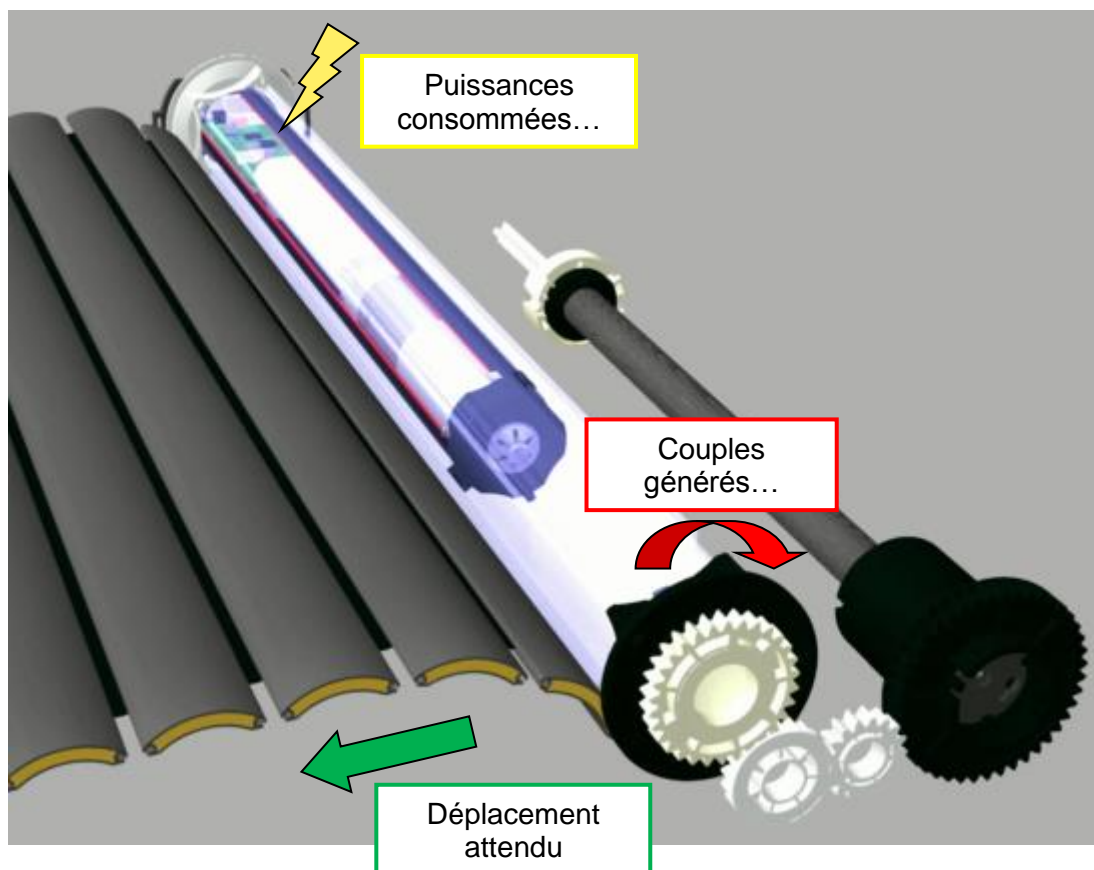
202 [J]

### Résultats numériques (valeurs finales)



### Résultats temporels (évolution des grandeurs durant le temps)

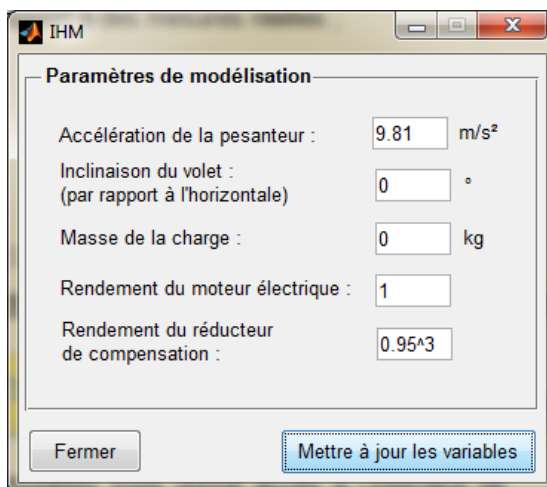
La philosophie du modèle est de commander le modèle par la sortie attendue (le déplacement du volet désiré) pour observer les actions que cela engendre sur le système (en termes de couple fourni, de puissance consommée, d'effort en tension produit, ...). On part donc de l'effet désiré pour en déterminer la cause.







