

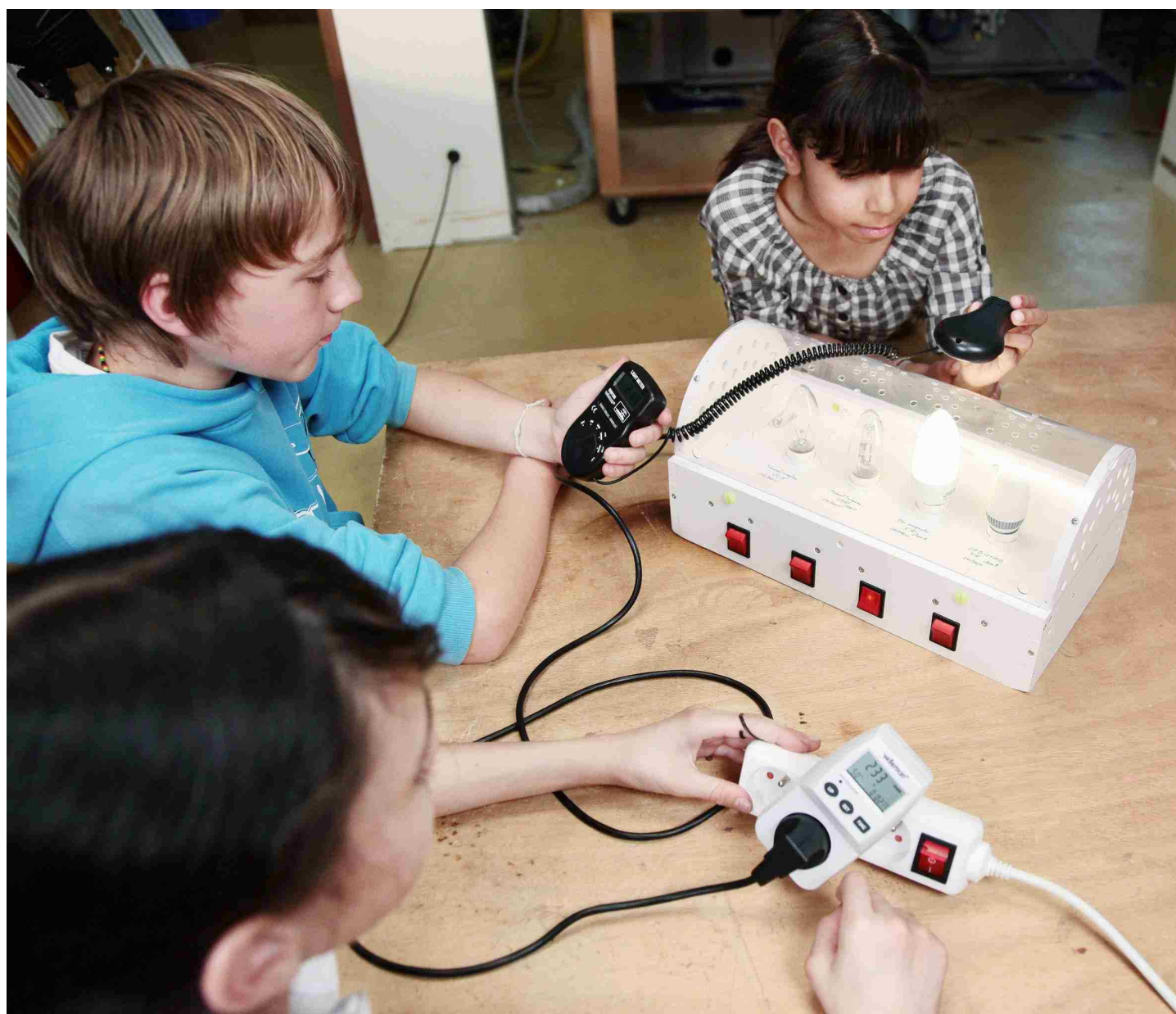
Banc d'essai **Ampoules d'éclairage**

Observer, comparer et tester les 4 technologies d'ampoules





En toute sécurité,
comparer 4 lampes
au moyen d'appareils de mesure.





Edité par la Sté A4

5 avenue de l'Atlantique

91940 Les Ulis

Tél. : 01 64 86 41 00 - Fax. : 01 64 46 31 19

www.a4.fr

SOMMAIRE

Présentation	02 à 04
Notice d'emploi	05
Remplacement des ampoules	06
Scans des emballages des ampoules	07 à 09
Les différentes types d'ampoules d'éclairage	10
Dossier pédagogique	11 à 19
Présentation générale	11
Activité 1 - Comment choisir une ampoule ?	12
Activité 2 - Mesurer la consommation	13
Activité 3 - Mesurer la luminosité	14 - 15
Activité 4 - Calculer l'efficacité énergétique	16
Activité 5 - Mesurer la montée en puissance	17
Activité 6 - Quelle ampoule choisir pour quelle application ?	18
Activité annexe - Le spectre lumineux	19

CONTENU DU CDRom

Le CDRom de ce projet est disponible au catalogue de la Sté A4 (réf "CD-AMP).

Il contient :

- Le dossier en version FreeHand (FH9) et PDF.
- Des photos du produit, des images de synthèse, des perspectives au format DXF.
- La modélisation 3D complète du produit avec des fichiers 3D aux formats SolidWorks, Parasolid et eDrawings.

Ce dossier et le CDRom sont duplicables pour les élèves, en usage interne au collège*

*La duplication de ce dossier est autorisée sans limite de quantité au sein des établissements scolaires, à seules fins pédagogiques, à la condition que soit cité le nom de l'éditeur : Sté A4. La copie ou la diffusion par quelque moyen que ce soit à des fins commerciales n'est pas autorisée sans l'accord de la Sté A4.

La copie ou la diffusion par quelque moyen que ce soit en dehors d'un usage interne à l'établissement de tout ou partie du dossier ou du CDRom ne sont pas autorisées sans l'accord de la Sté A4 .

Présentation 1/3

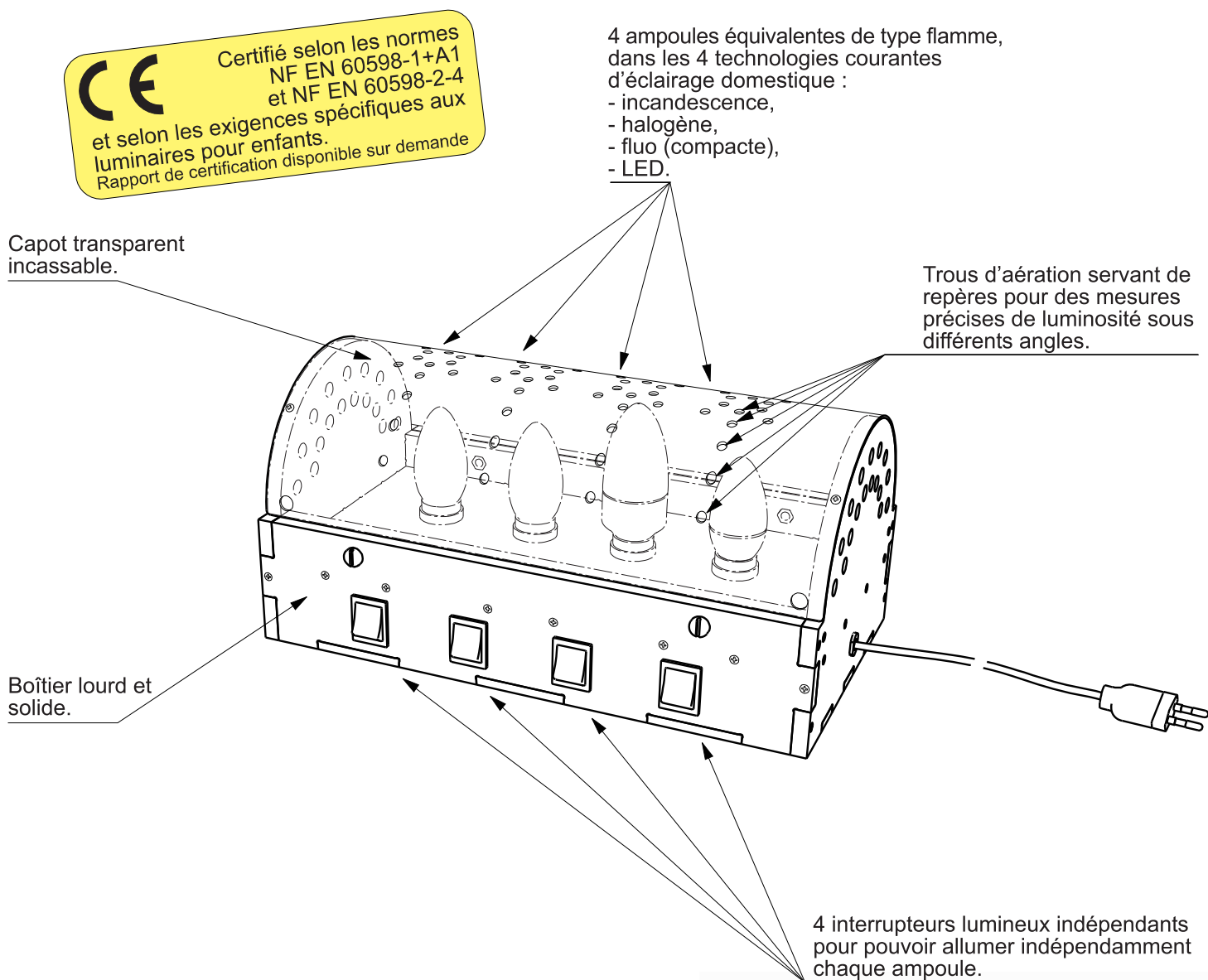
Description - Fonction

Le Banc d'essai "ampoules d'éclairage" permet en toute sécurité pour des élèves de comparer en marche des ampoules d'éclairage domestique 230 V de 4 technologies différentes.