Un double-clic sur l'un ou l'autre des modèles vous donne accès à l'interface de paramétrage conjointe aux 2 modèles :



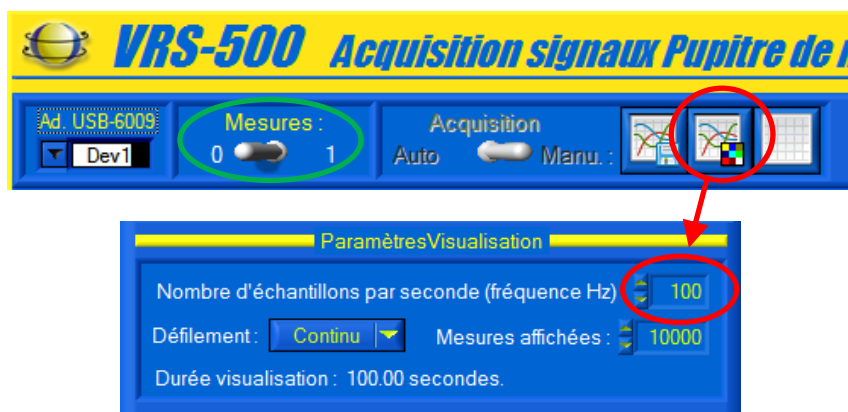
Il faut bien sûr que le modèle soit conforme au système réel, ce qui nécessite toujours une phase de validation.

La validation du modèle ne peut se faire qu'en comparant le modèle du VRS avec réducteur au VRS réel, l'autre n'existant pas.

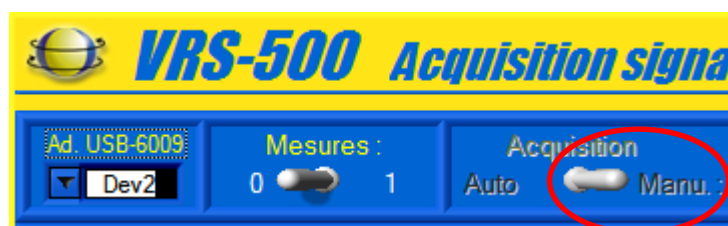
Néanmoins, la construction du modèle de VRS sans réducteur étant établie à partir du VRS avec réducteur (auquel on enlève le réducteur et on fixe le pignon ressort), la validation de celui-ci entraîne automatiquement la validation de l'autre.

### Utilisation de l'interface d'acquisition

Pour observer un aller/retour, il faut paramétrer l'interface d'acquisition pour faire l'acquisition durant 100 s **avant de lancer l'acquisition** (mettre une fréquence de 100 Hz) :



Ensuite, configurer l'interface en mode « Manu » pour arrêter manuellement après la remontée du volet :





L'acquisition manuelle se fait en appuyant sur le bouton « Acquérir mesures courantes » durant l'acquisition continue des grandeurs du VRS :