Il comporte : 1 ampoule à filament à incandescence, 1 ampoule halogène, 1 ampoule fluo compacte, 1 ampoule à LED.
Il permet dans de bonnes conditions de sécurité et de confort opératoire, de comparer ces 4 ampoules en marche, relever des mesures (consommation électrique, luminosité sous différents angles).

Les 4 ampoules choisies sont données pour être interchangeables dans un luminaire :

- même type (flamme),
- même culot (E14),
- puissances d'éclairage équivalentes (selon les fabricants).



Caractéristiques :

Banc d'essai comparatif d'ampoules d'éclairage - Réf. BE-AMP
Dimensions : 380 x 210 x h 180 mm.

Ampoules commandées séparément par interrupteurs lumineux.
Caisson en polyéthylène usiné ; vitre incassable polycarbonate.

Certifié selon les normes NF EN 60598-1+A1 et NF EN 60598-2-4 et selon les exigences spécifiques aux luminaires pour enfants.

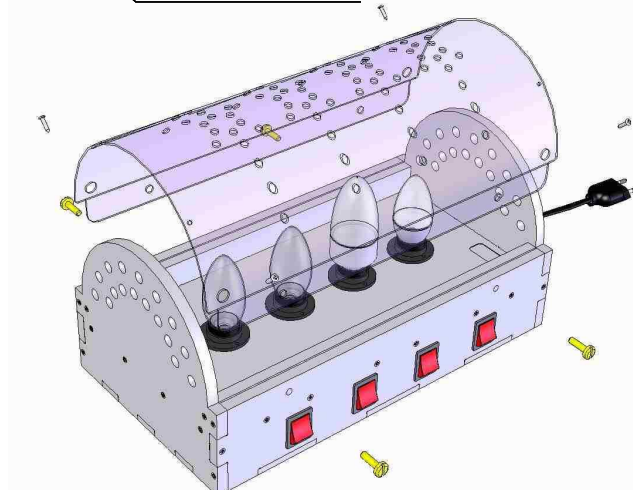
230 V - 53 W - 50 Hz

1 ampoule à incandescence - douille E14 - 230 V - 25 W maxi.

1 ampoule halogène éco. - douille E14 - 230 V - 18 W maxi.

1 ampoule fluo compacte - douille E14 - 230 V - 5 W maxi.

1 ampoule à LEDs - douille E14 - 230 V - 5 W maxi.



Présentation 2/3

Repères sur le capot transparent

Les trous d'aération du capot transparent servent aussi de repères pour positionner un luxmètre et faire des mesures de luminosité sous différents angles.

En effet il est intéressant de vérifier si une ampoule éclaire bien de façon homogène dans toutes les directions.

En utilisant les trous d'aération comme repères pour placer le luxmètre, on pourra comparer la puissance lumineuse d'une ampoule juste au dessus (0°) jusqu'à sur le côté, à 90° .

Le dessin ci-contre indique la position angulaire des repères (trous d'aération).

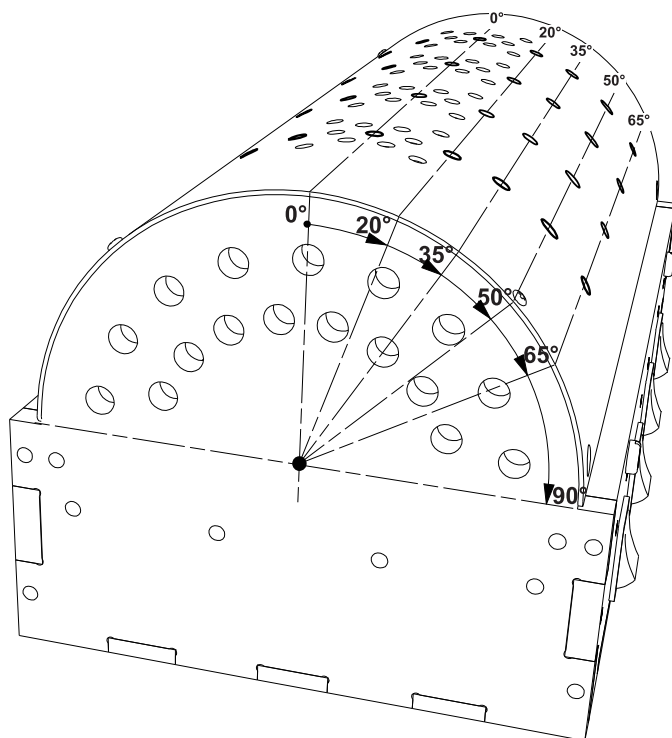
Conseils pour le relevé de mesures

- Pour obtenir des mesures comparables d'une ampoule à une autre, toujours placer l'appareil de mesure de la même façon, en appui sur le capot transparent.

- Il convient aussi que les mesures soient effectuées dans un local peu éclairé, ou tout au moins éclairé de façon homogène et constante, afin que la lumière ambiante ne fausse pas les mesures.

- Bien évidemment, il convient qu'une seule ampoule soit allumée à la fois.

- Laisser l'ampoule se stabiliser (chauffer) quelques minutes avant de relever des mesures.



A propos de sécurité

Ce banc d'essai n'est pas un simple support d'ampoules fermé par un capot.

Nous l'avons voulu sûr en les mains d'élèves pour faire comparer sans risque de vraies ampoules 230 V d'éclairage domestique.*

Il a été conçu pour passer les tests rigoureux de la certification.

Son dessin, les matériaux utilisés, la réalisation des assemblages, les composants électriques utilisés ont été choisis dans ce but.

Notre banc d'essai "BE-AMP" est certifié selon les normes NF EN 60598-1+A1 et NF EN 60598-2-4 (luminaires et luminaires portatifs) et répond aux exigences spécifiques des luminaires pour enfants.

Le rapport d'expertise est disponible sur demande.

Extrait des caractéristiques :

- résiste à des chutes de 1 m sur sol béton,
- capot transparent incassable,
- peut rester allumé en permanence sans que l'on puisse se brûler sur aucune partie,
- peut rester allumé en permanence sans que l'on perçoive de déformation, en particulier sur le capot,
- reste rigide après un séjour de plusieurs heures dans une étuve à 75°C ,
- le cordon électrique ne peut être arraché,
- l'accès aux ampoules nécessite un outil et du temps,
- ...

* Il existe des ampoules très basse tension et nous aurions pu envisager un matériel avec des ampoules 12 V. Mais celles-ci ne répondent pas aux mêmes exigences et normes que les ampoules d'éclairage domestique. De plus il est improbable de pouvoir trouver 4 ampoules 12 V des 4 technologies différentes, comparables, de même forme et pouvoir d'éclairage. L'éclairage domestique réel est réalisé en 230 V. On ne peut mener d'investigation pertinente que sur des ampoules 230 V.

Présentation 3/3

Note sur la puissance des ampoules

Sur les étiquettes du banc d'essai, les puissances indiquées sont les puissances "maxi" des ampoules que l'on peut mettre dans les douilles. C'est une mention obligatoire pour répondre aux normes selon lesquelles le matériel est certifié. Cela ne veut pas dire que l'ampoule montée fait forcément la puissance indiquée sur l'étiquette ; on peut mettre une ampoule moins puissante. Le banc d'essai est prévu pour une durée de vie de plusieurs années, ce qui n'est pas le cas des ampoules qui l'équipent. Les nouvelles normes impliquent une évolution rapide des gammes d'ampoules et il est fort probable que d'une série à l'autre, nous soyons obligés de changer le modèle d'ampoule, tout en restant dans des valeurs très approchantes de puissance. Ce qui est important avec ce banc d'essai est de pouvoir comparer et faire des mesures sur différents types d'ampoules.

**Banc d'essai comparatif
d'ampoules d'éclairage**
Réf. BE-AMP

230 V - 53 W - 50 Hz

   www.a4.fr
Fabriqué en France



**Ampoule
à incandescence**

E14
230 V
25 W maxi

**Ampoule
halogène éco.**

E14
230 V
18 W maxi



**Ampoule
fluo compacte**

E14
230 V
5 W maxi

**Ampoule
à LEDs**

E14
230 V
5 W maxi

1 Lux = 1 Lumène par m².

Le Lux est une quantité de lumière reçue par m².

Le Lumène est une quantité de lumière émise.

Note sur les appareils de mesures à utiliser

Les appareils de mesure (Wattmètre et Luxmètre) utiles pour comparer des ampoules ne sont pas fournis avec le banc d'essai. En effet pourquoi imposer un pack plus cher alors que ces appareils de mesures sont peut-être déjà dans vos armoires ou celles du professeur de sciences ? De plus, il existe un choix important d'appareils, plus ou moins précis, plus ou moins fiables et plus ou moins onéreux.

- Parmi les **wattmètres** que nous proposons au catalogue, celui qui est déporté de la prise avec transmission par ondes vers un lecteur autonome à piles est le plus lent (mais le plus sûr pour l'élève) : à chaque mesure, il faut attendre trois ou quatre secondes pour la lecture. Certains wattmètres permettent entre autre de mémoriser ou de moyenner la consommation. Dans les activités proposées nous ne préconisons que des mesures simples de consommation instantanée.