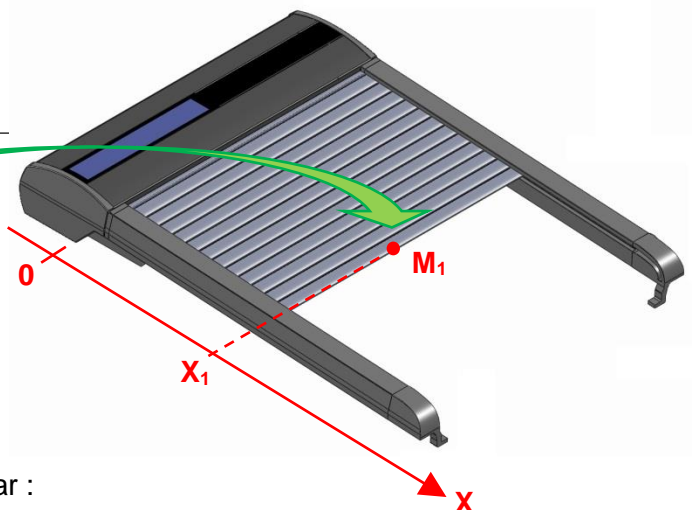
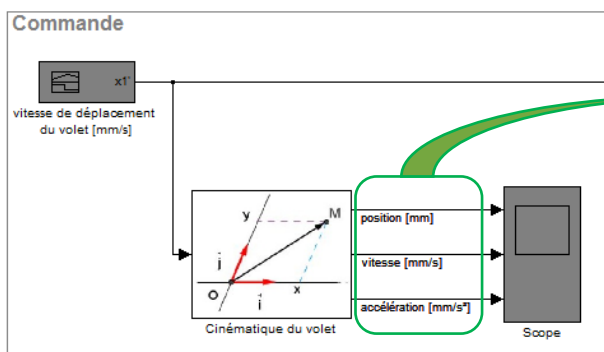


- **Question 8** : Effectuer une acquisition d'un aller/retour du volet (attendre une dizaine de secondes après la descente pour effectuer la montée, pour « coller » au mieux à la simulation). Mettre une impression écran de la puissance moteur dans votre compte-rendu.

### 3.1 Validation de la commande

Le modèle est piloté en imposant un profil de vitesse au volet, afin de recréer un scénario d'un aller/retour.

A partir de cette vitesse, on calcule les valeurs cinématiques équivalentes à un point fixé en bout de première lame :



La cinématique du point  $M_1$  est définie par :

- sa **position** ( $x_1$ ) ;
  - sa **vitesse** (dérivée de la position) ;
  - son **accélération** (dérivée de la vitesse).
- **Question 9** : lancer la simulation sans modifier aucun paramètre. Visualiser les résultats (bloc « Scope de validation de commande ») et **valider la simulation d'une descente puis d'une montée réelle** au regard des résultats obtenus pour le point  $M_1$  (en termes de temps de descente/montée et de déplacement du point). **Justifier** votre réponse.

### 3.2 Validation du modèle

Afin de comparer l'acquisition effectuée à la simulation, il faut paramétrer le modèle en conformité avec le système réel, à savoir :

- **Inclinaison du volet de  $15^\circ$  ;**
- **Rendement du moteur de 0.65 ;**
- **Aucune charge.**



- **Question 10** : modifier les paramètres du modèle en conséquence. **Simuler le modèle et mettre une impression écran du résultat dans votre compte-rendu** (« scope de validation du modèle »).
- **Question 11** : en comparant les 2 résultats obtenus (réel/simulé, en amplitude et en forme), **conclure quant à la validité du modèle**.

**Remarque** : le modèle parfait n'existe pas. En particulier, le modèle proposé ici ne prend pas en compte les pics de puissance observés au démarrage et à l'arrêt. Généralement, on valide un modèle par rapport au réel par une mesure d'écart comprise dans une fourchette acceptable. Ici on demande juste une réflexion sur les ordres de grandeurs et la forme globale des variations.

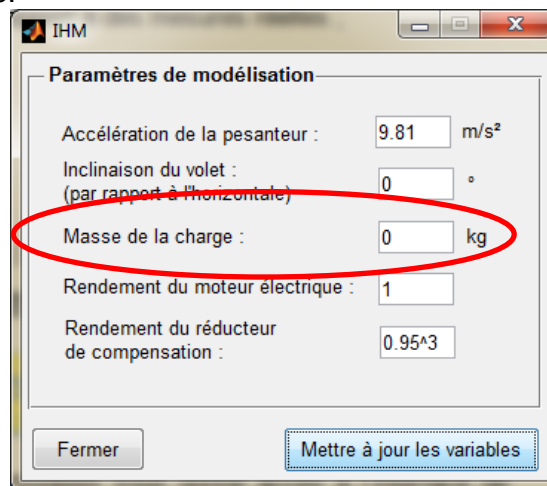
### 3.3 Comparaison des 2 solutions

Dans une démarche de conception en Ingénierie Système, la modélisation est une étape préalable au prototypage afin de valider des solutions technologiques en regard du cahier des charges.