- Les **luxmètres** donnent une valeur de luminosité qui ne tient pas compte de la température de couleur (couleur d'éclairage). Dans les activités proposées nous avons négligé volontairement de faire utiliser un Kelvinmètre (mesure de la température de couleur), vu le prix élevé de ces appareils. Il faudrait souligner cependant que la température de couleur devrait être un critère important de choix d'une ampoule. On peut l'apprécier à l'oeil (lumière chaude, lumière froide, lumière jaune,...). Il peut être intéressant de faire remarquer aux élèves que toutes les ampoules, même à luminosité égale, ne fournissent pas forcément la même lumière et le même confort.

On pourra aussi attirer l'attention sur les dangers que peuvent représenter des ampoules qui émettent des lumières néfastes pour l'oeil ; en particulier les rayonnements ultra-violet que peuvent émettre certaines DEL.

- Nous proposons aussi d'utiliser un **chronomètre** pour mesurer le temps de montée en puissance après l'allumage d'une ampoule. Ce paramètre est important avec les ampoules fluo qui doivent chauffer avant de donner leur pleine puissance.



Wattmètre
Réf V-NETBPEM2



Luxmètre
Réf V-DVM1300

Notice banc d'essai réf BE-AMP

Le banc d'essai ampoules (réf BE-AMP) permet d'observer, comparer et tester en fonctionnement différents types d'ampoules d'éclairage domestique :

- ampoule à filament à incandescence,
- ampoule à filament halogène,
- ampoule fluorescente (fluo compacte),
- ampoule à LED.

Cet appareil permet en toute sécurité, de faire fonctionner ensemble ou tour à tour différentes ampoules et de relever des mesures. Il est préconisé d'utiliser un wattmètre et un luxmètre pour comparer les valeurs de consommation / éclairage.

Caractéristiques techniques

Tension de service 230 V - 50 Hz.

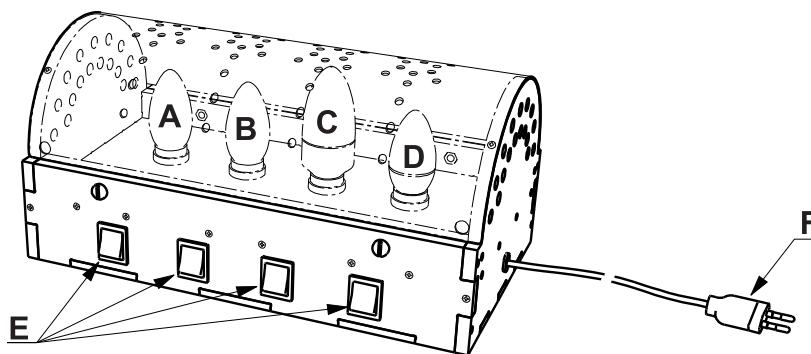
Puissance totale 53 W.

4 ampoules 230 V de type flamme, culots E14 installées :

- **A** : ampoule à incandescence 25 W maxi - Référence AMPI-E14-23025
- **B** : ampoule halogène 18 W maxi - Référence AMPH-E14-23018
- **C** : ampoule fluo compacte 5 W maxi - Référence AMPF-E14-23005
- **D** : ampoule à LED 3W maxi) - Référence AMPL-E14-23003

Boîtier PVC résistant aux chocs avec capot transparent interdisant l'accès direct aux ampoules.

4 interrupteurs lumineux (**E**) pour commander chaque ampoule séparément.



Utilisation

Connecter la fiche de l'appareil (**F**) à une prise secteur 230 V.

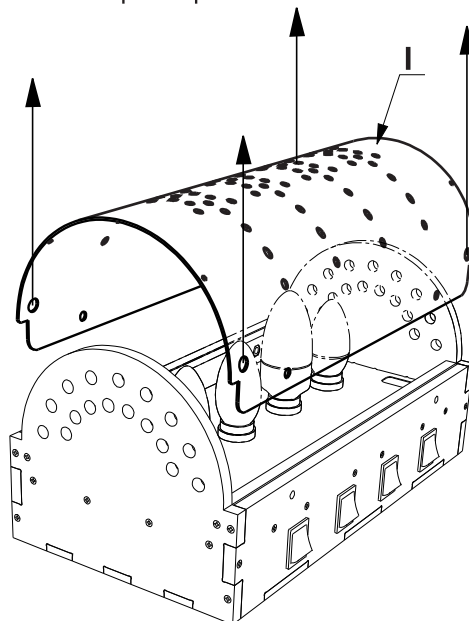
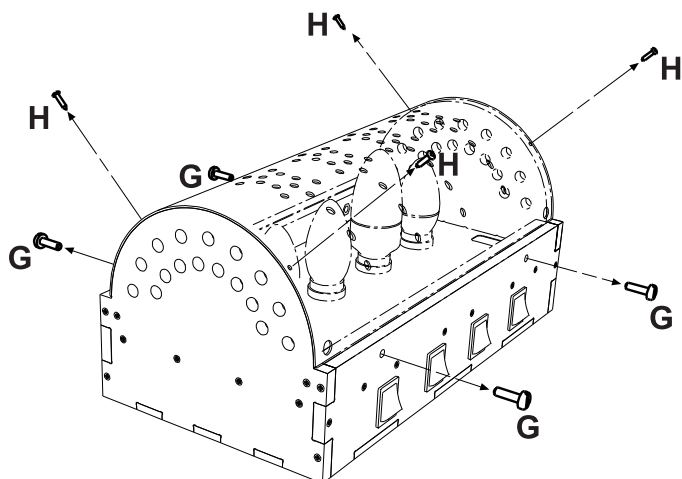
Agir sur les interrupteurs (**E**) pour allumer ou éteindre individuellement chacune des 4 ampoules.