Nos modèles étant validés, nous allons étudier dans quelles mesures ils satisfont le cahier des charges, principalement les exigences systèmes données en annexe 3.

- **Question 12** : à partir des résultats de simulation à vide, **que peut-on dire des 2 solutions vis-à-vis des exigences EP2** (exigence en tension du volet) **et EC2** (exigence en puissance consommée par le moteur). **Justifier votre réponse**.

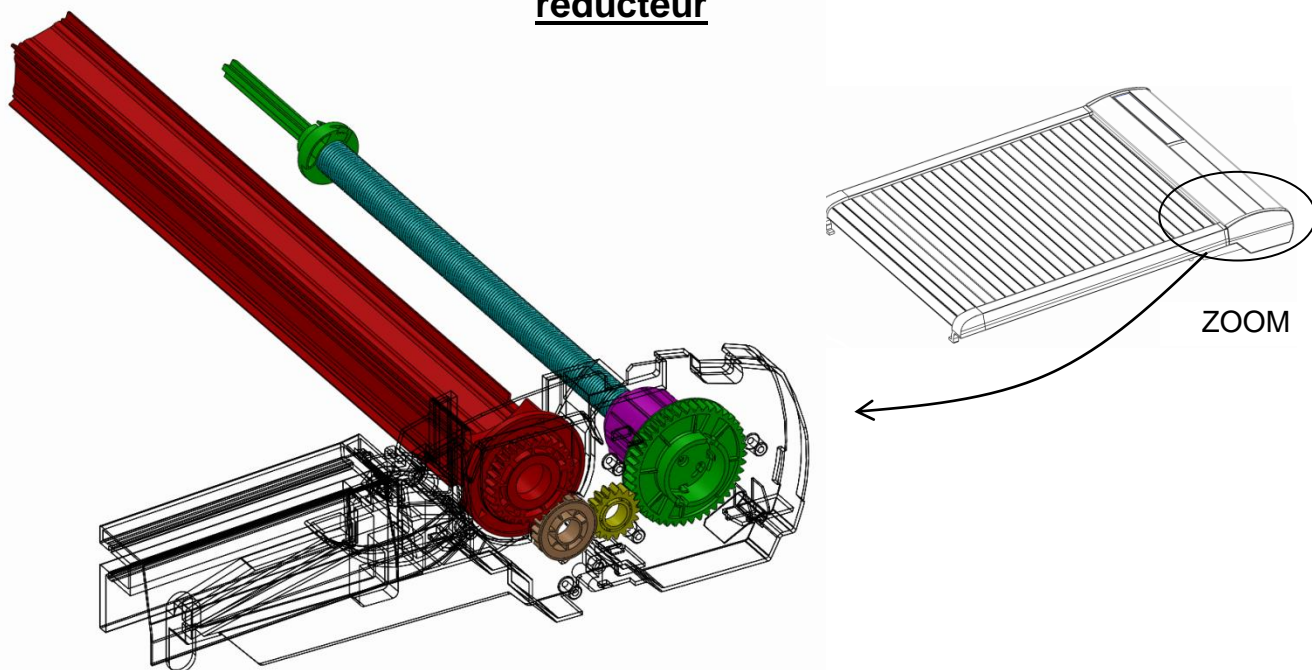
L'interface de paramétrage permet de simuler une charge sur le volet, comme par exemple une masse de neige.



- **Question 13** : les exigences EP2 et EC2 doivent être satisfaites dans des conditions de charge du volet jusqu'à 2 kg. Est-ce le cas ? Justifier votre réponse.
- **Question 14** : d'un point de vue énergie consommée, **que peut-on dire des 2 solutions de manière qualitative ?**
- **Question 15** : quel résultat de la simulation doit-on prendre en compte pour répondre à l'exigence système EP3 ? **Conclure** quant au choix de la solution technologique retenue pour le VRS au niveau du dispositif d'entraînement.