Se reporter au dossier D-BE-LAMP (téléchargeable gratuitement sur www.a4.fr) pour les pistes d'expérimentation à mener en classe.

Remplacement des ampoules

Ne remplacer les ampoules que par les ampoules d'origine (Cf. ci-dessus, caractéristiques techniques).

- 1 - Avant toute intervention sur l'appareil, le déconnecter de la prise secteur 230 V.
- 2 - Démontez les 4 vis en plastique (**G**) et les 4 vis métalliques (**H**),
- 3 - Déboîter avec précaution le capot (**I**) vers le haut en le retenant car il est élastique et peut se détendre brutalement.
- 4 - Remplacer les ampoules "grillées" par des ampoules d'origine.
- 5 - Remettre en place le capot et ses 8 vis de fixation.



Si le câble extérieur souple ou le cordon de ce luminaire est endommagé, il doit être remplacé exclusivement par le fabricant, son service de maintenance ou toute personne de qualification équivalente, ceci afin d'éviter tout risque.

Remplacement des ampoules



D'origine, le banc d'essai est livré avec les ampoules non montées, protégées dans leurs emballages d'origine. En effet, si le banc d'essai est conçu pour résister aux chocs, les ampoules montées sur douilles sont fragiles et risquent de ne pas supporter les chocs du transport. Nous conseillons de conserver les emballages sur lesquels les élèves peuvent relever les caractéristiques fabricant des différentes ampoules montées.

Nous choisissons des ampoules de type flamme, avec douille E14 qui doivent correspondre en luminosité à peu près à l'ampoule tungstène 25 W (selon les données des fabricants). Il est impossible de garantir toujours les mêmes marques et les mêmes modèles précis d'ampoules ; les modèles sont sujets à évolution et certains peuvent disparaître pour être remplacés par d'autres. En particulier les ampoules à LED et fluo dont les modèles évoluent rapidement.

L'important est que le banc d'essai soit équipé de 4 ampoules données pour équivalentes, mais de 4 technologies différentes.

La puissance maxi des ampoules à placer dans le banc d'essai est indiquée sur les étiquettes à côté de chaque douille. Il est possible de remplacer chaque ampoule par une ampoule dont la puissance ne dépasse pas celle indiquée. Si le BE est équipé d'ampoules plus puissantes ou d'ampoules dont les spécifications diffèrent de celles indiquées sur les étiquettes, il peut y avoir danger et la certification ne tient plus.

**Banc d'essai comparatif
d'ampoules d'éclairage**
Réf. BE-AMP

230 V - 53 W - 50 Hz

   **www.a4.fr**

Fabriqué en France



Ampoule à incandescence

E14
230 V
25 W maxi

Ampoule halogène éco.

E14
230 V
18 W maxi



Ampoule fluo compacte

E14
230 V
5 W maxi

Ampoule à LEDs

E14
230 V
5 W maxi

Les emballages des ampoules 1/3

Exemple de boîte d'ampoule tungstène



Exemple de boîte d'ampoule halogène



Nota : les ampoules fournies avec le banc d'essai peuvent être remplacées par d'autres ampoules équivalentes, présentant des caractéristiques un peu différentes (sans dépasser les puissances maximum indiquées sur le banc d'essai).
Ce qui importe est de pouvoir comparer des ampoules de 4 technologies différentes.
Les ampoules sont fournies avec leur emballages. Nous conseillons de les conserver afin que les élèves puissent y relever les caractéristiques données par les fabricants.

Les emballages des ampoules 2/3

Exemple de boîte d'ampoule fluo compacte



Nota : les ampoules fournies avec le banc d'essai peuvent être remplacées par d'autres ampoules équivalentes, présentant des caractéristiques un peu différentes (sans dépasser les puissances maximum indiquées sur le banc d'essai).
Ce qui importe est de pouvoir comparer des ampoules de 4 technologies différentes.
Les ampoules sont fournies avec leurs emballages. Nous conseillons de les conserver afin que les élèves puissent y relever les caractéristiques données par les fabricants.