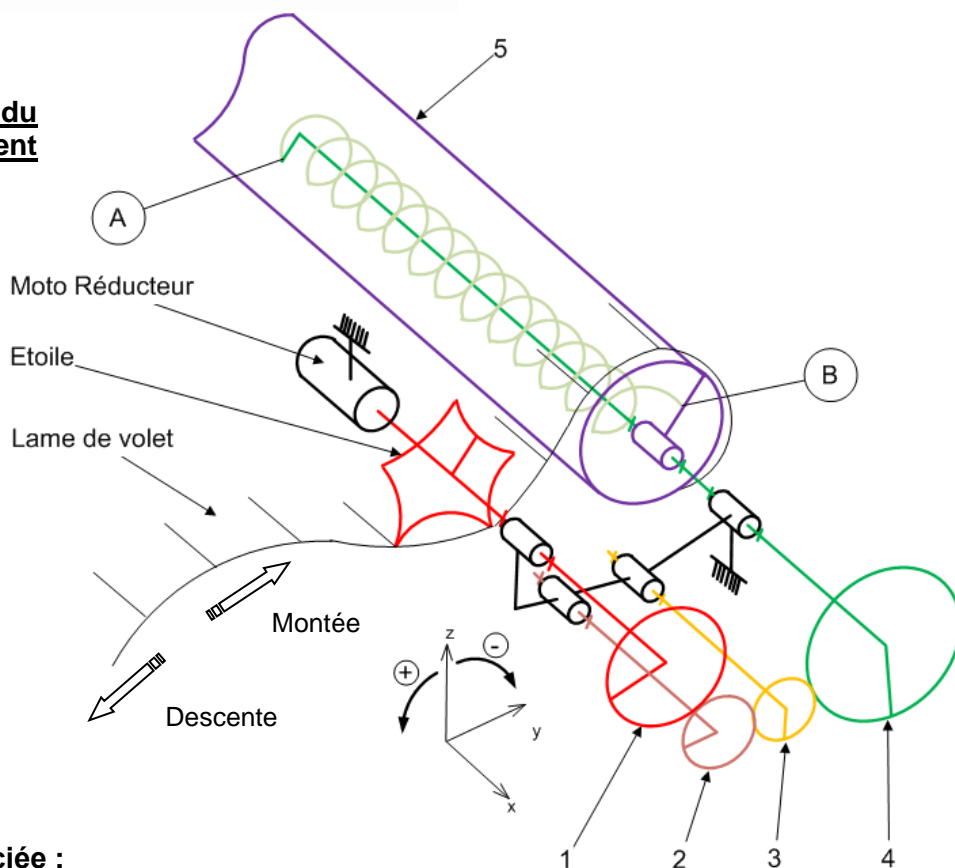


## Annexe 1 : Mécanisme de déplacement réel du volet Velux avec réducteur

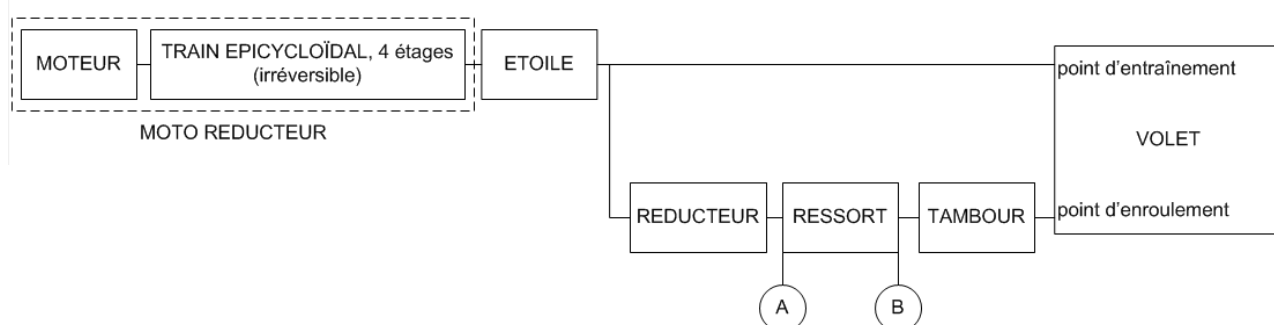


### Schéma cinématique du mécanisme de déplacement réel avec réducteur :

Repère	Nombre de dents
Etoile	$Z_{\text{étoile}} = 5$
<u>1</u>	$Z_1 = 30$
<u>2</u>	$Z_2 = 21$
<u>3</u>	$Z_3 = 17$
<u>4</u>	$Z_4 = 43$