Les emballages des ampoules 3/3

Exemple de boîte type blister d'ampoule à LED



Verso

Recto

Nota : les ampoules fournies avec le banc d'essai peuvent être remplacées par d'autres ampoules équivalentes, présentant des caractéristiques un peu différentes (sans dépasser les puissances maximum indiquées sur le banc d'essai).
Ce qui importe est de pouvoir comparer des ampoules de 4 technologies différentes.
Les ampoules sont fournies avec leurs emballages. Nous conseillons de les conserver afin que les élèves puissent y relever les caractéristiques données par les fabricants.

Les différents types d'ampoules d'éclairage domestique

L'objet de ce dossier n'est pas un cours sur les moyens d'éclairage mais un guide d'activité autour du banc d'essai. Cependant il est utile de donner ici un petit résumé de caractéristiques des différentes ampoules que nous vous proposons de comparer.

4 types d'ampoules* sont utilisées pour l'éclairage domestique :

- les ampoules à filament tungstène,
- les ampoules halogènes,
- les ampoules fluorescentes (fluocompactes),
- les ampoules à LED.

Les lampes à filament classiques (lampes à incandescence), sont concurrencées depuis le début des années 1980 par les lampes dites "à économie d'énergie" qui ont un meilleur rendement lumineux et une meilleure longévité. Des directives européennes successives remettent en cause depuis le début des années 2000 l'utilisation courante des lampes à incandescence pour l'éclairage domestique. A terme, les lampes classiques à incandescence devraient disparaître de l'habitat au profit de moyens d'éclairage plus économiques et plus respectueux de l'environnement.

Les lampes à incandescence classiques

Ce sont les lampes encore les plus courantes au moment où nous écrivons ces lignes. Elles sont constituées d'un filament tungstène plongé dans un gaz neutre. Le filament est traversé par un courant électrique qui le porte à incandescence ; il émet de la lumière et de la chaleur et perd petit à petit de la matière jusqu'à se rompre. Les lampes à filament tungstène ont une durée de vie limitée et n'ont pas une très bonne efficacité énergétique ; beaucoup d'énergie est dissipée en chaleur. Environ 5 % seulement de l'énergie consommée est restituée en lumière. Elles sont vouées à être remplacées par des lampes de meilleure efficacité énergétique et aussi plus durables.

Les lampes à incandescence halogène

Elles sont constituées d'un filament plongé dans des vapeurs de brome ou d'iode. Ce gaz permet que le filament s'use beaucoup moins vite que dans une lampe à incandescence classique. La durée de vie est environ 2 fois celle d'une ampoule classique. Le filament peut être porté à plus haute température, ce qui permet un meilleur rendement et l'émission d'une lumière plus vive.

Les lampes fluocompactes

Elles fonctionnent selon le même principe que les tubes fluorescents et en constituent une variante moins encombrante. Un gaz (généralement des vapeurs de mercure) est excité par un courant électrique et émet un rayonnement ultraviolet qui produit une lumière visible au contact de pigments fluorescents qui tapissent les parois de l'ampoule. La durée de vie de ces lampes est environ 6 à 8 fois plus élevée que celle des ampoules à filament classiques. Leur rendement énergétique est 5 à 6 fois plus important que celui des ampoules à filament classique : environ 30% de l'énergie consommée est restituée en lumière. En revanche il leur faut plusieurs minutes de montée en puissance pour qu'elles fournissent leur plein éclairage.

Les lampes à LED

Une LED (Light Emitting Diode) est un composant électronique constitué de matériaux semi-conducteurs qui émet de la lumière sous l'action d'un courant électrique faible. La technologie LED a été découverte en 1907 mais les premières applications n'ont vu le jour que dans les années 1970. Les lampes d'éclairage à LED sont apparues au début du 21^e siècle.

Les lampes à LED sont constituées de plusieurs LED réunies dans un même boîtier.

Les avantages de ce type de lampe sont : très faible consommation (8 fois moins qu'une lampe à incandescence), durée de vie très longue (environ 50 000 à 100 000 heures). De plus les LED ne contiennent pas de mercure, contrairement aux lampes fluo. En revanche les LED d'éclairage ne procurent qu'une lumière très directionnelle, dans un cône d'environ 120°, ce qui rend difficile d'obtenir un éclairage diffus.

On entend et on voit même écrit que les lampes à LED ne dégagent pas de chaleur. Cela ne reflète pas exactement la réalité car s'il est vrai que les LED ne dégagent presque pas de chaleur, pour les utiliser dans une ampoule d'éclairage domestique il faut les associer à un transfo. ou système électronique qui les alimente en courant continu. Ces systèmes de transformateur sont inclus dans les culots des ampoules à LED et produisent de la chaleur. Sur certaines ampoules à LED le culot est muni d'ailettes de refroidissement.

* Dans ce dossier, nous parlons d'ampoule qui est le terme employé communément pour désigner les lampes. Le terme "ampoule" désigne littéralement l'enveloppe en verre d'une lampe. Mais le terme "ampoule" est utilisé couramment et le mot "lampe" est compris le plus souvent comme désignant un luminaire.