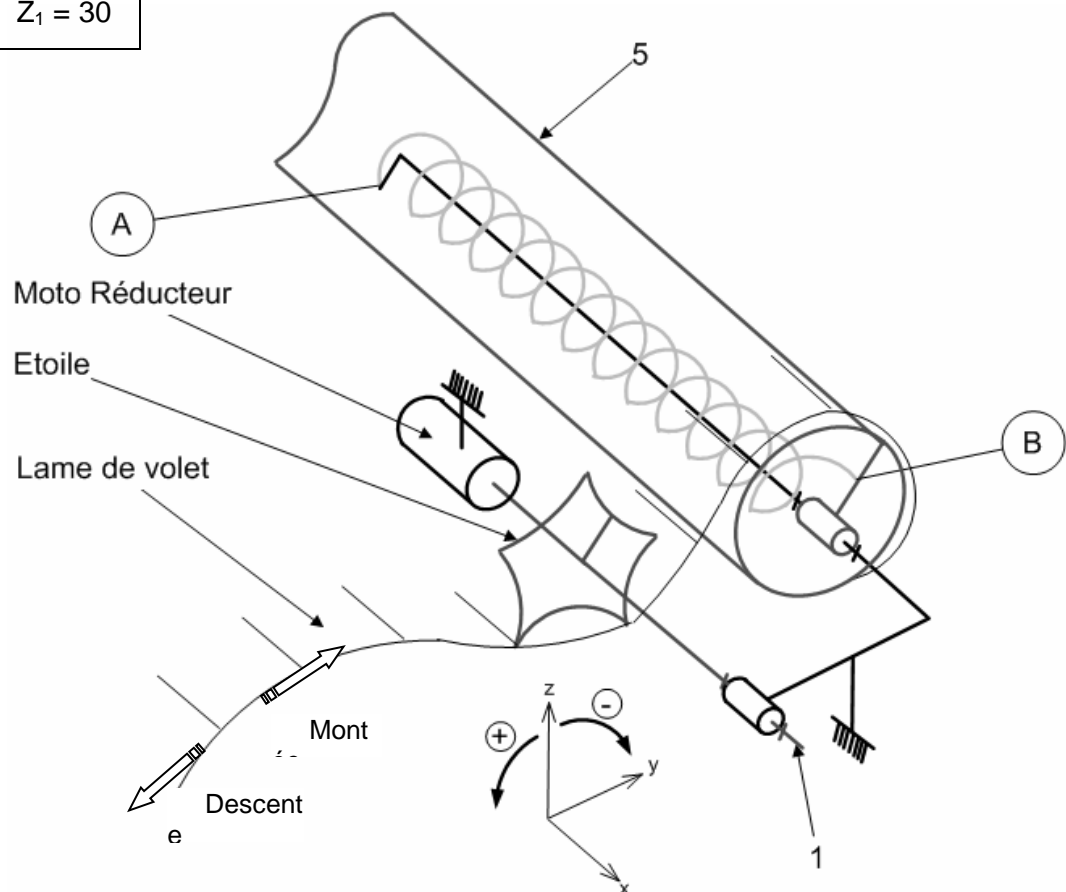
### Chaine d'énergie associée :



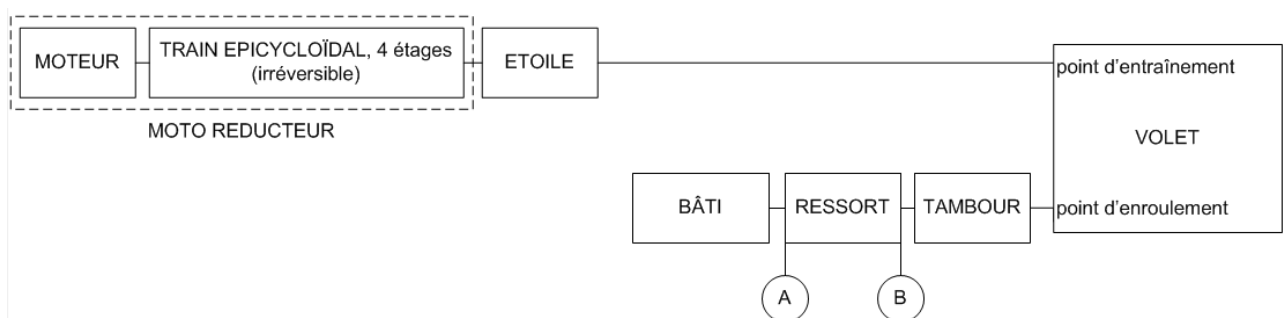


## Annexe 2 : Schéma cinématique du mécanisme de déplacement sans réducteur

Repère	Nombre de dents
Etoile	$Z_{\text{étoile}} = 5$
<b>1</b>	$Z_1 = 30$



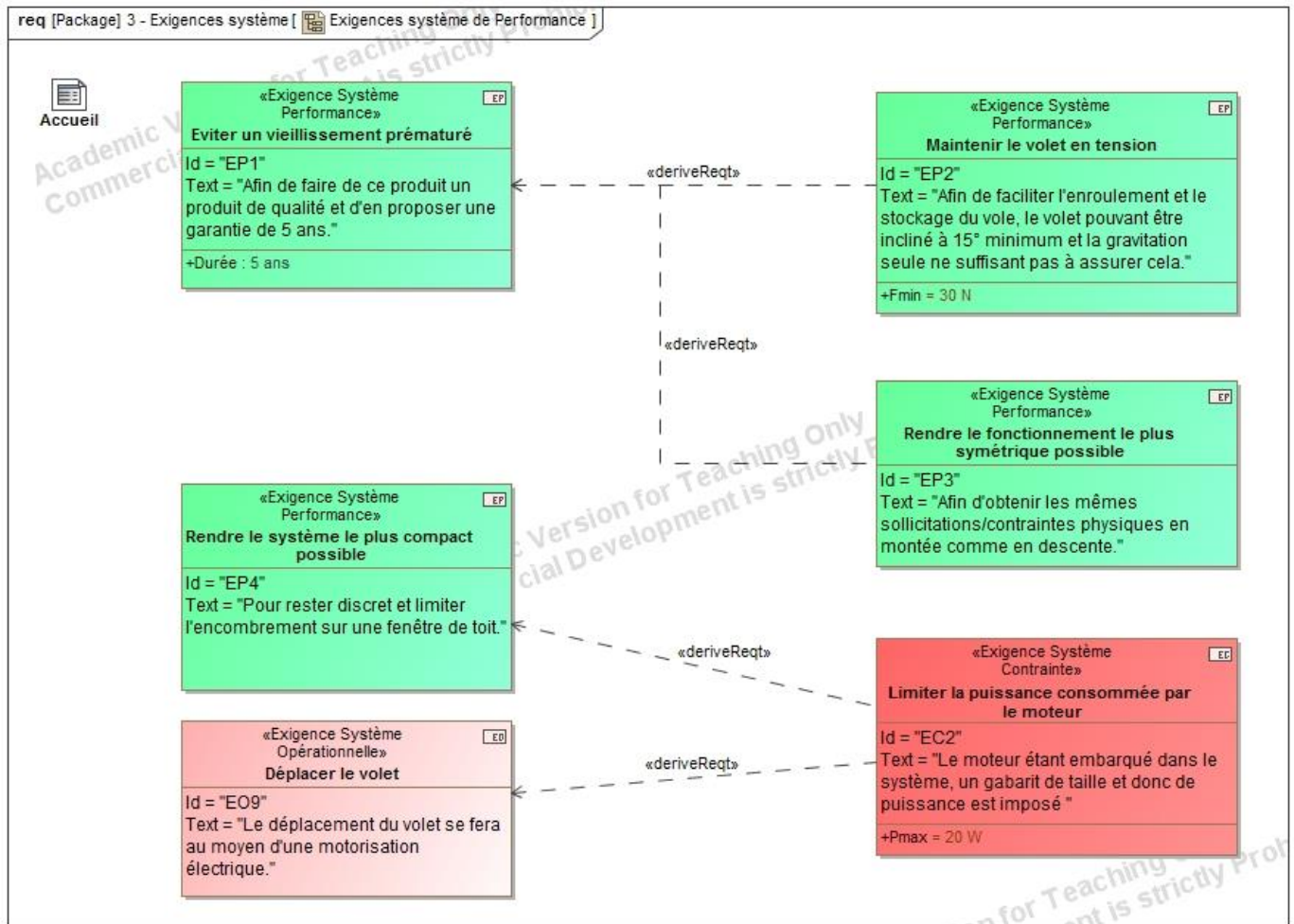
### Chaine d'énergie associée :