Pistes d'activités

Problématique proposée pour les élèves

La problématique que nous proposons de poser aux élèves est le choix d'une ampoule.

On peut leur demander quelle ampoule serait la meilleure pour éclairer une pièce d'habitation et bien entendu, justifier leur choix.

Les élèves vont découvrir que chaque ampoule présente des avantages et des inconvénients selon les situations dans lesquelles elles sont employées. On pourra en arriver à énoncer pour quelle application précise chaque ampoule semble mieux adaptée.

On pourra aussi constater que les affirmations des fabricants sur les emballages quand à la correspondance des puissances d'éclairage ont une validité toute relative et sont à considérer avec un regard critique.

Activités proposées autour du banc d'essai

- Les élèves vont allumer côte à côte les 4 ampoules, observer, donner leur avis sur la qualité de chaque ampoule. Très vite il doit ressortir que les avis sont subjectifs et qu'il conviendrait de faire des mesures précises et objectives avec des instruments de mesure.

- On utilise un **wattmètre** pour comparer les consommations électriques.

En allumant chaque ampoule, on relève une consommation (est-elle stable, est-elle bien celle annoncée par le fabricant?) on pourra vérifier qu'en allumant plusieurs ampoules, les consommations s'additionnent.

- On utilise un **luxmètre** pour comparer les efficacités en éclairage.

On observe que l'émission lumineuse n'est pas forcément homogène dans toutes les directions : en utilisant les repères sur le capot pour placer le luxmètre, on effectue des mesures comparatives d'éclairement sous différents angles.

On trace un graphique qui représente la luminosité sous différents angles.

- On observe que pour l'ampoule fluo, la luminosité max n'arrive qu'après un temps de chauffe.

On utilise un **chronomètre** pour tracer un graphique montée en puissance / temps de l'ampoule fluo.

On peut vérifier si la norme (classe A) est bien respectée (% de luminosité max au bout d'un temps donné).

- On trace un graphique "consommation / efficacité en éclairage".

Au final, les élèves auront approché les notions de puissance consommée, puissance restituée, efficacité énergétique.

On aura aussi démontré que pour le choix d'un système (une ampoule), il faut un minimum de données techniques à mettre en parallèle avec la nature précise du besoin (en éclairage).

Activités envisageables

- On pourrait utiliser un thermomètre pour mesurer la température du capot au dessus de chaque ampoule et approcher la notion de déperdition énergétique sous forme de chaleur.

Pour cela il faudrait du temps (attendre que la température soit stabilisée) et des conditions de mesures identiques pour chaque ampoule (température de la pièce).

- On pourrait utiliser un kelvinmètre (mesure de la température de couleur). Mais le prix très élevé de ce type d'appareils fait qu'il est difficile de l'envisager au collège.

Pourtant il faut souligner que la température de couleur devrait être un critère important de choix d'une ampoule. On peut l'apprécier à l'oeil (lumière chaude, lumière froide, lumière jaune,...).

Il peut être intéressant de faire remarquer aux élèves que toutes les ampoules, même à luminosité égale, ne fournissent pas forcément la même lumière et le même confort.

On pourra aussi attirer l'attention sur les dangers que peuvent représenter des ampoules qui émettent des lumières néfastes pour l'oeil ; en particulier les rayonnements ultra-violet qui peuvent émettre certaines DEL.

- Une observation intéressante peut être effectuée au moyen d'un spectroscope optique. Cet instrument peu onéreux permet de visualiser le spectre émis par une source (mais sans que l'on connaisse la puissance émise dans chaque longueur d'onde). Il permet de voir quelles ampoules émettent un spectre continu (tungstène, halogène, DEL) et de voir un spectre incomplet pour la lampe fluo.

Présentation des fiches prof / élève :

Pour faciliter la lecture des activités proposées, nous utilisons dans ce dossier 3 couleurs pour différencier au premier regard entre ce que nous donnons comme pistes de travail, les questions qui peuvent être soumises directement aux élèves et les réponses attendues.

Code couleurs :

- En noir, les quelques explications pour le professeur.

- En rouge foncé, les questions posées aux élèves (oralement ou à faire noter dans le cahier).

- En bleu, exemple de ce qu'un élève peut apporter comme réponse(s).

Note sur les mesures effectuées, en particulier les mesures de luminosité

On ne préconise ici, avec le banc d'essai, que des mesures comparatives approximatives des différentes ampoules qui l'équipent. Les valeurs de luminosité obtenues ne pourront être comparées à des valeurs normalisées qui doivent être conduites dans des conditions particulières de laboratoire (alimentation hautement régulée, mesure sur une plage de temps donnée avec une ampoule neuve rodée dans des conditions bien définies, mesure à distance données comparées avec des sources lumineuses de référence, appareils de mesure étalonnés, etc).