## Annexe 3 : Diagramme d'exigences partiel du VRS





## Etude du dispositif d'entraînement : Document-réponse

Nom : .....

Classe : .....

**Détaillez tous vos calculs (calculs intermédiaires et conversions d'unités)**

### 2 Etude cinématique du dispositif d'enroulement

- Question 1 :
- Question 2 :
- Question 3 :
- Question 4 :
- Question 5 :
- Question 6 : tableau comparatif

DESCENTE	Torsion supplémentaire du ressort	Couple à fournir par le système au dispositif d'enroulement	Puissance à fournir par le système au dispositif d'enroulement
VRS avec réducteur			
VRS sans réducteur			

MONTÉE	Relâchement du ressort	Couple à fournir par le système au dispositif d'enroulement	Puissance à fournir par le système au dispositif d'enroulement
VRS avec réducteur			
VRS sans réducteur			

- Question 7 :
  - sans réducteur :
    - : ...
    - + : ...
  - Avec réducteur :
    - : ...
    - + : ...

### 3 Modélisation – Simulation des dispositifs

- Question 8 :

*(mettre ici une impression écran)*



### 3.1 Validation de la commande

- Question 9 :

### 3.2 Validation du modèle

- Question 10 :
- Question 11 :

### 3.3 Comparaison des 2 solutions

- Question 12 :
- Question 13 :
- Question 14 :
- Question 15 :





### ACTIVITE : Etude du kit Velux Active

#### Niveau de formation

Première STI2D  
Enseignements Transversaux

#### Références au programme (B.O. spécial n° 3 du 17 mars 2011)

**O4 – Décoder l'organisation fonctionnelle, structurelle et logicielle d'un système**

- CO4.3 : Identifier et caractériser le fonctionnement temporel d'un système.

**O5 – Utiliser un modèle de comportement pour prédire un fonctionnement ou valider une performance**

- CO5.2 : Identifier des variables internes et externes utiles à une modélisation, simuler et valider le comportement du modèle.

#### Thématique

- Domotique

#### Notions abordées

- Automatisation ;
- Approche comportementale.
- Programmation graphique.

#### Durée de l'activité

- 2 heures

#### Environnement matériel et logiciel

- Le VRS-500 + le kit Velux Active
- AutomGen 8 + extension SysML

#### Intentions pédagogiques

L'activité vise à montrer les bénéfices d'une automatisation du VRS en fonction de la température et de la l'intensité lumineuse ambiantes. Elle se décompose de la façon suivante :

- **Mise en service du kit Velux Active** : après avoir mis en service l'automatisation du VRS, l'élève fait l'étude comportementale du fonctionnement en faisant varier la lumière et la température.
- **Modélisation par analogie** : La modélisation du fonctionnement du volet solaire se fera à l'aide du logiciel Automgen. Le logiciel Automgen permet de simuler la partie opérative du volet et d'utiliser différents types de langage graphique pour programmer.